

AMBIENTE E SAÚDE:

fundamentos interdisciplinares
e desafios contemporâneos



ORGANIZADORES

Thais Cristina Flexa Souza Marcelino
Daniel Fernandes Rodrigues Barroso
Antonio Jorge Silva Correa Júnior
Francisco Daniel Mota Lima
Luis Waldyr Rodrigues Sadeck

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA

2025

Belém - Pará

AMBIENTE E SAÚDE:

Fundamentos interdisciplinares e desafios contemporâneos

ORGANIZADORES:

THAIS CRISTINA FLEXA SOUZA MARCELINO
DANIEL FERNANDES RODRIGUES BARROSO
ANTONIO JORGE SILVA CORREA JÚNIOR
FRANCISCO DANIEL MOTA LIMA
LUIS WALDYR RODRIGUES SADECK

Organizadores

Thais Cristina Flexa Souza Marcelino
Daniel Fernandes Rodrigues Barroso
Antonio Jorge Silva Correa Júnior
Francisco Daniel Mota Lima
Luis Waldyr Rodrigues Sadeck

Editado por

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCA
Instituto de Geociências.
R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA, 66075-110
Site: <https://ppgca.propesp.ufpa.br>
E-mail: ppgca.ufpa@gmail.com

Editoração

Aline Maria Meiguins de Lima

Capa

Gerada por: Plataforma ChatGPT/OpenAI.

Declaração de direitos autorais

Os textos publicados são de inteira responsabilidade de seus autores. É permitida a reprodução, desde que citada a fonte e o autor.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) (Câmara Brasileira do Livro, SP, Brasil)

Ambiente e saúde [livro eletrônico] : fundamentos
interdisciplinares e desafios contemporâneos /
Thais Cristina Flexa Souza Marcelino ... [et al.].
-- 1. ed. -- Belém, PA : Programa de Pós-
Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de
Geociências, 2025.
PDF

Vários autores.
Outros organizadores: Daniel Fernandes Rodrigues
Barroso, Antonio Jorge Silva Correa Júnior, Francisco
Daniel Mota Lima, Luis Waldyr Rodrigues Sadeck
Bibliografia.
ISBN 978-65-01-81209-0

1. Meio ambiente - Preservação 2. Meio ambiente -
Proteção 3. Saúde - Aspectos sociais 4. Ciência
ambiental 5. Clima - Mudanças I. Marcelino, Thais
Cristina Flexa Souza. II. Barroso, Daniel Fernandes
Rodrigues. III. Correa Júnior, Antonio Jorge Silva.
IV. Lima, Francisco Daniel Mota. V. Sadeck, Luis
Waldyr Rodrigues. VI. Título.

26-328265.2

CDD-363.7

APRESENTAÇÃO

Apresentamos com imensa satisfação o livro “AMBIENTE E SAÚDE: Fundamentos interdisciplinares e desafios contemporâneos”, lançado pelo Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará. Esta obra, idealizada pela organizadora Thais Cristina Flexa Souza Marcelino, é fruto de uma colaboração interdisciplinar entre doutorandos e pesquisadores da área das ciências ambientais e da saúde do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais (PPGCA-UFGA) e do Programa de Pós-graduação em Enfermagem Fundamental da Escola de Enfermagem da Universidade de São Paulo (EERP-USP). Doravante, ao longo dos assuntos segmentados nesta obra, o interesse e a vertente de pesquisa de cada colaborador foram explorados, empregando os mais variados métodos e epistemologias do conhecimento.

O primeiro capítulo, “*Associação entre poluição do ar e agravos respiratórios na região Norte do Brasil*”, apresenta uma revisão a fim de avaliar dos efeitos da poluição do ar na saúde humana, com foco no Norte do Brasil. Asseveram-se os efeitos sistêmicos, sobretudo os decorrentes das fontes antrópicas (resultantes da ação humana), e a premência de uma rede de monitoramento atmosférico robusta na região.

O segundo capítulo, “*Conexão da teoria ambientalista de Florence Nightingale com a biossociologia: novas perspectivas de eco-complexidade na saúde*”, explora os limites interdisciplinares de campos complexos: a teoria ambientalista da enfermagem e a biossociologia, ofertando ao leitor exemplos dessa conexão nas pesquisas científicas pelo prisma da eco-complexidade. A determinação social das doenças passa a contar, no século XXI, e principalmente após a pandemia de COVID-19 e os esgotamentos de modelos econômicos, com determinantes ambientais e planetários.

O terceiro capítulo intitula-se “*Distribuição espacial de casos de leptospirose em áreas de risco no município de Belém, Pará: aplicações da geotecnologia na análise da saúde ambiental e epidemiológica*”, revelando, por meio de análise de dados do Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), 554 casos de leptospirose no município de Belém-PA entre 2021 e 2024. A infestação de roedores favorece esse adoecimento; zonas com propensão a alagamentos e com disparidades socioeconômicas ratificam os marcadores sociais da diferença espacial para esse acometimento.

Nesse seguimento, o quarto capítulo, *“Insegurança hídrica e interfaces com o adoecimento de comunidades rurais-tradicionais: revisão de escopo”*, trata-se de um macroestado da arte da literatura nacional e internacional sobre um conceito pouco explorado com a interface pretendida pelo livro. Com a identificação de 151 estudos, que abordavam populações tradicionais e países subdesenvolvidos, gerou-se um amplo desdobramento do conceito-chave de insegurança hídrica, a saber: falta de acesso a fontes de água potável e adoecimento e mortalidade infantil; contaminação química; contaminação biológica; gênero feminino e insegurança hídrica; aspectos políticos da insegurança hídrica; e proposições para mitigar a insegurança hídrica.

Por sua vez, o quinto capítulo, *“Saneamento básico e a incidência de doenças: uma análise comparativa em duas regiões metropolitanas da Amazônia”*, demonstrou, por meio de uma série temporal nas duas maiores aglomerações urbanas do Norte do Brasil (Belém e Manaus), que a região metropolitana de Belém apresenta desafios mais persistentes, com a falta de água potável e de coleta de esgoto se agravando com o passar dos anos. A região metropolitana de Manaus apresenta subida vertiginosa de sua população, o que vem suscetibilizando a queda de percentuais de esgoto tratado, provavelmente porque os investimentos no setor não estão suprimindo a demanda.

O sexto e último capítulo, *“Relações entre variáveis climáticas e disseminação da COVID-19: uma revisão narrativa de literatura”*, traz, como culminância dos esforços deste livro, uma análise narrativa da literatura sobre a transmissibilidade da COVID-19, na supressão biológica que o estresse térmico gera, suprimindo o sistema imune humano e tornando-o suscetível, comparando evidências à luz do conceito de risco e vulnerabilidade entre diferentes regiões do globo, e correspondendo tais achados ao clima tropical da região amazônica.

Em síntese, este livro traz um esforço inicial grupal, teórico e epidemiológico, para definir de forma objetiva e transparente a interconexão entre meio ambiente e saúde. O cerne transdisciplinar explorado em cada um dos capítulos ajudará graduandos, graduados e pesquisadores de diversas áreas a compreenderem como teorias, variáveis, marcadores sociais da diferença e análises espaciais se conciliam para oferecer à sociedade respostas transdisciplinares aos dilemas climáticos e epidemiológicos do século.

Luciano Jorge Serejo dos Anjos

Doutor em Ciências Ambientais pela Universidade Federal do Pará
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - UFPA



SUMÁRIO

ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO DO AR E AGRAVOS RESPIRATÓRIOS NA REGIÃO NORTE DO BRASIL **1**

*FRANCISCO DANIEL MOTA LIMA
THAIS CRISTINA FLEXA SOUZA MARCELINO
DANIEL FERNANDES RODRIGUES BARROSO
GLAUBER GUIMARÃES CIRINO
MILENE CARDOSO SALGADO DOS SANTOS*

CONEXÃO DA TEORIA AMBIENTALISTA DE FLORENCE NIGHTINGALE COM A BIOSOCIOLOGIA: NOVAS PERSPECTIVAS DE ECO-COMPLEXIDADE NA SAÚDE **19**

*ANTONIO JORGE SILVA CORREA JÚNIOR
MARY ELIZABETH DE SANTANA
JEFERSON SANTOS ARAÚJO
HELENA MEGUMI SONOBE*

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CASOS DE LEPTOSPIROSE EM ÁREAS DE RISCO NO MUNICÍPIO DE BELÉM, PARÁ: APLICAÇÕES DA GEOTECNOLOGIA NA ANÁLISE DA SAÚDE AMBIENTAL E EPIDEMIOLÓGICA **40**

*ALCIONE FERREIRA PINHEIRO
WALQUÍRIA CRISTINA SILVA VIANA
ANGELO BRUNO BATALHA SILVA
LUCAS SILVA ROCHA
ALESSANDRA RODRIGUES GOMES
LUÍS WALDYR RODRIGUES SADECK
EDNA AOBA ISHIKAW*

INSEGURANÇA HÍDRICA E INTERFACES COM O ADOECIMENTO DE COMUNIDADES RURAIS-TRADICIONAIS: REVISÃO DE ESCOPO **57**

*ADRIANA DE SÁ PINHEIRO DOS SANTOS
ANTONIO JORGE SILVA CORREA JÚNIOR
PEDRO EMÍLIO GOMES PRATES
PATRÍCIA DE CÁSSIA RUELA PALMIÉRI
RUBENILSON CALDAS VALOIS*

SANEAMENTO BÁSICO E A INCIDÊNCIA DE DOENÇAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA EM DUAS REGIÕES METROPOLITANAS DA AMAZÔNIA **92**

*DANIEL FERNANDES RODRIGUES BARROSO
FRANCISCO DANIEL MOTA LIMA
THAIS CRISTINA FLEXA SOUZA MARCELINO*

RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E DISSEMINAÇÃO DA COVID-19: UMA REVISÃO NARRATIVA DE LITERATURA **107**

*THAIS CRISTINA FLEXA SOUZA MARCELINO
KEILA RÊGO MENDES
FÁBIO DA SILVA NASCIMENTO
CLÁUDIO MOISÉS SANTOS E SILVA*

ORGANIZADORES **121**

ASSOCIAÇÃO ENTRE POLUIÇÃO DO AR E AGRAVOS RESPIRATÓRIOS NA REGIÃO NORTE DO BRASIL

ASSOCIATION BETWEEN AIR POLLUTION AND RESPIRATORY DISEASES IN THE NORTHERN REGION OF BRAZIL

*Francisco Daniel Mota Lima¹
Thais Cristina Flexa Souza Marcelino²
Daniel Fernandes Rodrigues Barroso³
Glauber Guimarães Cirino⁴
Milene Cardoso Salgado dos Santos⁵*

Resumo

Objetivo: revisar a literatura acerca dos efeitos da poluição atmosférica na saúde humana, com ênfase nas doenças respiratórias e no contexto da Região Norte do Brasil. **Métodos:** Trata-se de um estudo exploratório, fundamentado em levantamento bibliográfico, que reúne evidências sobre os impactos da poluição do ar, com destaque para os danos ao sistema respiratório. **Resultados:** O estudo está organizado em quatro eixos temáticos: (1) fontes emissoras e principais poluentes atmosféricos; (2) efeitos sistêmicos da poluição do ar na saúde humana; (3) queimadas e seus impactos sanitários; e (4) interações entre a COVID-19 e os poluentes atmosféricos. **Conclusão:** Conclui-se que a frágil articulação entre os setores ambiental e de saúde, somada à ausência de uma rede robusta de monitoramento atmosférico na Região Norte, limita a formulação de políticas públicas eficazes e dificultam o reconhecimento institucional dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana.

Palavras-chave: Saúde ambiental, Poluição atmosférica, Doenças respiratórias.

Abstract

Objective: Review the literature on the effects of air pollution on human health, with emphasis on respiratory diseases and in the context of the Northern Region of Brazil. **Methods:** This is an exploratory study, based on a bibliographic survey, which gathers evidence about the impacts of air pollution, with emphasis on damage to the respiratory system. **Results:** The study is organized into four thematic axes: (i) sources of emissions and main air pollutants; (ii) systemic effects of air pollution on human health; (iii) fires and their health impacts; and (iv) interactions between COVID-19 and air pollutants. **Conclusion:** It is concluded that the fragile articulation between the environmental and health sectors, added to the absence of a robust network of atmospheric monitoring in the It limits the formulation of effective public policies and hinders the institutional recognition of the effects of air pollution on human health.

Keywords: Environmental health, air pollution, respiratory diseases.

¹ Mestre em Ciências. Doutorando em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará. Docente do Instituto Federal do Pará, Campus Bragança.

² Mestra em Enfermagem. Doutoranda em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará.

³ Mestre em Ciências Ambientais. Doutorando em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará. Docente do Instituto Federal do Maranhão, Campus Itapecuru Mirim.

⁴ Doutor em Clima e Ambiente. PhD em Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz, Alemanha. Docente na Universidade Federal do Pará, Belém.

⁵ Mestre em Doenças Tropicais. Médica pneumologista na Universidade Federal do Pará, Belém.

INTRODUÇÃO

A poluição do ar é uma das principais ameaças à saúde ambiental, afetando tanto a qualidade de vida das populações expostas quanto o equilíbrio dos ecossistemas. Seus impactos na saúde humana atingem principalmente o sistema respiratório, estando diretamente relacionados ao aumento de mortes por doenças respiratórias, como asma, a Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica (DPOC) e câncer de pulmão, as quais, no passado, estavam relacionadas principalmente ao tabagismo. O efeito da poluição do ar na saúde é um dos principais problemas ambientais e de saúde pública da atualidade, cuja complexidade se agrava em regiões socialmente sensíveis, como a região norte do Brasil (Oliveira *et al.*, 2023).

Em termos conceituais, considera-se como poluição do ar, toda forma de matéria que em determinada quantidade, concentração, duração ou outras características, possa tornar o ar impróprio ou nocivo à saúde, prejudicial ao bem-estar público, aos materiais, à fauna e à flora, ou ainda comprometer a segurança, o uso e o gozo da propriedade, bem como as atividades normais da sociedade (Brasil, 2024).

No Brasil, a poluição do ar é um problema crescente, associado principalmente ao avanço da urbanização, industrialização, expansão das atividades agropecuárias e expressivo aumento da frota veicular movida sobretudo a combustível fóssil. De acordo com a Organização Mundial da Saúde - OMS (OMS, 2021), milhões de brasileiros vivem expostos a níveis de poluentes superiores aos limites recomendados, especialmente em grandes centros urbanos e regiões industriais. A exposição à poluição do ar varia muito entre países, regiões, cidades e domicílios.

Embora a degradação da qualidade do ar tenha se acentuado nos últimos anos, há relatos de eventos de poluição do ar desde a antiguidade. Na Roma antiga, os escritos de Sêneca já tratavam da poluição do ar na cidade proveniente da queima da madeira. Na Idade Média, Eduardo I, rei da Inglaterra, buscou restringir em alguns momentos a queima da lenha em razão da fumaça espessa e malcheirosa. Entretanto, foi a partir dos eventos de poluição na Bélgica e principalmente em Londres na década de 50 que a temática da poluição do ar ganhou maior notoriedade (Brimblecombe, 1987). Os episódios de poluição do ar ocorridos em Meuse Valley (Bélgica, 1930) e o Grande Nevoeiro de Londres (1952) estiveram diretamente relacionados às elevadas concentrações de poluentes, especialmente óxidos de enxofre (SO₂), provenientes da queima de carvão em atividades industriais e do elevado uso de carvão de baixa qualidade (altamente sulfurado) para aquecimento doméstico.

Esses episódios foram agravados por condições meteorológicas adversas, como baixas temperaturas, alta umidade e a formação de inversão térmica, que impediram a dispersão dos poluentes e provocaram o aprisionamento de gases e partículas próximos ao solo, fenômeno conhecido por *smog químico* (Jacobson, 2002). Em Meuse Valley, estima-se que mais de 60 pessoas tenham morrido e cerca de 6.000 adoeceram devido à contaminação atmosférica. Já em Londres, o impacto foi ainda mais severo, com estimativas entre 4.000 e 12.000 mortes diretas e indiretas, além de milhares de casos de doenças respiratórias e cardiovasculares associadas ao evento, sendo um marco na criação de políticas públicas no Reino Unido com forte influência no monitoramento e estudos atmosféricos em diversos países (Brimblecombe, 1987).

Desde o final da década de 70, os efeitos dos poluentes do ar, tanto os de origem veicular e industrial quanto os decorrentes da queima de biomassa, passaram a ser estudados de maneira sistemática no Brasil e, a partir dos anos 80, com abordagem em poluição do ar e efeitos na saúde humana (Saldiva *et al.*, 1994).

No contexto da região Norte do Brasil, formada pelos estados do Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins, a poluição do ar assume características próprias, sendo fortemente influenciada pelas queimadas, cuja queima de biomassa está associada principalmente ao desmatamento ilegal e à preparação de áreas para pastagem e cultivo agrícola. Essas queimadas emitem poluentes afetando tanto a saúde da população local quanto o equilíbrio climático regional (Artaxo *et al.*, 2022). Além disso, destaca-se o crescimento e urbanização das capitais da região Norte do país, com ênfase para importantes centros urbanos, como Manaus e Belém, tendo em vista o aumento populacional, crescimento da frota veicular, além das atividades industriais e aumento no setor de serviços.

Na Região Norte, diferentemente do padrão de poluição de outras grandes cidades, os episódios críticos de poluição são sazonais, com maior concentração nos períodos de baixa precipitação, principalmente entre julho e outubro, ocasionando aumento no número de casos de doenças respiratórias, internações e, em casos mais graves, a morbimortalidade (Moura *et al.*, 2021).

Nesse contexto, sob a perspectiva da saúde ambiental, este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de revisão sobre os efeitos da poluição do ar na saúde humana, com ênfase no sistema respiratório na região do Norte do Brasil. Para isso, são apresentados o estado atual do conhecimento científico, por meio de produções acadêmicas já desenvolvidas, e os principais achados nos estudos realizados nos diferentes estados que compõem a região norte brasileira.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura. Os artigos de revisão narrativa são publicações amplas, apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento ou o "estado da arte" de um determinado assunto, sob o ponto de vista teórico ou contextual (Baethge; Goldbeck-Wood; Mertens, 2019). A questão de pesquisa foi: Como são os efeitos da poluição do ar na saúde humana e nas doenças do sistema respiratório na região do Norte do Brasil, de acordo com a literatura científica? As fontes foram artigos, documentos, relatórios que tratassem sobre a referida temática nas bases da *Science Direct* e da biblioteca virtual da *Scielo*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fontes geradoras e principais poluentes atmosféricos

As fontes de poluição do ar são classificadas em antrópicas (resultantes da ação humana) e naturais, também conhecidas como fontes biogênicas. As fontes antrópicas são divididas em fontes estacionárias, por exemplo: indústrias, postos de abastecimento, fábricas, atividade de mineração e queimadas intencionais. Além das fontes móveis, por exemplo: veículos automotores, aviões e embarcações. Por outro lado, processos como o vulcanismo, a ressuspensão da poeira do solo, sal marinho e atividades biológicas dos vegetais são importantes fontes naturais de constituintes da poluição do ar (Seinfeld; Pandis, 2016).

Na Amazônia, a intensa atividade convectiva lança esses constituintes atmosféricos a grandes altitudes, onde podem ser transportados de maneira eficiente a longas distâncias (Andreae *et al.*, 2002; Ayoade, 1996). Soma-se a isso, o fato da floresta amazônica ser um importante emissor de partículas biogênicas e gases, como o dióxido de carbono e metano, provenientes de áreas alagadas da floresta (Andreae *et al.*, 2002).

Em relação a classificação dos poluentes atmosféricos, esses são classificados em primários e secundários. De acordo com Baird (2006), poluentes primários são aqueles emitidos diretamente para a atmosfera por indústrias, termelétricas e veículos automotivos. Entre os poluentes, alguns despertam maior interesse em virtude do potencial dano na saúde e efeitos ambientais e normalmente são monitorados e chamados de poluentes legislados, entre eles: dióxido de enxofre (SO₂); óxidos de nitrogênio (NO_x: NO e NO₂); material particulado (MP), partículas totais em suspensão com diâmetro aerodinâmico inferior a 10 µm (MP₁₀) e 2,5 µm (MP_{2,5}); monóxido de carbono (CO); e, em alguns países, também são monitorados compostos orgânicos voláteis (COV) e metais como o chumbo (Jacobson, 2002).

Poluentes secundários são formados a partir de reações químicas formadas pela oxidação fotoquímica de COV, catalisada por NOx, que, na presença de radiação ultravioleta proveniente da luz solar, dão origem ao ozônio (O₃). Outros poluentes secundários são formados por processo de nucleação e condensação de poluentes gasosos (NO₂ e SO₂) e névoas ácidas, como NOx e MP secundário, formados por nitratos e sulfatos. Esses poluentes são emitidos tanto por fontes naturais como por fontes antropogênicas (Baird, 2006).

As erupções vulcânicas, liberam grandes quantidades de poluentes, dentre eles (SO₂), (CO) e (MP); tempestades de poeira em regiões áridas e semiáridas são importantes fontes de material particulado grosso (MP₁₀); queimadas naturais em florestas emitem, além de gases de efeito estufa (GEE) como o óxidos de nitrogênio (NOx), metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂), partículas de *black carbon* (BC), poluente extremamente nocivo à saúde e agente das mudanças climáticas; além da emissão de compostos orgânicos voláteis (COVs) pela vegetação e liberação de partículas de sal marinho pelos oceanos. Apesar de naturais, essas fontes também podem ser potencializadas pela ação humana, como no caso de queimadas provocadas pela expansão agrícola (Seinfeld; Pandis, 2016).

Apesar da diversidade de fontes, as fontes antrópicas representam o maior desafio contemporâneo. Entre elas, destacam-se as indústrias, principalmente em atividades metalúrgicas, petroquímicas e na queima de combustíveis fósseis (Godish; Davis; Fu, 2021). Outra fonte importante é o setor de transportes, principalmente em centros urbanos densamente povoados (Freitas *et al.*, 2017). Recentemente, fontes antrópicas de menor magnitude como padarias e pizzarias têm sido objeto de estudo no Brasil e no mundo (Kumar *et al.*, 2016; Lima *et al.*, 2020). Embora apresentem menor potencial poluidor, por vezes são fontes numerosas, e o efeito acumulado constitui-se como degradador da qualidade do ar.

A seguir, o Quadro 1 apresenta os poluentes atmosféricos, suas principais fontes e potenciais efeitos sobre a saúde humana e o ambiente.

Quadro 1 – Principais poluentes atmosféricos, fontes, efeitos na saúde humana e no ambiente.

Poluente	Principais fontes	Efeitos na saúde humana	Efeitos no ambiente
MP_{2,5} (Material Particulado Fino)	Queimadas, emissões veiculares, indústrias e poeira	Agravamento de doenças respiratórias (asma, bronquite, DPOC), doenças cardiovasculares, câncer de pulmão.	Redução da visibilidade; alteração do regime de chuvas; diminuição da fotossíntese; acidificação do solo.
MP₁₀ (Material Particulado Grosso)	Obras civis, estradas não pavimentadas e mineração	Irritação ocular e nasal, problemas respiratórios em grupos vulneráveis.	Deposição no solo e cursos d'água; impactos sobre plantas e organismos do solo.
Black Carbon (BC)	Queima incompleta de biomassa e combustíveis fósseis	Doenças respiratórias e cardiovasculares; potencial carcinogênico.	Aumenta o aquecimento atmosférico (forçamento radiativo positivo); contribui para o derretimento de geleiras.
Brown Carbon (BrC)	Queimadas florestais e combustão de biomassa	Irritação respiratória; potenciais efeitos tóxicos sistêmicos.	Contribui para o aquecimento atmosférico; escurecimento de superfícies; afeta o balanço radiativo.
CO (Monóxido de Carbono)	Queimadas, veículos automotores e processos industriais	Intoxicação; redução da capacidade de transporte de oxigênio pelo sangue; pode causar morte em altas doses.	Participa na formação de ozônio troposférico; contribui indiretamente para o efeito estufa.
O₃ (Ozônio Troposférico)	Reações fotoquímicas entre NO _x e COVs sob luz solar	Irritação ocular, tosse, bronquite, redução da função pulmonar; agravamento de doenças respiratórias crônicas.	Danos à vegetação (necrose foliar); redução da produtividade agrícola; toxicidade para ecossistemas aquáticos.
NO_x (Óxidos de Nitrogênio)	Emissões veiculares, termelétricas e queimadas	Irritação pulmonar, bronquite, aumento da suscetibilidade a infecções respiratórias.	Formação de ozônio e chuva ácida; eutrofização de corpos d'água; degradação de ecossistemas.
SO₂ (Dióxido de Enxofre)	Combustão de carvão, processos industriais	Irritação das vias aéreas; bronquite; agrava doenças respiratórias e cardiovasculares.	Formação de chuva ácida; acidificação de lagos e solos; danos à vegetação e edificações.
COVs (Compostos Orgânicos Voláteis)	Combustíveis, solventes e queimadas	Alguns são tóxicos e/ou cancerígenos (ex.: benzeno); efeitos neurotóxicos e hepáticos em exposições prolongadas.	Formação de ozônio troposférico; contaminação do solo e da água; poluição fotoquímica.
Chumbo (Pb)	Indústrias metalúrgicas e antigas emissões veiculares	Comprometimento neurológico, especialmente em crianças; anemia; efeitos renais e cardiovasculares.	Contaminação persistente do solo e da água; bioacumulação em organismos; toxicidade para a fauna.

Fonte: Autoria própria.

Poluição do ar: os efeitos sistêmicos na saúde humana

Um dos principais desafios associados à poluição do ar refere-se aos seus efeitos sobre a saúde humana. Desde 2013, a *International Agency Research Cancer* (IARC), vinculada à Organização Mundial da Saúde (OMS), reconhece a poluição atmosférica como agente carcinogênico do Grupo 1. Ou seja, essa classificação indica que há evidências suficientes de que a exposição à poluição do ar pode causar câncer de pulmão em seres humanos.

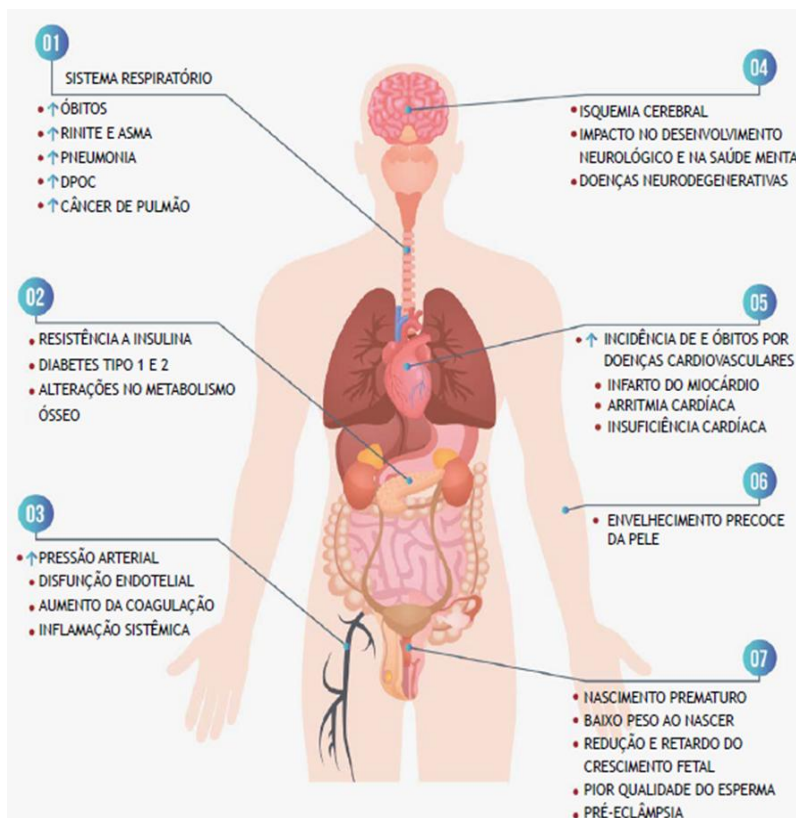
O Relatório do *State of Global Air* em 2024 identificou a poluição do ar como o segundo principal fator de risco de morte em todo o mundo (*Health Effects Institute*, 2024). No Brasil, registrou-se cerca de 52 mil mortes em 2019 e 80 mil mortes em 2021. Estimam-se elevados custos anuais de cerca de 3 bilhões de reais devido aos efeitos diretos e indiretos dos aerossóis na saúde, ecossistemas e clima da região amazônica (OMS, 2021).

Em 2019, por exemplo, as intensas queimadas ocorridas na Amazônia provocaram um aumento significativo nas concentrações de material particulado em diversas cidades da região Norte, como Porto Velho (RO) e Rio Branco (AC). A gravidade da situação foi tamanha que os efeitos da fumaça foram observados em estados distantes, como São Paulo, que apresentou escurecimento do céu durante o dia devido à movimentação das correntes atmosféricas (Alpert *et al.*, 2021).

Além dos impactos visuais decorrentes das queimadas, estudos epidemiológicos têm associado a elevação dos níveis de poluentes atmosféricos ao aumento nos atendimentos hospitalares por doenças respiratórias, especialmente entre crianças, idosos e populações indígenas, grupos mais vulneráveis aos efeitos da exposição prolongada à fumaça. (Collaborators, 2024).

Adicionalmente, pesquisas nacionais (Saldiva *et al.*, 1994) e internacionais (IARC, 2016; OMS, 2021 e Collaborators, 2024) têm demonstrado que os efeitos da poluição atmosférica vão além das vias respiratórias, sendo também responsáveis por impactos sistêmicos, desde o envelhecimento precoce até alterações neurológicas, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Efeitos da poluição do ar nos sistemas do corpo humano.



Fonte: Santos *et al.* (2021).

As pesquisas que relacionam poluição do ar e saúde humana geralmente integram três áreas complementares do conhecimento: epidemiologia, toxicologia e biologia dos mecanismos patológicos. A epidemiologia investiga a relação entre a exposição à poluição do ar e a ocorrência de doenças em diferentes populações (Pinkerton *et al.*, 2019). A toxicologia fornece evidências experimentais em laboratório sobre como os poluentes afetam tecidos e órgãos (Brook *et al.*, 2010). Já os mecanismos patológicos, como estresse oxidativo, inflamação crônica e genotoxicidade explicam como a poluição do ar causa doenças, por exemplo, a exposição contínua a poluentes estimula uma resposta inflamatória prolongada, sobrecarregando o sistema imunológico e agrava doenças respiratórias (como asma e DPOC) (Gangwar *et al.*, 2019).

O Quadro 2 apresenta importantes achados de estudos já realizados sobre os Estados que compõem a região norte do Brasil, referentes aos aspectos de saúde ambiental, efeitos na saúde humana e aos impactos ambientais.

Quadro 2 – Estudos sobre poluição do ar, saúde ambiental, efeitos na saúde humana e impactos ambientais nos Estados da Amazônia Brasileira.

Estado	Autor(es) / Estudo	Aspectos de Saúde Ambiental	Saúde Humana	Impactos Ambientais
Pará	Moura <i>et al.</i> (2021)	Relaciona queimadas, qualidade do ar e vulnerabilidades sociais; destaca falhas no monitoramento ambiental	>60% aumento em internações infantis por doenças respiratórias em Marabá e Santarém durante picos de MP _{2,5}	Picos críticos de MP _{2,5} ; qualidade do ar atingindo níveis de alerta segundo padrões nacionais
	Fiocruz & WWF-Brasil (2021)	Relaciona queimadas ilegais ao agravamento da saúde pública; necessidade de integração entre meio ambiente e saúde	68% das internações respiratórias atribuídas à poluição por queimadas	Aumento de focos de incêndio, seca e alteração da cobertura vegetal com elevação de MP _{2,5}
	InfoAmazonia (2021)	Exposição desigual; populações vulneráveis mais expostas; ausência de governança ambiental eficaz	Dobro de hospitalizações infantis por doenças respiratórias em áreas próximas a queimadas	Poluição crônica em áreas urbanas e periurbanas
	Andrade <i>et al.</i> (2013)	Destaca desigualdade ambiental entre populações urbanas e rurais	Variações climáticas mais influentes que poluição urbana na incidência de doenças respiratórias	Menores concentrações de MP _{2,5} em Manaus; evidência de formação de aerossóis secundários
Amazonas	InfoAmazonia (Boca do Acre, 2025)	Falta de alertas ambientais e políticas integradas entre meio ambiente e saúde pública	Comunidades ribeirinhas expostas; idosos e crianças adoeceram com ar altamente poluído	Concentrações de MP _{2,5} críticas sem monitoramento oficial
	Human Rights Watch (2019)	Relaciona exposição crônica à violação de direitos humanos e injustiça ambiental	Aumento de asma, bronquite e insuficiência cardíaca em períodos críticos de queimadas	Picos de MP _{2,5} 2 a 5 vezes acima do limite da OMS; escurecimento do céu
	Hacon <i>et al.</i> (2020)	Necessidade de articulação entre saúde pública e meio ambiente; impactos cumulativos	Aumento de 7% em internações e consultas por doenças respiratórias, especialmente em crianças	Aerossóis transportados por queimadas; alta prevalência de asma em escolares
Rondônia	InfoAmazonia (Porto Velho, 2024)	Denúncia de desigualdade ambiental; comunidades vulneráveis ficaram desassistidas	Crianças e idosos afetados após 96 dias com ar tóxico; internações aumentadas	Visibilidade quase nula; ausência de estação de monitoramento
	Human Rights Watch (2019)	Evidência de fragilidade na integração entre políticas de saúde e meio ambiente	Agravamento de Covid-19 e SRAG relacionado a poluição atmosférica persistente	MP _{2,5} elevado durante meses; crise ambiental prolongada

Estado	Autor(es) / Estudo	Aspectos de Saúde Ambiental	Saúde Humana	Impactos Ambientais
Acre	InfoAmazonia (2020)	Falta de proteção efetiva das populações vulneráveis; omissão dos órgãos ambientais	22–29% aumento nas hospitalizações por SRAG durante a seca	MP _{2,5} até 3 vezes acima do limite; céu escurecido
	Fiocruz & WWF-Brasil (2021)	Destaca necessidade de articulação entre gestão ambiental e proteção da saúde pública	87% das internações por SRAG atribuídas à poluição por queimadas	Emissões mantêm MP _{2,5} elevado durante meses
	Human Rights Watch (2019)	Falhas estruturais na articulação entre ações ambientais e de saúde; aumento da vulnerabilidade socioambiental	Aumento de doenças respiratórias e cardíacas sem alertas oficiais	Emissões críticas afetaram diretamente o funcionamento do sistema de saúde

Fonte: Autoria própria.

O conjunto de resultados apresentado no Quadro 2 oferece informações relevantes sobre a relação entre poluição do ar e saúde, abordando desde aspectos ligados à saúde ambiental, como a limitada integração entre o setor de saúde e as políticas ambientais, até os riscos aumentados para populações economicamente vulneráveis, tanto em termos de exposição quanto de impactos à saúde. Segundo (Saldiva *et al.*, 1994), populações de baixa renda ficam mais expostas a níveis elevados de poluentes atmosféricos e, ao mesmo tempo, enfrentam barreiras significativas no acesso a diagnósticos precisos, tratamentos adequados e, em muitas situações, até mesmo aos serviços básicos de saúde.

Queimadas e impactos na saúde humana

As queimadas são uma importante fonte de poluição na região norte do Brasil e representam um sério fator de degradação da saúde humana. Seus efeitos sobre a qualidade do ar merecem destaque, pois impactam diretamente a saúde das populações expostas. A literatura científica reconhece amplamente os danos causados pela poluição do ar à saúde (Saldiva *et al.*, 1994; IARC, 2016; OMS, 2021 e Collaborators, 2024).

Na Amazônia, estudos indicam que períodos intensos de queimadas estão associados ao aumento de atendimentos hospitalares por problemas respiratórios, afetando especialmente crianças, idosos e populações indígenas (Alpert *et al.*, 2021). Além dos impactos diretos na saúde humana, a poluição gerada pelas queimadas também afeta o clima regional, alterando o ciclo hidrológico e intensificando episódios de seca e novas queimadas (Artaxo *et al.*, 2022).

Trata-se, portanto, de um problema que vai além da saúde individual, comprometendo a estabilidade ambiental, econômica e social de toda a região.

Diante das queimadas, é fundamental divulgar recomendações à população para reduzir os riscos à saúde e ao meio ambiente (Brasil, 2020). Entre as orientações estão: aumentar a ingestão de água e líquidos para manter as vias respiratórias úmidas e protegidas; evitar atividades físicas e trabalhos ao ar livre quando a qualidade do ar estiver comprometida; não utilizar fogões à lenha para o preparo de alimentos; manter o ar-condicionado com a entrada de ar externo fechada para evitar a entrada de fumaça; evitar o uso de aspiradores de pó; realizar aceiros preventivos para conter a propagação do fogo; não jogar cigarros ou fósforos acesos na vegetação; não soltar balões e fogos de artifício; não acender fogueiras e não transportar ou manusear líquidos inflamáveis.

Para detalhes sobre orientações para população em situação de queimadas: <https://www.gov.br/saude/pt-br/assuntos/saude-de-a-a-z/q/queimadas>.

Abaixo, a Tabela 1, que traz de forma quantitativa os números de casos totais de óbitos por doenças respiratórias em geral e exposição à fumaça. Ressalta-se que o Pará teve maior número de óbitos por doenças respiratórias em geral no período de 2019-2023 com 25.606 casos e média de 5121,2 por ano. Ademais, o Amazonas teve, de forma crescente, o maior número de óbitos por exposição à fumaça no mesmo período, com 85 casos e média de 17 por ano.

Os óbitos por doenças respiratórias em geral apresentam uma variação oscilatória ao longo do período observado (2019-2023), com alternância entre aumentos e reduções nos valores absolutos. Entretanto, o número de óbitos por exposição à fumaça no mesmo período tem tendência geral de crescimento.

A análise dos óbitos por doenças respiratórias e por exposição à fumaça na Região Norte do Brasil, no período de 2019 a 2023, evidencia a magnitude dos impactos da poluição atmosférica na saúde da população. Os dados demonstram que as mortes por doenças respiratórias em geral mantiveram-se em patamares elevados e relativamente estáveis, com variação entre 9.064 casos em 2019 e 10.546 em 2023. O Estado do Pará apresentou o maior número absoluto de óbitos, com 25.606 registros no período, correspondendo a aproximadamente 36% do total regional. Em seguida, destacam-se Amazonas (9.172 óbitos) e Rondônia (4.474 óbitos). Já os estados com menor população, como Roraima (1.403 óbitos) e Amapá (2.079 óbitos), apresentaram valores mais baixos, embora proporcionais às suas dimensões demográficas.

Tabela 1 – Casos totais de óbitos por doenças respiratórias em geral e por exposição à fumaça na Região Norte e por UF (Unidade Federativa).

Óbitos por doenças respiratórias	2019	2020	2021	2022	2023	Total (UF)
Amazonas	1574	1747	1940	1877	2034	9172
Acre	639	488	616	629	634	3006
Amapá	409	329	356	460	525	2079
Pará	4573	6260	4399	5319	5055	25606
Rondônia	909	711	794	975	1085	4474
Roraima	236	225	266	320	356	1403
Tocantins	724	667	714	905	857	3867
Total (Região)	9064	10427	9085	10485	10546	

Óbitos por exposição à fumaça	2019	2020	2021	2022	2023	Total (UF)
Amazonas	11	10	14	23	27	85
Acre	3	1	1	0	5	10
Amapá	1	2	3	0	0	6
Pará	16	12	13	14	20	75
Rondônia	8	7	7	5	11	38
Roraima	1	1	3	3	0	8
Tocantins	3	5	6	5	5	24
Total (Região)	43	38	47	50	68	

Fonte: DATASUS, 2025.

No que se refere aos óbitos por exposição à fumaça, observa-se uma tendência distinta, marcada por crescimento contínuo ao longo do período. O número de mortes passou de 43 casos em 2019 para 68 em 2023, representando um aumento de quase 60% em cinco anos. O Amazonas lidera com 85 óbitos acumulados, seguido do Pará (75) e de Rondônia (38). Apesar de apresentarem valores absolutos menores, estados como Acre, Tocantins e Amapá também registraram episódios críticos em anos específicos, refletindo a influência direta da sazonalidade das queimadas.

A relação entre doenças respiratórias em geral e os óbitos diretamente associados à fumaça revela a complexidade do problema. Embora os casos atribuídos à exposição à fumaça

representem uma fração menor do total, funcionam como um importante indicador da degradação ambiental e da intensidade das queimadas na Amazônia. Os resultados apontam que estados com maiores áreas de floresta e maior número de focos de incêndio, como Amazonas e Pará, concentram também os impactos mais expressivos na saúde da população.

Em síntese, os dados reforçam que a poluição atmosférica, intensificada pelas queimadas, constitui um grave desafio de saúde pública na Região Norte. A tendência de aumento nos óbitos relacionados à fumaça sinaliza a necessidade de ampliar o monitoramento da qualidade do ar, fortalecer políticas ambientais e integrar estratégias de prevenção em saúde, sobretudo voltadas às populações mais vulneráveis, como crianças, idosos e comunidades tradicionais.

COVID-19 e os poluentes atmosféricos

Além do exposto anteriormente, doenças cardiorrespiratórias englobam um conjunto de condições que podem levar a complicações graves e até mesmo fatais. Diversos fatores contribuem para o seu surgimento e disseminação, incluindo hábitos de vida inadequados, predisposição genética e influências ambientais (Oliveira, 2011). Ademais, estudos demonstram que a poluição do ar exerce efeitos nocivos sobre a saúde humana, contribuindo para o aumento das taxas de mortalidade e morbidade, especialmente por doenças respiratórias, inclusive a COVID-19.

A enzima ACE-2, encontrada principalmente nos alvéolos pulmonares, é a porta de entrada do vírus nas células humanas. O aumento da expressão desta enzima está diretamente relacionado com problemas cardiorrespiratórios, principalmente a hipertensão arterial, facilitando a infecção pelo vírus. Logo, o desenvolvimento de morbidades devido à má qualidade do ar, aumenta o risco de infecção e progressão à casos graves do COVID-19 (Mota, 2021).

Entre os diversos poluentes atmosféricos com efeitos adversos sobre a saúde respiratória, os que mais têm sido associados à mortalidade por COVID-19 são os materiais particulados finos (PM_{2,5}) (Tung *et al.*, 2021; Yao *et al.*, 2020), bem como os poluentes contendo nitrogênio e ozônio (Akan, 2022; Conticini *et al.*, 2020; Kogevinas *et al.*, 2021; Marquès *et al.*, 2021).

O estudo de Chen *et al.* (2022), conduzido na Califórnia, EUA, identificou que o aumento da exposição média anual ao PM_{2,5} esteve associado ao maior risco de mortalidade

por COVID-19. De forma semelhante, um estudo com base em dados individuais realizado na Cidade do México por López-Feldman *et al.* (2021) encontrou uma relação positiva entre os óbitos por COVID-19 e a concentração de PM_{2,5}, mesmo após ajustes por características individuais e municipais.

O material particulado atmosférico pode funcionar como um vetor de transporte para os vírus, que se anexam em partículas atmosféricas, sendo elas sólidas ou líquidas, tornando-os capazes de sobreviver por horas e se espalharem por grandes áreas (Setti *et al.*, 2020). A pesquisa feita por Zhu *et al.* (2020) indica uma relação entre a infecção por COVID-19 e a poluição atmosférica, principalmente pela exposição a concentrações mais altas de PM_{2,5}, PM₁₀, NO₂, O₃ e CO, fortalecendo a teoria do transporte de cargas virulentas por materiais particulados em suspensão.

O poluente atmosférico considerado o mais influente no agravamento dos casos de COVID-19 foi o NO₂, que aumenta os riscos de doenças respiratórias, como asma, bronquite, além de enfraquecer o sistema imunológico contra infecções respiratórias por ser considerado um poderoso oxidante (Mota, 2021).

No caso da COVID-19, os poluentes atmosféricos exercem papel de carreadores deste vírus, especialmente em áreas com alta urbanização e onde há ausência de controle químico-físico eficaz, bem como falta de diretrizes governamentais adequadas para a proteção da saúde humana e do meio ambiente.

CONCLUSÃO

Este capítulo abordou a poluição do ar como um problema de saúde ambiental, com foco nas doenças do aparelho respiratório e com ênfase na Região Norte do Brasil. Evidências científicas demonstram que as queimadas estão diretamente associadas ao aumento de atendimentos hospitalares por problemas respiratórios, afetando de forma mais acentuada crianças, idosos e populações indígenas, grupos mais vulneráveis à inalação do material particulado (MP).

Além dos danos diretos à saúde, os estudos mostraram que o material particulado (MP) pode atuar como vetor de agentes virais, uma vez que partículas sólidas ou líquidas suspensas no ar servem de superfície para a adesão de vírus. Essas partículas, especialmente as de menor diâmetro, como o MP₁₀ e, sobretudo, o MP_{2,5}, podem manter vírus viáveis por várias horas, favorecendo sua dispersão por longas distâncias, sobretudo em contextos de exposição a elevadas concentrações de MP_{2,5}, MP₁₀, NO₂, O₃ e CO.

O monitoramento da poluição atmosférica é uma ferramenta essencial para mensurar a concentração de poluentes, identificar fontes emissoras, orientar o controle de impactos ambientais e subsidiar políticas públicas de saúde. No entanto, na Região Norte do Brasil, esse monitoramento ainda é incipiente, caracterizado por infraestrutura limitada e baixa cobertura da rede de estações de medição. A maior concentração dessas estações encontra-se nas regiões Sudeste e Sul, especialmente em áreas urbanas e industrializadas, como São Paulo e Rio de Janeiro.

Conclui-se que a limitada articulação entre os setores ambiental e de saúde, aliada à ausência de uma rede de monitoramento atmosférico robusta na Região Norte, compromete a formulação de políticas públicas eficazes e o reconhecimento institucional dos efeitos da poluição do ar sobre a saúde humana. Essa lacuna inviabiliza uma avaliação precisa dos impactos causados por fontes locais de poluição, como atividades de mineração, desmatamento e queimadas, e contribui, de forma direta, para o aumento de óbitos por causas respiratórias e pela exposição à fumaça na Região Norte do país.

REFERÊNCIAS

- AKAN, A. P. Transmission of COVID-19 pandemic (Turkey) associated with short-term exposure of air quality and climatological parameters. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 29, n. 27, p. 41695-41712, 2022. <https://doi.org/10.1007/S11356-021-18403-4/TABLES/7>
- ALPERT, P. *et al.* Respiratory impacts of biomass burning in the Amazon: evidence from satellite and health data. **Environmental Health Perspectives**, v. 129, n. 4, 2021. <https://doi.org/10.5194/acp-21-13477-2021>
- ANDRADE FILHO, V. S., de. *et al.* Aerossóis de queimadas e doenças respiratórias em crianças, Manaus, Brasil. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 47, n. 2, p. 239–247, jun. 2013. <https://doi.org/10.1590/S0034-8910.2013047004011>
- ANDREAE, M. O. *et al.* Biogeochemical cycling of carbon, water, energy, trace gases and aerosols in Amazonia: The LBA-EUSTACH experiments. **Journal of Geophysical Research**, v. 107, D20, 8.066-8.091, 2002. <https://doi.org/10.1029/2001JD000524>
- ARTAXO, P. *et al.* Impacts of Amazon biomass burning aerosols on precipitation and the hydrological cycle. **Nature Communications**, v. 13, n. 1, 2022. <https://doi.org/10.1029/2007JD009587>
- AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1996. Tradução de Maria Juraci Zani dos Santos; revisão de Suely Bastos; coordenação editorial de Antonio Christofolletti. 332 p.

BAETHGE, C.; GOLDBECK-WOOD, S.; MERTENS S. SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. **Research Integrity and Peer Review**. v.4, n.5, 2019. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução nº 506, de 5 de julho de 2024**. Estabelece padrões nacionais de qualidade do ar. Diário Oficial da União, Seção 1, Brasília, DF, 9 jul. 2024.

BRIMBLECOMBE, Peter. **The Big Smoke: A History of Air Pollution in London since Medieval Times**. London: Methuen, 1987.

BROOK, R. D. *et al.* Particulate matter air pollution and cardiovascular disease: An update to the scientific statement from the American Heart Association. **Circulation**, v. 121, p. 2331–2378, 2010. <https://doi.org/10.1161/CIR.0b013e3181dbee1>

CHEN, C. *et al.* Association between long-term exposure to ambient air pollution and COVID-19 severity: a prospective cohort study. **Canadian Medical Association Journal**, v.194, n.20, 693–700, 2022. <https://doi.org/10.1503/cmaj.220068>

CONTICINI, E.; FREDIANI, B.; CARO, D. Can atmospheric pollution be considered a co-factor in extremely high level of SARS-CoV-2 lethality in Northern Italy?. **Environmental pollution**, v. 261, p. 114465, 2020.

DAVIS, W. T.; FU, J. S.; GODISH, T. **Air Quality**. [S.l.]: CRC Press, 2021.

FIOCRUZ – ENSP; WWF-BRASIL. **Queimadas na Amazônia aumentam problemas respiratórios (2010–2020)**. Informe Ensp, Rio de Janeiro, 29 abr. 2021. Disponível em: <https://www.icict.fiocruz.br/content/queimadas-na-amazonia-aumentam-problemas-respiratorios>. Acesso em: 29 Julho. 2025.

FREITAS, S. R *et al.* The Brazilian developments on the Regional Atmospheric Modeling System (BRAMS 5.2): An integrated environmental model tuned for tropical areas. **Geoscientific Model Development**, v. 10, n. 1, p. 189–222, 2017.

GBD 2021 RISK FACTORS COLLABORATORS. Global burden and strength of evidence for 88 risk factors in 204 countries and 811 subnational locations, 1990-2021: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2021. **Lancet**, v.403, p. 2162-2203, 2024.

GODISH, T.; DAVIS, W. T.; FU, J. S. **Air Quality**. 5. ed. London: Taylor & Francis, 2021. <https://doi.org/10.1201/b17341>

GANGWAR, R. S. *et al.* Oxidative stress pathways of air pollution mediated toxicity: Recent insights. **Redox biology**, v. 34, p. 101545, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101545>

IARC – INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. Outdoor air pollution. **IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans**, v. 109, 2016.

INFOAMAZONIA. *Engolindo Fumaça – análise dos impactos da poluição por queimadas*. InfoAmazonia, São Paulo, 23 ago. 2021. Disponível em: <https://infoamazonia.org/project/engolindo-fumaca/>. Acesso em: 6 ago. 2025

JACOBSON, M. Z. **Atmospheric Pollution – History, Science and Regulation**. Cambridge University Press, 2002. <https://10.1017/CBO9780511802287>

- KOGEVINAS, M. *et al.* Ambient air pollution and risk of SARS-CoV-2 infection and of COVID-19 disease in a cohort study in Catalonia (COVICAT Cohort). **ISEE Conference Abstracts**, 1–10, 2021. <https://doi.org/10.1289/isee.2021.o-to-177>
- LIMA, F. D. M. *et al.* Characterization of particles emitted by pizzerias burning wood and briquettes: a case study at São Paulo, Brazil. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 27, n. 29, p. 35875–35888, 2020. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-07508-6>
- LÓPEZ-FELDMAN, A.; HERES, D.; MARQUEZ-PADILLA, F. Air pollution exposure and COVID-19: A look at mortality in Mexico City using individual-level data. **Science of the Total Environment**, 756, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.143929>
- MARQUÈS, M. *et al.* Effects of air pollution on the potential transmission and mortality of COVID-19: A preliminary case-study in Tarragona Province (Catalonia, Spain). **Environmental Research**, 192, 110315, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.110315>
- MOTA, M. V. **Correlação da qualidade do ar com a pandemia do COVID-19**. 68 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2021.
- MOURA, M. D. N. *et al.* Relationship between respiratory diseases and environmental conditions: a time-series analysis in Eastern amazon. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (RBCIAMB)**, v. 56, n. 3, p. 398-412, 2021. <https://doi.org/10.5327/Z217694781020>
- OLIVEIRA, B. L. A. de; SOUZA, R. A. F. de.; ANDREOLI, R.V. Qualidade do ar na cidade de Manaus: material particulado e suas relações com as queimadas. **Geoconexões Online**, v.4, n.2, pp. 108-118, 2024. <https://doi.org/10.53528/geoconexes.v4i2.15>
- OLIVEIRA, M. S. **Associação entre poluição do ar e morbimortalidade por doenças cardiorespiratórias no município de Volta Redonda, RJ, Brasil**. Fundação Oswaldo Cruz. Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2011.
- OMS global air quality guidelines. **Coastal And Estuarine Processes**, p. 1-360, 2021.
- PINKERTON, K. E. *et al.* Cardiopulmonary health effects of airborne particulate matter: correlating animal toxicology to human epidemiology. **Toxicologic Pathology**, v. 47, n. 8, p. 956-970, 2019. <https://doi.org/10.1177/0192623319879091>
- SALDIVA, P. H. N. *et al.* Association between air pollution and mortality due to respiratory diseases in children in São Paulo, Brazil: a preliminary report. **Environmental Research**, v. 65, n. 2, p. 218-225, 1994. <https://doi.org/10.1006/enrs.1994.1033>
- SANTOS, U. P. *et al.* Poluição do ar ambiental: efeitos respiratórios. **Jornal Brasileiro de Pneumologia**, São Paulo, v. 47, n. 1, p. e20200267, 2021. <https://doi.org/10.36416/1806-3756/e20200267>
- SEINFELD, J. H.; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate change**. 3 ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2016.
- SETTI, L. *et al.* Relazione circa l'effetto dell'inquinamento da particolato atmosferico e la diffusione di virus nella popolazione. **Società Italiana di Medicina Ambientale**, 2020.
- TERRA FILHO, M.; SANTOS, U. P. Silicose. **J Bras Pneumol.**, v.32, Suppl 2, S59-65, 2006.

TUNG, N. T. *et al.* Particulate matter and SARS-CoV-2: a possible model of COVID-19 transmission. **Science of the total environment**, v. 750, 141532, 2021. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141532>

YAO, Y. *et al.* Spatial correlation of particulate matter pollution and death rate of COVID-19. **MedRxiv**, 2020. <https://doi.org/10.1101/2020.04.07.20052142>

ZHU, Y. *et al.* Association between short-term exposure to air pollution and COVID-19 infection: Evidence from China. **Science of The Total Environment**, v. 727, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138704>

CONEXÃO DA TEORIA AMBIENTALISTA DE FLORENCE NIGHTINGALE COM A BIOSOCIOLOGIA: NOVAS PERSPECTIVAS DE ECO-COMPLEXIDADE NA SAÚDE

CONNECTING FLORENCE NIGHTINGALE'S ENVIRONMENTAL THEORY WITH BIOSOCIOLOGY: NEW PERSPECTIVES ON ECO-COMPLEXITY IN HEALTH

Antonio Jorge Silva Correa Júnior¹

Mary Elizabeth de Santana²

Jeferson Santos Araújo³

Helena Megumi Sonobe⁴

Resumo

Objetivo: Refletir à luz de uma aproximação de marcos da Biosociologia e da Teoria Ambientalista sobre os impactos das mudanças no meio ambiente nos processos de doença-adocimento das populações-comunidades, para novos encaminhamentos de pesquisas. **Método:** Desempenhou-se uma revisão bibliográfica teórica compreensiva, com síntese crítica de textos escolhidos intencionalmente. **Resultados:** O primeiro eixo de debate trata dos conceitos da biosociologia e da fundamentação da teoria ambientalista de Florence Nightingale como práxis de intervenção em Saúde Planetária. O segundo eixo aponta o conceito de risco como um caminho para que estudos conciliem ambas perspectivas, tendo como contexto a mitigação, ou mesmo eliminação, das doenças socialmente-ambientalmente determinadas. **Conclusão:** Assevera-se que são teorias e modelos que embora distintos podem se comunicar epistemologicamente, a fim de moldar uma compreensão eco-complexa da saúde, planos de ação para cumprimento de objetivos do desenvolvimento sustentável relativos à saúde, das crises mundiais e sobre os determinantes de adoecimento.

Palavras-chave: Determinantes Sociais da Saúde; Ecologia comportamental; Ecologia Humana; Sociobiologia; Saúde Ambiental; Teoria de Enfermagem.

Abstract

Objective: To reflect, in light of an approximation of landmarks from Biosociology and Environmental Theory, on the impacts of environmental changes on the disease processes of populations and communities, for new research directions. **Method:** A comprehensive theoretical literature review was conducted, with a critical synthesis of intentionally selected texts. **Results:** The first axis of discussion addresses the concepts of biosociology and the foundation of Florence Nightingale's environmental theory as a praxis for intervention in Planetary Health. The second axis points to the concept of risk as a way for studies to reconcile both perspectives, within the context of mitigating, or even eliminating, socially and environmentally determined diseases. **Conclusion:** It is asserted that these theories and models, although distinct, can communicate epistemologically to shape an eco-complex understanding of health and action plans for achieving sustainable development goals related to health, global crises, and the determinants of illness.

Keywords: Social Determinants of Health; Behavioral Ecology; Human Ecology; Sociobiology; Environmental Health; Nursing Theory.

¹ Mestre em Enfermagem pela Universidade Federal do Pará. Doutorando em ciências pelo programa de Pós-Graduação em Enfermagem Fundamental da Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto (EERP-USP).

² Doutora em Enfermagem Fundamental pela EERP-USP. Professor Titular do Curso de Enfermagem da Universidade do Estado do Pará (UEPA).

³ Doutor em Enfermagem pela EERP-USP. Professor da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS).

⁴ Doutora em Enfermagem Fundamental pela EERP-USP. Professor Associado da USP.

INTRODUÇÃO

Os 17 Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2020-2030 reconhecem a multitude de marcadores e desafios multissetoriais, interníveis, aspectos climáticos, produtivos, biológicos e sociais para o cumprimento desta agenda e consequente manutenção da vida comunitária e sustentável na Terra (ONU Brasil, 2025). Neste sentido, a ecologia complexa já apregoa uma visão destes fatores sem o ideal da separatividade, que didaticamente estamos acostumados. Quando encaramos a temática ambiental, uma ecologia sem o homem, que deve ser superada, é aquela que aborda apenas os fenômenos naturais e que não estabelece um salto entre o paradigma social complexo e o paradigma ecológico, simplificando abordagens (Pena-Vega, 2003).

Na Teoria Ambientalista, a enfermeira – e para ser mais atual os profissionais de saúde – têm por função equilibrar o meio ambiente. Neste ensejo, a reformadora e cientista Florence Nightingale (1820-1910), admite que o meio ambiente será curativo ou insalubre, preocupando-se com conceitos simples: ar puro, boa água, saneamento, limpeza, iluminação, tratar ou prevenir infecções. Para ela as doenças são processos reparativos, e a natureza restaurará em semanas, meses ou anos, processos de envenenamento ou deterioração (Medeiros; Enders; Lira, 2015; Nightingale, 2010).

Pena-Vega (2021) em sua filosofia complexa e ecossocial, afirma que nosso século viverá uma crise planetária causada pela perda da capacidade humana em bem habitar a Terra. Para tanto, a pesquisa biossocial prima pela ideia de etodiversidade e análise das estruturas biossociais (nicho biológico e nicho social, atravessados pelo meio-ambiente). Tal referencial preconiza a construção e análise de um nicho social no qual, fatores genéticos e de aprimoramento cultural aumentam a etodiversidade, entendida como um dos principais fatores biossociais da configuração do sociótipo. O ambiente externo de nicho é um dos fatores, que contribui para a evolução ou não dos grupos humanos, considera que existe transmissão bidirecional de informações entre os organismos e o ambiente (Coca *et al.*, 2021).

Para a administração do cuidado às pessoas e às populações, em um contexto de Saúde Pública, Florence foi pioneira, contudo, um descompasso entre sua teoria publicada no livro “Notas sobre a Enfermagem: o que é, e o que não é” são as recomendações de cunho exclusivamente doméstico, o que decerto reduz o alcance de sua teoria. Contudo, a autora teve a chance de aplicar seus conhecimentos em um lócus de conflito armado, como foi no caso da

campanha sanitária que a mesma desempenhou na Guerra da Criméia (Medeiros; Enders; Lira, 2015; Nightingale, 2010).

Quanto aos esforços sanitários a Saúde Pública conta com outros marcos, como a obra de John Snow, médico sanitarista e anestesista formado em 1844. Na era vitoriana foi consumidor de pesquisa médica, inventando o inalador portátil de éter para anestesia. Contudo, sua investigação meticulosa sobre o surto de cólera, mapeando casos em *Broad Street*, Londres de 1854, época ainda influenciada pela teoria dos miasmas – as doenças eram causadas por ar ruim – estabeleceu seu pioneirismo. Ele propôs que a cólera era transmitida por água contaminada, mesmo recebendo resistência da academia. A análise espacial de sua pesquisa aliada às entrevistas com moradores, correlacionaram a doença ao suprimento proveniente da bomba d'água de *Broad Street* (Avdulla; Tachirai, 2024).

De igual modo, corrobora-se que o paradigma biossociológico ante mudanças ambientais vai na contracorrente das certezas científicas. A consideração das incertezas faz parte do campo científico, mas desde a crise pandêmica devido à *Coronavirus Disease 2019*, vem ocorrendo uma repulsão às incertezas. Contudo, a época na qual vivemos é de aceitação e superação de tais incertezas, que frequentemente, são negadas (Pena-Veja, 2021) não permitindo sustentados transdisciplinarmente.

Considerando o paradigma complexo da neguentropia – Grau de ordem ou organização em um sistema – a informação da biologia deve se afastar de concepções mecanicistas, a partir disso, alçamos a ideia complexa de auto-(geno-feno-ego)-eco-re-organizacional. Este constructo apregoa que o ser humano é um sistema autônomo, que se comunica para viver e integrar processos e utiliza recursos biológicos (genótipo e fenótipo), que moldam seu comportamento inato, sobretudo pela noção das informações armazenadas nos genes pela reprodução, o justifica o “re”. Tais pessoas possuem noções determinadas pelo ego e admitem-se influências do meio ambiente, o que resvala no “eco” (Blay; Piqueira, 2024).

Os dilemas inspirados pelo referencial biossociológico inserem-se na complexidade ecológica, sendo estes: sanitários, no lastro de pandemias e zoonoses; econômicos; psicológicos, pelo medo e ansiedade do futuro; experienciados sobretudo pela Geração Z e Millenials e a dissolução da moral comunitária. O paradigma da dúvida, faca de dois gumes, é uma contingência para que as metodologias de pesquisa, referenciais teóricos e cientistas integrem ao seu modo de pensar a resolução de problemas globais, como também a condição fundamental de pensar no erro e ilusão do conhecimento – sobretudo os consolidados desde o século XX – a fim de examinarem e refletirem sobre os rumos da sociedade (Pena-Veja, 2021).

Dessarte, após estas contextualizações, nossas perguntas de reflexão foram: Quais as relações entre a união da biossociologia/teoria ambientalista e a saúde ambiental? Quais são as implicações que este tema possibilita para a área da saúde global? Neste trabalho, buscaremos refletir à luz de uma aproximação dos marcos da Biossociologia e da Teoria Ambientalista sobre os impactos das mudanças no meio ambiente, nos processos de doença-adoecimento das populações-comunidades, para novos encaminhamentos de pesquisas em consonância com os ODS da Agenda 2020-2030.

MÉTODO

Para o desenvolvimento deste estudo teórico elegeu-se uma abordagem estritamente bibliográfica e interpretativa. O processo de síntese e leitura analítica envolvem: delimitação de uma unidade de leitura, análise do texto com preparação do mesmo, compreensão das mensagens dos autores e ideias secundárias, interpretação da mensagem com críticas e associações de ideias, levantamento de discussões a partir da unidade e reelaboração da literatura deixando uma reflexão pessoal (Severino, 2016).

A revisão bibliográfica foi realizado em sete etapas de Gil (2019): elaboração de um plano preliminar de revisão, com pendor crítico e identificação de tópicos iniciais; identificação de fontes bibliográficas, geralmente bases de dados, para acesso de artigos clássicos e atuais, o que não exclui seleção de livros; leitura do material e apontamento de semelhanças entre as publicações; grifos em trechos importantes à luz da pergunta de pesquisa; fichamento com apontamentos pessoais; organização lógica e redação.

Como fonte de dados online elegeu-se a base *Science Direct* em linha temporal aberta, com buscas não sistemáticas “biosociology” AND “environment” e “health sociology” AND “environment”, culminando em 68 registros recuperados para a ferramenta *Rayyan*, destes apenas 10 artigos se revelaram pertinentes, na perspectiva da saúde. Os textos sobre Florence Nightingale foram escolhidos intencionalmente em periódicos de enfermagem e livros.

Destarte, o desenvolvimento do texto divide-se em dois eixos: o primeiro eixo informa do que se trata a proposta da biossociologia humana e humanística, resgatando em conjunto a teoria ambientalista da saúde a fim de conectar ambas com o adoecimento dos ecossistemas terrestres, por meio de uma ecologia complexa; no segundo eixo trataremos da aplicação destes referenciais complexos de forma intercomunicante em pesquisas.

O mérito da Teoria Ambientalista ante os efeitos mórbidos ecopopulacionais: uma contribuição à biossociologia

A biossociologia para Lacerda (2009) vai na contracorrente das explicações antibiológicas e não-biológicas, frequentemente assumidas por estudos sociológicos, ainda que considere os fenômenos da socialização. A literatura primatológica, etológica, dentre outras, oferecem pistas ou reavaliar conceitos sociológicos como risco – do qual trataremos no próximo eixo –, status, redes, anomia, saúde-doença-adoecimento-cuidado, no ramo da Sociologia da saúde. Infere-se ainda, que foram os biólogos os primeiros a desbravar a literatura sociológica, causando espanto nos sociólogos.

No apanhado teórico e vivencial de Neves (2012) em “Sociobiologia: Dos insetos sociais aos homens”, a biossociologia (também chamada de sociobiologia) é referida como o estudo do comportamento a partir de bases biológicas. Atos comportamentais não precisam ser complexos, o próprio altruísmo, é abordado como um exemplo dentro de uma cadeia de ecologia comportamental. O comportamento é estudado tanto pela genética, ou no segundo caso, mais pertinente a esta reflexão, como com valoração adaptativa das espécies no meio. Neste caso segundo nossa acepção, a biossociologia será necessária para explicar comportamentos adaptativos no Antropoceno, e além disto doenças ambientalmente determinadas e seus efeitos biopsicossociais.

Este aspecto lança tais trabalhos no ramo da sociologia evolutiva, explicando sobre: a influência das diversas formações socioculturais no condicionamento físico melhorado, fatores socioeconômicos dos comportamentos em saúde, conexões interdisciplinares/transdisciplinares com psicologia e biologia, análises comparativas usando correlatos biológicos, bases biológicas do comportamento social, apontar que as políticas trabalhistas governamentais melhoram ou pioram as práticas culturais de alimentação, aprimoramento bioético da pesquisa e a criação de novos campos científicos ou de debate (Superciências). Acresce-se a compreensão sociocultural para as intervenções aplicadas na Saúde Pública, teste de hipóteses sociais relacionadas à violência considerando a biologia e sociologia e o combate ao reducionismo (Ho, 2023; Lacerda, 2009; Remisiewicz, 2017a; Remisiewicz, 2017b; Hossne, 2013; Neves, 2012; Dixon; Banwell; Ulijaszek, 2013). Um ponto polêmico é o uso da teoria científica evolutiva para explicar as desigualdades sociais, algo combatido pela sociologia, mas ora sim ora não aceito pela biossociologia (Shkurko, 2019).

Neste meandro, há exemplos exitosos do uso da biossociologia na compreensão do tabagismo de adolescentes, integrando fatores de interação com pais, traços de personalidade e

níveis de testosterona, associados positivamente ao hábito de fumar no início da adolescência (Bauman; Foshee; Haley, 1992). Em seguimento, outros trabalhos teóricos abordam a biossociologia na perspectiva dos fenômenos sociais do “inconsciente coletivo”, mais especificamente da solidariedade social pautada nos neurônios-espelho e na plasticidade cerebral, fundamentando o comportamento e a organização social (Kalkhoff; Dippong; Gregory Jr, 2011).

Um evento climático com repercussões biossociológicas, trata-se do “calor que mata” (ondas de calor extremo), com efeitos sociais e biológicos nocivos. O aquecimento global aumenta o risco de doenças cardiovasculares e a potencialização das doenças cardiovasculares pré-existent, sobretudo, em mulheres, pessoas com mais de 75 anos e com comorbidades. As síndromes de hipoperfusão são, por exemplo, complicações a serem monitoradas.

Desta forma, pesquisas sobre intervenções comunitárias devem começar a apontar mitigações das complicações, causadas pelo calor, planejamento urbano, melhora da circulação de ar urbano nas casas e redução da concentração de poluentes em nível microclimático, ao menos. Estudo centrado na França destaca a implementação de um sistema de alerta de saúde térmica, aglutinando estratégias de Saúde Pública, que consideram a vulnerabilidade relacionada ao calor (Caldeira *et al.*, 2023; Alari; Letellier; Benmarhnia, 2023; Zou *et al.*, 2025).

Consequentemente, pautando-nos nos ODS para a solução de problemas, a publicação “Relatório Local Voluntário sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Estado do Pará” (Pará, 2024) traz metas e desafios importantes. Em breve retrospecto até 2030, o governo pretende reduzir a proporção de pessoas com hipossuficiência econômica e tornar centros urbanos em assentamentos inclusivos e sustentáveis, com melhores índices de qualidade do ar e de gestão de resíduos sólidos, sobretudo em cidades com mais de 500 mil habitantes (subobjetivos 1.2, 11.1 e 11.2). Neste bojo, chama a atenção o propósito de construir “cidades resilientes”, reconhecendo a urgência no combate às mudanças do clima. O subobjetivo 13.2 alude ao Decreto Nº 2.887, de 7 de fevereiro de 2023, pelo estado alarmante do desmatamento nos municípios de Altamira, Anapu, São Félix do Xingu, Pacajá, Novo Progresso, Itaituba, Portel, Senador José Porfírio, Novo Repartimento, Uruará, Rurópolis, Placas, Trairão, Jacareacanga e Medicilândia.

Até o final do século, a Amazônia estará mais quente 2°C a 6 °C, neste bioma que compreende cerca de 5,5 milhões de km², abrangendo nove países sul-americanos, sendo a maior parte de sua extensão localizada em território brasileiro, há substituição da floresta por

pastagem ou ocupação humana provocando redução da precipitação. Desde o estudo de Cohen *et al.* (2007), havia uma redução de 25% no período chuvoso e 15% no período menos chuvoso, no estado do Pará. O modelo econômico do bioma amazônico brasileiro foi concebido pós-64 pela ditadura militar, apoiado pelas oligarquias nacionais, desconsiderando biomas, as florestas de áreas inundáveis e de florestas de terra firme, tendo este ecossistema como um sistema natural único (Costa, 2001).

Para reduzir os efeitos mórbidos populacionais ambientais, verifica-se o esforço de Florence Nightingale em integrar as explicações biológicas matematicamente plausíveis, vigentes ao pano de fundo histórico, no qual consubstanciou seus cuidados. A Teoria dos miasmas vigente no século XIX, apontava que o ar poluído causava doenças (ao invés de água infectada), enquanto a Teoria dos germes reconhecia a existência de agentes minúsculos causadores de doenças. As infecções seriam contraídas, portanto, por meio da inalação de ar contaminado, enquanto a contaminação ocorria de pessoa para pessoa. Sabendo que a prevenção da infecção é mais vantajosa do que a remediação, ela propunha a lavagem das mãos, tratamento de chagas, quarentena, isolamento, construção de hospitais como pavilhões e enfermarias, que não deveriam comportar mais de 32 pacientes. Para a saúde ambiental, seus cinco conceitos são: água pura, ar puro, drenagem eficiente, limpeza e luz, sendo a Promoção da saúde um conceito transversal (Gilbert, 2020).

É necessário arejar, expor ao sol e limpar ambientes, em uma casa apenas uma janela não é o suficiente para arejar os quartos. Deste modo, fechar um quarto não é uma maneira de tê-lo limpo (Nightingale, 2010), realidade bem conhecida em comunidades, que convivem com a poluição do ar e que, certamente ao longo do tempo, causará adoecimento. A ventilação deve vir do ambiente externo segundo Nightingale (2010), com janelas abertas e portas fechadas, recomendação à primeira vista simplória, mas que, segundo a cosmologia de Florence, tem validade. A teórica em seu conceito de atmosfera doméstica, chega a dizer que o ar não deveria estar composto de: gás, tinta, ar sujo não renovado; cheio do que chama de eflúvios e miasmas.

No mundo, o panorama não é muito diferente do observado por Florence no nicho doméstico, pois o estado de nosso planeta se deteriora com diminuição de mananciais de água potável, zonas mortas crescendo em número e tamanho, nova extinção em massa em curso, desmatamento das regiões amazônicas na América Latina, Malásia e África Central. O conhecimento científico adverte os legisladores, que parecem não considerar que, a pandemia foi um resultado, inequívoco, de mudanças climáticas e deterioração do meio ambiente (Pena-Vega, 2021).

Considera-se que Florence, no campo da promoção da saúde, foi pioneira na integração do saber preventivo-cuidativo ao saber ecológico, seus constructos provenientes do esforço de Guerra britânico na Guerra da Criméia (de 1853 a 1856), veem o humano como parte da natureza e as práticas de preservação do conforto e do controle de correntes de ar e do saneamento no entorno das enfermarias já davam, pelo menos, indícios de sustentabilidade do cuidado (Moreschi *et al.*, 2011). A teoria enfatiza a importância de um ambiente saudável para cuidados de enfermagem eficazes e a recuperação do paciente, no que se chama de “saneamento hospitalar”, reduzindo na época da Guerra da Criméia, as taxas de mortalidade de 40% para 2% (Peres *et al.*, 2021).

A Guerra da Crimeia conforme McDonald (2020), foi um experimento controlado de cuidados sanitários. O governo britânico enviou comissões propositivas (ao contrário do governo francês que só enviou comissões de relatoria) para intervir alterando frentes sanitárias. Ainda, houve comissões de civis especialistas na: (1) Comissão Sanitária que limpou os hospitais, seus cemitérios adjacentes, o abastecimento de água, esgoto e drenos, e banheiros que não funcionavam pois doenças intestinais dizimavam os internados, e (2) na Comissão de Abastecimento que fez a limpeza de campos, ergueu cabanas arejadas para abrigo (em vez de tendas finas), ofertou roupas quentes e melhorou a nutrição, sabendo que o escorbuto e a hipotermia eram comuns, ademais os soldados chegavam aos hospitais de campanha com roupas sujas de sangue, que não eram trocadas, o que atraía microrganismos e vetores para os leitos. Tais comissões são consideradas aliadas de Nightingale na implementação de reformas pós-Crimeia e também inspirações para a redação de seu livro “Notas sobre a Enfermagem”, em 1859. A obra seminal de Snow foi escrita próximo a este período, em 1855, “Sobre o Modo de Comunicação da Cólera”, também argumentou contra a teoria dos miasmas e a favor de uma cadeia de transmissão baseada na água contaminada (Avdulla; Tachirai, 2024).

O editorial “Florence Nightingale – never more relevant than Today” do Journal of Advanced Nursing em 2013, alega elementos importantes da modificação do papel social da enfermagem pondo em foco a Saúde Planetária. Ao passo que a teoria focaliza o ar puro, sabemos que os países de baixa e média renda vêm se tornando mais industrializados e as taxas de doenças respiratórias tendem a aumentar; cólera, disenteria e febre tifoide foram observados pela teórica, e a obtenção de água potável segura é enfatizada pelos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável, contudo, a insegurança hídrica é um problema em países periféricos. O editorial advoga pela reemergência da teoria ambientalista, agora com responsabilidade socioambiental e na vigilância epidemiológica contra cepas resistentes de

muitas bactérias e fungos, e, com enxertia nossa, contra a destruição predatória do meio ambiente no que tange a fauna e flora, causando ressurgimento ou descoberta de doenças (Lee; Clark; Thompson, 2013).

Defende-se, portanto, a integração da perspectiva ambiental de Florence aos Determinantes Sociais em Saúde de forma sistêmica na biossociologia e não como causa-efeito (Buss; Pellegrini Filho, 2007). Um destes modelos é o de Dahlgren e Whitehead (1991), no qual os determinantes estão dispostos em camadas mais proximais e distais das pessoas e comunidades, o estilo de vida com maior riqueza ou mais pauperização influencia diretamente nos determinantes das camadas mais externas (Figura 1).

Figura 1 – Modelo de Dahlgren e Whitehead.

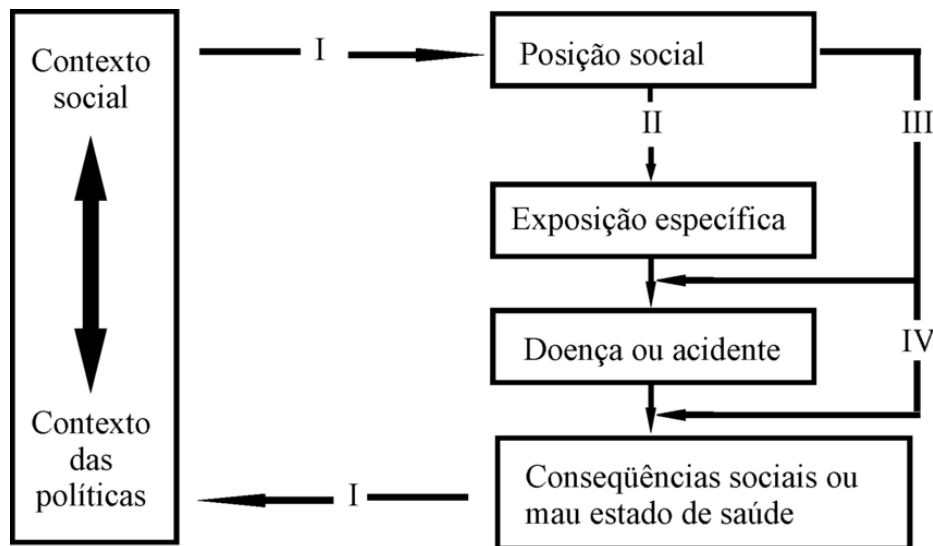


Fonte: adaptado de Buss e Pellegrini Filho (2007).

Por sua vez, o modelo de Diderichsen, Evans e Whitehead (2001) enfatiza a hierarquia social (Figura 2), após o adoecimento haverá consequências sociais na situação socioeconômica das pessoas e comunidades:

(I) representa o processo segundo o qual, cada indivíduo ocupa determinada posição social, como resultado de diversos mecanismos sociais como o sistema educacional e o mercado de trabalho. De acordo com a posição social ocupada pelos diferentes indivíduos, aparecem diferenciais como o de exposição a riscos que causam danos à saúde (II); o diferencial de vulnerabilidade à ocorrência de doença, uma vez exposto a estes riscos (III); e o diferencial de consequências sociais ou físicas, uma vez contraída a doença (IV) (Buss; Pellegrini Filho, 2007, p. 85).

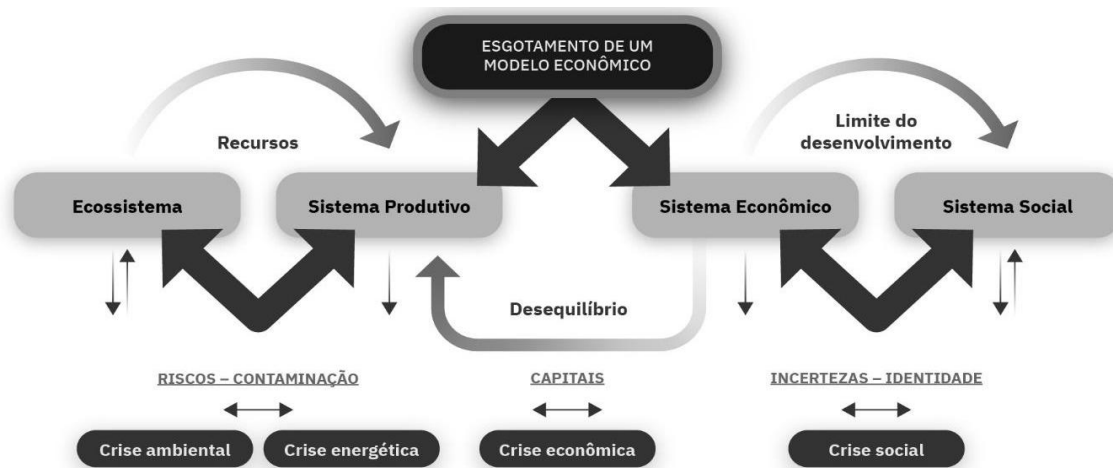
Figura 2 – Modelo de Diderichsen, Evans e Whitehead.



Fonte: Buss e Pellegrini Filho (2007).

Constata-se que nestes modelos clássicos, a eco-complexidade ainda não está plenamente visibilizada, muito menos o regime de crise no qual vivemos. Contudo, Pena-Vega (2003, p. 84) integra este pano de fundo ao contexto biossocial dos homens.

Figura 3 – Os ecossistemas complexos na relação homem/natureza/sociedade.



Fonte: Adaptado de Pena-Vega (2003, p. 84).

Na experiência de Neves (2012) com insetos sociais – *Odontomachus chelifer*, a biossociologia foi útil para elucidar comportamentos de auto-organização em sistemas complexos, mesmo que, obviamente, não cercados pelos regimes de crise mencionados acima. Sem embargo, tais modelos dos processos de adoecimento devem, atualmente, se valerem da

perspectiva eco-complexa e ecossocial, reconhecendo que a crise climática afetará todos os sistemas e cadeias humanas e comportamentos sociais, adaptativos de proteção/risco/nocivos. Em complemento, aludimos aos conceitos de Florence Nightingale como um “simples” retorno à preservação da dignidade, etodiversidade e direito à saúde das comunidades, vivendo neste campo de batalha climática.

No cenário de cuidados sustentáveis não apenas as evidências sobre melhores tratamentos, processos terapêuticos e formas de restabelecer a saúde, precisam ser considerados. Com os ODS reorientando a formação e modo de pensar de profissionais da saúde, uma corriqueira prescrição medicamentosa simboliza, tanto a via de cura para um paciente, quanto riscos ambientais, caso seja um medicamento usado por longos períodos. Urge, a otimização de recursos diagnósticos e de modelos de pensamento sistêmico (Steuernagel, 2024). Florence conseguiu de forma pioneira, integrar a visão sistêmica à sua teoria ao notar que os ares fétidos e abafados, produzidos a partir de secreções advindas de ferimentos nas enfermarias, eram danosos (Nightingale, 2010).

Na iniciativa ambientalista integra-se ao plano de cuidados da pessoa e da comunidade, o meio ambiente e à natureza, um esboço de uma futura Saúde Ambiental, já que preveem a integração do biofísico ao socioambiental (Frello; Carraro, 2013; Medeiros; Enders; Lira, 2015). Neste aspecto, estudo observacional em Belém, integrou uma visão macrobiossocial à aplicação de escala em áreas afetadas pela macrodrenagem do Tucunduba, aferindo indicadores de cidadania, cultura, infraestrutura, violência, educação, paisagem urbana, saúde e saneamento básico, em uma abordagem com moradores afetados. Este tipo de estudo integra a saúde à disposição de bens públicos de infraestrutura urbana, como água encanada, coleta de lixo ou acesso à educação. Verificou-se, inclusive, que as subáreas mais próximas às obras foram as menos influenciadas positivamente pelo projeto (Sá *et al.*, 2007).

Riegel *et al.* (2021) exploram os aspectos pedagógicos e a práxis formativa, assegurados pela teoria, quando abordam que atualmente é uma ciência do campo da saúde, que se preocupa com a instrução sanitária da população para o bem viver. O desenvolvimento do raciocínio clínico e crítico nesta teoria, formula o que os autores chamam de “ambientes de cura”, iniciativa historicamente pioneira neste tipo de conflito.

Florence introduziu as intervenções comportamentais em nichos de adoecimento, com estratégias simples, mas, pautadas em estatística, água limpa, frutas e ventilação para alterar os determinantes ambientais das enfermarias que recebiam soldados. Sua perspicácia não parou por aí, considera-se que ao educar outras *nurses* para replicar a monitoramento do ambiente,

seguindo as suas ferramentas de processo de enfermagem, recuperação de pessoas e grupos e de redução da mortalidade (Karimi; Alavi, 2015), alterou comportamentos sociais e culturais maléficos em relação à manutenção da saúde e à prevenção de doenças, ampliando e melhorando, portanto, o nicho e etodiversidade.

O conceito de etodiversidade na biossociologia explicará diversos tipos de comportamentos sociais, interespecíficos, intraespecíficos, etodiversidade relacionada ao comportamento, a etodiversidade de complexidade e etodiversidade social (Coca *et al.*, 2021), com as mudanças climáticas e contínua transformação do meio ambiente, mais pesquisas devem indicar como os nichos biológicos e nichos sociais serão afetados e quais respostas etodiversas serão engendradas.

Aplicação da biossociologia e Teoria Ambientalista: o conceito epidemiológico de risco e a integração dos saberes transdisciplinares na saúde

O(s) conceito(s) de risco podem ser empregados em estudos biossociológicos. Preliminarmente, nas Ciências da Natureza, o conceito de risco tem um lastro que perpassa pelos processos catastróficos como furacões, tsunamis, erupções vulcânicas e terremotos, condicionantes (vulnerabilidades) ambientais e pelos marcadores socioeconômicos de suscetibilidade, resistência (para resistir aos eventos) e resiliência (para se recuperar após os eventos) (Souza; Lourenço, 2015). Atualmente, a relação humano-natureza, entrecruza o conceito de risco em escala local e mesmo na global para perscrutar vulnerabilização de comunidades e de pessoas com condições específicas, sendo usado preventivamente por gestores públicos e, mesmo, no âmbito de defesa e proteção civil (Souza; Lourenço, 2015).

Nas Ciências da Saúde, o conceito de risco convoca os marcos epidemiológicos desde trabalhos de William Farr e John Snow sobre a cólera. Conforme Barata (2022), desdobra-se em risco – uma medida de probabilidade – e taxa. Sobre ambas:

A primeira, na qual o denominador são pessoas expostas ao risco (risco), e a segunda, na qual o denominador são unidades de pessoa-tempo, expostas ao risco (taxa). A incidência baseada em pessoas expostas ao risco é chamada de incidência cumulativa e se o tempo de exposição for igual para todos, ou seja, se o seguimento for completo, é expressa pelo número de eventos dividido pela população exposta (Barata, 2022, p. 04).

O risco é a chance de exposição a fatores e agentes etiológicos, demonstrando afetados ou infectados, em uma população. É um conceito de natureza social por determinar dinâmicas epidemiológicas e a sua conversão em “taxa”, compreende o número destes eventos em um

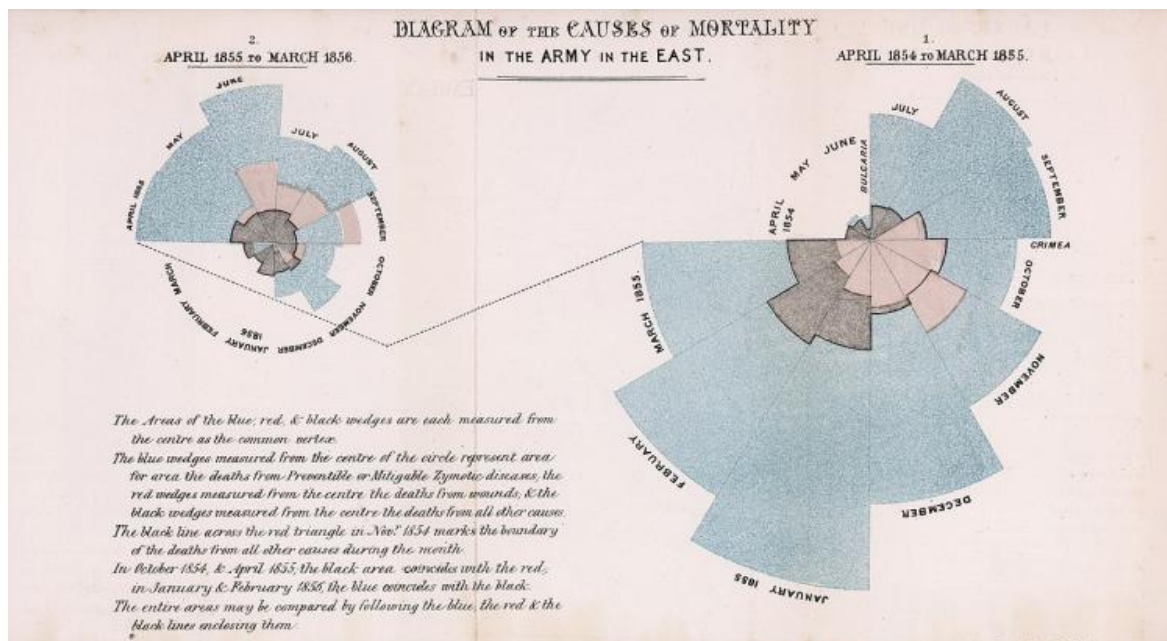
continuum de tempo, para uma dada população em estudo. Para pesquisadores, isso é importante, primeiramente devido a “identidade” estabelecida para que algum evento ocorra, em uma população, equacionando o provável e o possível, assim como os marcadores sociais para tal probabilidade de acometimento e o princípio de homogeneidade do grupo e da natureza do evento (Barata, 2022). A biossociologia entra na questão, a partir do advento das Sociedades de Risco e valorização da segurança, princípio da modernidade reflexiva e do governo das populações que regulam e avaliam riscos em setores governamentais específicos. O risco será uma medida de futuro, mais especificamente de controle do mesmo (Luiz; Cohn, 2006).

Neste sentido, outra criação da teórica – o Diagrama da Rosa – favorece tais compreensões para a epidemiologia moderna (Figura 4). Criado, no século XIX para dispor de dados de forma impactante, demonstrou por intermédio deste gráfico aos militares de alta patente que, os soldados, majoritariamente, não estavam morrendo em combate, mas sim de doenças infecciosas evitáveis e más condições sanitárias nas enfermarias. Ela organizou os óbitos por causa e por mês em setores coloridos.

Embora tais gráficos não expressassem diretamente o risco em uma dada porção de tempo, expressaram as frequências absolutas de mortes e de outros agravos, refletindo probabilidades relativas. Nas Ciências da Terra, estes gráficos são empregados para representar dados azimutais (Munro; Blenkinsop, 2012), e para contornar a dificuldade de incorporação de vários atributos em uma única tela, já existem diagramas da rosa multicomponentes, que comprimem várias medidas de um conjunto (Robson, 1994).

Experiências exitosas do campo ambiental utilizaram o diagrama da rosa para representar, visualmente, o desempenho da sustentabilidade em etapas, como na apresentação de um novo conjunto de indicadores de geotecnia ambiental (EGIs) para avaliar a sustentabilidade em projetos de construção (Jefferson *et al.*, 2007). Ainda, para apresentar os dados mineralógicos em um contexto espacial permitindo a observação da distribuição de poeira em diferentes direções, em um estudo desenvolvido em campo de carvão no Reino Unido, analisou-se a poeira atmosférica para indicar possíveis implicações com relação à legislação ambiental (Merefield *et al.*, 1995).

Figura 4 – Diagrama da Rosa: causas de mortalidade.



Fonte: Nightingale (1858).

Para miss Nightingale (2010) é um erro encarar doenças desrespeitosamente, encarando-as como entidades que coexistem conosco como pequenos animais, sugere que as encaremos como condições. Sua teoria lança compreensões, até então disruptivas: “não deveríamos encarar as doenças como reações benignas da natureza contra as condições em que nós mesmos nos colocamos?” (p. 46). Apesar de dar pistas sobre a saúde ampliada baseada no meio ambiente, obviamente, pela época, ainda não empregava marcadores de vulnerabilidade.

Recente pesquisa desenvolvida a partir da teoria, para conhecer as subnotificações de acidentes de trabalho rural por uso de agrotóxicos, traz contribuições para o paradigma biossocial de risco. A busca ativa de trabalhadores, informar a população leiga sobre os riscos sobre o uso e manuseio dos agrotóxicos, educação permanente e aprofundada para profissionais de saúde e notificar casos de acidentes (Brito *et al.*, 2024). Isso ressalta o papel interventivo e de educador ambiental adscrito a consecução da pesquisa.

Autores clássicos da epidemiologia reconhecem que o meio ambiente em desequilíbrio propicia doenças. As relativas aos dejetos segundo Campos (2000) variam quanto aos modos de transmissão, pelo contato da pele com as larvas de helmintos, presentes nas fezes dos acometidos por parasitoses. A seguir no Quadro 1, centralizam-se doenças que cabem a este debate e seus modos de transmissão, sendo adaptado de Campos (2000, p. 84).

Quadro 1 – Distribuição de doenças transmissíveis dependentes diretamente ou indiretamente de saneamento básico.

POR CONTATO (Direto, indireto ou gotículas)	POR VEÍCULO (Água, alimento, excreta)	POR VETORES (Mosquitos, moscas, piolhos, pulgas, ácaros, percevejos, carrapatos)	POR AEROSSÓIS (Gotículas ou poeira)
Carbúnculo *	Amebíase	Larva migrans	Carbúnculo *
Brucelose *	Ascariíase	Carbúnculo *	Tuberculose
Febre de arranhadura	Botulismo	Dengue	Histoplasmose
Bouba	Brucelose *	Disenteria bacilar	
Diarreia *	Difteria	Febre paratifoide *	
Hepatite infecciosa	Enterobiose *	Filariose	
Ancilostomíase	Fasciolopsíase	Leishmaniose	
Leptospirose *	Gastroenterite	Malária	
Febre paratifoide *	Disenteria	Febre por flebótomo	
Pediculose	Diarreia *	Peste bubônica	
Poliomielite *	Febre aftosa	Tracoma *	
Raiva	Giardíase	Tularemia *	
Febre por mordedura (estreptobacilose)	Esquistossomose	Tifo endêmico	
Escabiose	Teníase	Tifo epidêmico	
Febre tifóide *	Tricurose	Miíase	
Tularemia *	Tularemia *	Febre amarela	
Tracoma *	Febre tifóide *		
	Estrongiloidíase		
	Leptospirose *		
	Febre paratifoide *		

Nota explicativa: *a doença pode ter mais de uma via de transmissão, dependendo do ambiente e condições sanitárias.

Fonte: Campos (2000, p. 84).

É premente o foco preventivo com medidas de controle como lavar bem os alimentos com água potável, conscientizar a população sobre a poluição fecal perto de mananciais, lavar as mãos ao lidar com alimentos, ao sair do banheiro e ao lidar com crianças (Campos, 2000).

Visando erradicação e mitigação destas, coadunando novas perspectivas para a Saúde Ambiental, o Governo Brasileiro lançou o “Programa Nacional de Eliminação de Doenças Socialmente Determinadas” em 07 de fevereiro de 2024. Tais doenças estão ligadas à exposição ambiental, condições de higiene instáveis, falta de saneamento e água potável.

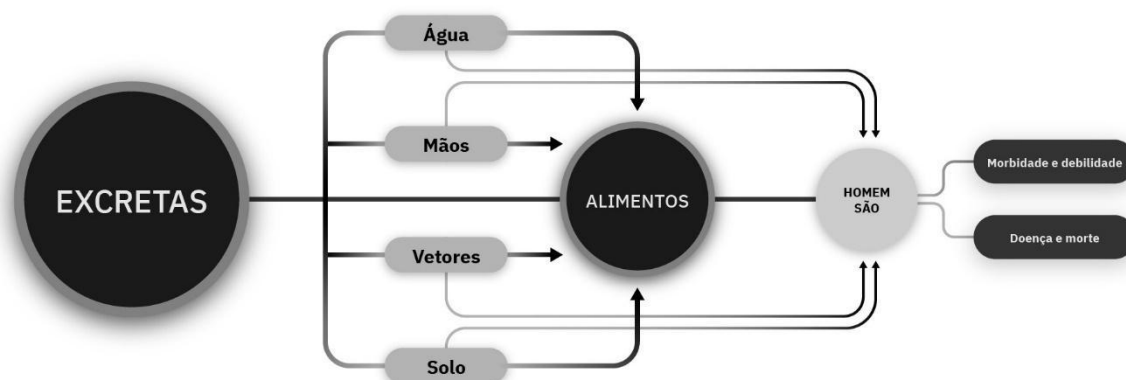
A política reconhece características determinadas socialmente para o adoecimento e, ainda, confere aos atingidos, os recortes sociais que impactam a progressão ou cura de doenças, a saber: sofrer racismo, discriminações, grau de escolaridade e vivenciar violência. Por conta disto, intervenções preconizadas pelas “Diretrizes Nacionais do Programa Brasil Saudável – Unir para Cuidar”, contam com a retaguarda do Ministério do Meio Ambiente e Mudança do Clima (Brasil, 2025).

Estas ações estão no bojo da promoção da saúde como lavagem das mãos, rosto e não compartilhamento de objetos de uso pessoal, transversalmente com a melhoria das condições de saneamento. Partindo do pressuposto de erradicação – erradicação não é o mesmo que diminuição – sete doenças e todas as transmissões verticais têm previsão de eliminação (por prevenção/tratamento/cura) no Brasil: Doença de Chagas, Esquistossomose, Filariose linfática, Geo-helmintíases, Malária, Oncocercose e Tracoma; as de transmissão vertical: Hepatite B, Doença de Chagas, Transmissão vertical do vírus da imunodeficiência humana (HIV), Vírus linfotrópico de células T humanas (HTLV) e Sífilis; e por fim, para desonerar a Saúde Pública, eliminar enquanto doenças altamente prevalentes: Tuberculose, Hepatites, Síndrome da Imunodeficiência Adquirida (Aids) e Hanseníase (Brasil, 2025).

Assim sendo, aquilo que Snow e Nightingale observaram com olhar preventivo, o paradigma eco-complexo biossociológico trata. Na acepção de Pena-Veja (2003), a visão que reduz todos os problemas da sociedade a problemas ecológicos, torna-se incapaz de intervir em outras nuances como as vulnerabilidades, economia e o momento social pelo qual as populações passam. Estamos integrados ao meio ambiente e aos seus agentes causadores de doenças, portanto, atravessados por riscos epidemiológicos de contaminação, conforme a Figura 5.

O pensamento complexo da biossociologia dá pistas que vão contra a racionalidade instrumental, reintegrando conhecimentos diante de tantos dilemas, portanto, uma contingência para o uso destes referenciais é a “competência antecipatória” definida como: “a habilidade de contemplar diferentes cenários futuros - possíveis, prováveis e desejáveis – e conceber visões prospectivas” (Steuernagel, 2024, p. 02).

Figura 5 – Meios de transmissão de doenças pelos dejetos.



Fonte: Adaptado de Campos (2000, p. 106).

A importância da biossociologia ante às mudanças do meio ambiente, subsiste em abrir uma janela epistemológica para que, sobretudo, conteúdos e achados de pesquisas de diversas áreas, dispersos e cercados pelos interesses de suas próprias disciplinas, sejam canalizados para indicadores, evidências e reflexões práticas. Estas últimas destinadas aos decisores políticos que vêm ignorando ou mesmo negando a ciência. A sociologia incutida na biossociologia, deve questionar os ditames estritamente econômicos sendo crítica (Pena-Vega, 2021). Como Pena-Vega coloca “transgredir os limites do conhecimento” (Pena-Vega, 2021, p. 6).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

As reflexões sobre os problemas contemporâneos, que implicam na vida humana, com as suas diferentes dimensões, requerem novas perspectivas ou reorientações, por meio da integração de teorias e práticas exitosas, que anteriormente, se mostraram à frente do seu tempo histórico. A biossociologia como campo multidisciplinar que considera para a análise sociológica, dados das ciências exatas e biologia, é um caminho para que as informações socioculturais e tais correlatos estejam devidamente conectados em estudos da Saúde Ambiental, com dados que complexifiquem e apontem soluções para um mundo que vivencia a degradação de ecossistemas, refugiados e vulnerabilizados em massa, desorganização de formas comunitárias de bem-viver e crescente alteração do clima.

A teoria ambientalista persevera por conta de sua práxis, com o foco em ar puro, água potável, limpeza, iluminação e prevenção. Oferece a esta, frágil modernidade, um modelo de

ação para cuidados em saúde sustentáveis contra os efeitos mórbidos ecopopulacionais, e um nicho reparador – tal qual a biossociologia apregoa e estuda – em forma de ambientes de cura.

Para a Saúde Planetária considerar os determinantes sociais (um da entrada do século e outro dos anos 90), certamente direcionou abordagens mais holísticas e consistentes com o contexto dos utentes. Todavia, a integração da ecologia crítica e complexa e principalmente dos regimes de crises que a civilização enfrenta são uma urgência. Pesquisas em Enfermagem e em outros campos da Saúde Coletiva devem contribuir com indicadores biopsicossociais, nesta primeira aproximação, correspondendo com entendimento sobre o conceito de risco, e ainda, aspectos da Teoria Ambientalista, para lidar com transformações do meio ambiente e estabelecimento de uma etodiversidade resistente e resiliente.

No campo das pesquisas em Saúde Ambiental o paradigma das Sociedades de Risco, tratado frequentemente sob o ponto de vista epidemiológico, concentra os desígnios da biossociologia evolutiva e comportamental (a se considerar a mudança dos nichos terrestres e a consequente vulnerabilização da população mais pauperizada), e assimila os propósitos da teoria ambientalista. Isto é dito, pois para mitigar as doenças socialmente determinadas, deve-se reconhecer que, frequentemente, são ambientalmente determinadas.

Esta reflexão, que não pretende esgotar os debates sobre estas potencialidades, reconhece que transgredir os limites das próprias ciências e concatenar abordagens complexas e distantes é a saída. Florence pode ter falado do ambiente “trivial” e domiciliar, contudo, sempre o conectou ao ambiente externo e as vulnerabilidades do nicho em que inseriu sua campanha de cuidados em saúde. Portanto, reintegrar, pela abordagem complexa e sistêmica, os conceitos da teoria ambientalista e sanitária da enfermeira e cientista Florence com a biossociologia, como um possível encaminhamento no campo de pesquisa, é polissêmico, e possui potencialidade considerando-se a coerência e a consonância com os ODS.

REFERÊNCIAS

- ALARI, A.; LETELLIER, N.; BENMARHIA, T. Effect of different heat wave timing on cardiovascular and respiratory mortality in France. **Science of The Total Environment**, v. 892, p. 164543, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.164543>
- AVDULLA, C. S.; TACHIRAI, N. J. Snow: The Pioneer of Modern Epidemiology and Anesthesia. **Cureus**, v. 16, n. 8, 2024. <https://doi.org/10.7759/cureus.67602>
- BANWELL, C.; ULJASZEK, S.; DIXON, J. (Ed.). **When culture impacts health: global lessons for effective health research**. Academic Press, 2013.

- BARATA, R. B. Sobre o conceito de risco em Epidemiologia. **Trabalho, educação e saúde**, v. 20, p. e00862198, 2022. <https://doi.org/10.1590/1981-7746-ojs862>
- BAUMAN, K. E.; FOSHEE, V. A.; HALEY, N. J. The interaction of sociological and biological factors in adolescent cigarette smoking. **Addictive behaviors**, v. 17, n. 5, p. 459-467, 1992. [https://doi.org/10.1016/0306-4603\(92\)90006-h](https://doi.org/10.1016/0306-4603(92)90006-h)
- BLAY, E. A.; PIQUEIRA, J. R. C. The Emergence of Edgar Morin's Complex Thinking. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 96, n. 4, p. e20231112, 2024. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202420231112>
- BRASIL. Comitê Interministerial para a Eliminação da Tuberculose e de Outras Doenças Determinadas Socialmente. **Diretrizes Nacionais do Programa Brasil Saudável: unir para cuidar**. Brasília: Ministério da Saúde, 2025. 72 p.
- BRITO, D. C. de *et al.* Estratégias utilizadas por enfermeiros sobre subnotificações de acidentes de trabalho rural por uso de agrotóxicos. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 77, p. e20230384, 2024. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2023-0384>
- BUSS, P. M.; FILHO PELLEGRINI, A. A saúde e seus determinantes sociais. **Physis: revista de saúde coletiva**, v. 17, p. 77-93, 2007. <https://doi.org/10.1590/S0103-73312007000100006>
- CALDEIRA, D. *et al.* Global warming and heat wave risks for cardiovascular diseases: A position paper from the Portuguese Society of Cardiology. **Revista Portuguesa de Cardiologia**, v. 42, n. 12, p. 1017-1024, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.repc.2023.02.002>
- CAMPOS, J. Q. *et al.* **Meio ambiente e epidemiologia**. São Paulo: Editora JOTACÊ, 2000.
- COCA, J. R. *et al.* Biosociological ethodiversity in the social system. **BioSystems**, v. 210, p. 104552, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biosystems.2021.104552>
- COHEN, J. C. P. *et al.* Influência do desmatamento sobre o ciclo hidrológico na Amazônia. **Ciência e Cultura**, v. 59, n. 3, p. 36-39, 2007.
- COSTA, M. J. J. **Sociologia na Amazônia: debates teóricos e experiência de pesquisa**. Belém: Universidade Federal do Pará, 2001.
- DAHLGREN, G.; WHITEHEAD, M. Policies and strategies to promote social equity in health. **Stockholm: Institute for future studies**, v. 27, n. 1, p. 4-41, 1991.
- DIDERICHSEN, F.; EVANS, T.; WHITEHEAD, M. The social basis of disparities in health. **Challenging inequities in health: From ethics to action**, v. 1, p. 12-23, 2001.
- DIXON, J.; BANWELL, C.; ULJASZEK, S. When culture impacts health. In: BANWELL, Cathy; ULJASZEK, Stanley; DIXON, Jane, editors. **When Culture Impacts Health, Global Lessons for Effective Health Research**. London: Academic Press, 2013. p. 1-11. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2010-0-68352-0>.
- FRELLO, A. T.; CARRARO, T. E. Contribuições de Florence Nightingale: uma revisão integrativa da literatura. **Escola Anna Nery**, v. 17, n. 3, p. 573-579, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1414-81452013000300024>
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 7 ed. São Paulo: Atlas, 2019.
- GILBERT, Hr A. Florence Nightingale's Environmental Theory and its influence on contemporary infection control. **Collegian**, v. 27, n. 6, p. 626-633, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.colegn.2020.09.006>

- HO, W. C. Returning Biology to Evolutionary Sociology: Reflections on the Conceptual Hiatuses of “New Evolutionary Sociology” as a Vantage Point. **Sociological Perspectives**, v. 66, n. 1, p. 123-144, 2023. <https://doi.org/10.1177/07311214221119256>
- HOSSNE, W. S. Bioética-sociobiologia: neologismos oportunos? Interface da tecnociência com as ciências humanas e sociais. **Interface-Comunicação, Saúde, Educação**, v. 17, p. 453-462, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1414-32832013000200017>
- JEFFERSON, I. *et al.* Sustainability indicators for environmental geotechnics. In: **Proc. of the Inst. of Civil Engineers-Engineering Sustainability**. Thomas Telford Ltd, 2007. p. 57-78.
- KALKHOFF, W.; DIPPONG, J.; GREGORY JR, S. W. The biosociology of solidarity. **Sociology compass**, v. 5, n. 10, p. 936-948, 2011. <https://doi.org/10.1111/j.1751-9020.2011.00412.x>
- LACERDA, A. L. R. Abordagens biossociais na sociologia: biossociologia ou sociologia evolucionista?. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, v. 24, p. 155-165, 2009. <https://doi.org/10.1590/S0102-69092009000200010>
- LEE, G.; CLARK, A. M.; THOMPSON, D. R. Florence Nightingale—never more relevant than today. **Journal of Advanced Nursing**, v. 69, n. 2, p. 245-246, 2013. <https://doi.org/10.1111/jan.12021>
- LUIZ, O. C.; COHN, A. Sociedade de risco e risco epidemiológico. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 22, n. 11, p. 2339-2348, 2006. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X2006001100008>
- MCDONALD, L. Florence Nightingale: The making of a hospital reformer. **HERD: Health Environments Research & Design Journal**, v. 13, n. 2, p. 25-31, 2020. <https://doi.org/10.1177/1937586720918239>
- MEDEIROS, A. B. A.; ENDERS, B. C.; LIRA, A. L. B. C. Teoria ambientalista de Florence Nightingale: uma análise crítica. **Escola anna nery**, v. 19, p. 518-524, 2015. <https://doi.org/10.5935/1414-8145.20150069>
- MEREFIELD, J. *et al.* Environmental dust analysis in opencast mining areas. **Geological Society, London, Special Publications**, v. 82, n. 1, p. 181-188, 1995. <https://doi.org/10.1144/GSL.SP.1995.082.01.11>
- MORESCHI, C. *et al.* Homenagem a Florence Nightingale e compromisso com a sustentabilidade ambiental. **Revista Baiana de Enfermagem**, v. 25, n. 2, 2011. <https://doi.org/10.18471/rbe.v25i2.5260>
- MUNRO, Mark A.; BLENKINSOP, Thomas G. MARD—A moving average rose diagram application for the geosciences. **Computers & Geosciences**, v. 49, p. 112-120, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.cageo.2012.07.012>
- NEVES, F. M. Sociobiologia: Dos insetos sociais aos homens. **Estudos de Biologia**, v. 34, n. 83, 2012. <https://doi.org/10.7213/estud.biol.7325>
- NIGHTINGALE, F. **Anotações de enfermagem**: o que é, e o que não é. 1 ed. São Paulo: Rideel, 2010.
- NIGHTINGALE, Florence. **Diagrama das causas da mortalidade no exército no Oriente**. 1858. Diagrama (mapa estatístico). Disponível em: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Nightingale-mortality.jpg>. Acesso em: 30 ago. 2025.

ONU Brasil. Nações Unidas Brasil. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 30 Ago. 2025.

PARÁ. **Relatório Local Voluntário sobre os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Estado do Pará: 2024**. Belém: Secretaria de Estado de Planejamento e Administração do Pará; Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Sustentabilidade do Pará, 2024. 222 p.

PENA-VEGA, A. A consciência da incerteza: os desafios de uma política de “Terra-Pátria”. **Eccos Revista Científica**, n. 57, 2021. <https://doi.org/10.5585/eccos.n57.20271>

PENA-VEGA, A. **O despertar ecológico: Edgar Morin e a ecologia complexa**. Rio de Janeiro: Garamond, 2003.

PERES, M. A. Almeida. *et al.* El modelo teórico enfermero de Florence Nightingale: una transmisión de conocimientos. **Revista Gaúcha de Enfermagem**, v. 42, p. e20200228, 2021. <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2021.20200228>

REMISIEWICZ, Ł. Biologia w socjologii—trzy sposoby wiązania. **Filozofia Nauki**, v. 25, n. 1 (97), p. 65-89, 2017b.

REMISIEWICZ, Ł. Zarzut redukcjonizmu w kontekście relacji biologia–socjologia. **Progress. Journal of young researchers**, n. 1, p. 37-49, 2017a.

RIEGEL, F. *et al.* A teoria de Florence Nightingale e suas contribuições para o pensamento crítico holístico na enfermagem. **Revista Brasileira de Enfermagem**, v. 74, p. e20200139, 2021. <https://doi.org/10.1590/0034-7167-2020-0139>

ROBSON, R. M. A multi-component rose diagram. **Journal of structural Geology**, v. 16, n. 7, p. 1039-1040, 1994. [https://doi.org/10.1016/0191-8141\(94\)90086-8](https://doi.org/10.1016/0191-8141(94)90086-8)

SÁ, S. M. A. e *et al.* Avaliação de indicadores de saúde ambiental em área urbana em uma situação de macrodrenagem, Belém-Pará. **Cad. Saúde Colet.**, v. 15, n. 4, p. 543-558, 2007.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**. 24 ed. rev. e atual. São Paulo: Cortez, 2016.

SHKURKO, Y. Biosociology. In: **Encyclopedia of Evolutionary Psychological Science**. Springer, Cham, 2019. p. 1-3. https://doi.org/10.1007/978-3-319-16999-6_2901-1

SOUZA, K. R. G.; LOURENÇO, L. A evolução do conceito de risco à luz das ciências naturais e sociais. **Territorium**, n. 22, p. 31-44, 2015. https://doi.org/10.14195/1647-7723_22_1

STEUERNAGEL, C. R. Sustentabilidade: um novo paradigma na educação de profissionais da saúde. **Cogitare Enfermagem**, v. 29, p. e94452, 2024. <https://doi.org/10.1590/ce.v29i0.94452>

ZOU, Z. *et al.* Heat wave, fine particulate matter, and cardiovascular disease mortality: A time-stratified case-crossover study in Shenzhen, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**, v. 292, p. 117944, 2025. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2025.117944>

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CASOS DE LEPTOSPIROSE EM ÁREAS DE RISCO NO MUNICÍPIO DE BELÉM, PARÁ: APLICAÇÕES DA GEOTECNOLOGIA NA ANÁLISE DA SAÚDE AMBIENTAL E EPIDEMIOLÓGICA

SPATIAL DISTRIBUTION OF LEPTOSPIROSIS CASES IN RISK AREAS IN THE MUNICIPALITY OF BELÉM, PARÁ: APPLICATIONS OF GEOTECHNOLOGY IN THE ANALYSIS OF ENVIRONMENTAL AND EPIDEMIOLOGICAL HEALTH

*Alcione Ferreira Pinheiro¹
Walquíria Cristina Silva Viana²
Angelo Bruno Batalha Silva³
Lucas Silva Rocha⁴
Alessandra Rodrigues Gomes⁵
Luís Waldyr Rodrigues Sadeck⁶
Edna Aoba Ishikawa⁷*

Resumo:

Objetivo: Analisar a distribuição espacial dos casos confirmados de Leptospirose e identificar áreas de risco, no município de Belém, no período de 2021 a 2024. **Método:** Foram utilizados dados epidemiológicos de leptospirose disponibilizados pelo Sistema de Informação de Agravos de Notificação (SINAN), imagem de satélite, variáveis de caracterização ambiental e risco geológico disponibilizadas pelo CPRM e bases cartográficas do IBGE. Integrados em ambiente de geoprocessamento para a elaboração de mapas temáticos e identificação de padrões de distribuição espacial. **Resultados:** A incidência da doença apresentou distribuição heterogênea abrangendo todo o território municipal, com maior concentração dos casos nos bairros do Distrito de Icoaraci, Guamá, Terra Firme, Tapanã, Cabanagem e Telégrafo. Observou-se predominância de casos no sexo masculino (75,55 %) e taxa de letalidade de 22,22%. A aplicação da estimativa de densidade Kernel mostrou-se eficiente para identificar áreas críticas, destacando-se Guamá, Terra Firme e Distrito de Icoaraci como zonas de maior risco. Ademais, verificou-se que esses bairros coincidem com áreas classificadas na escala de risco geológico como muito alto risco para inundações e alagamentos reforçando a relação ambiental e epidemiológica. **Conclusão:** A integração de dados epidemiológicos, ambientais e cartográficos, aliada ao uso de geotecnologias, evidenciou padrões de dependência espacial na ocorrência da doença. Os resultados demonstram que a doença está associada a fatores socioambientais específicos, reforçando a necessidade de ações intersetoriais voltadas a vigilância em saúde. Destaca-se o potencial das geotecnologias como ferramentas estratégicas para subsidiar políticas públicas de prevenção e controle da leptospirose em áreas urbanas de risco.

Palavras-chave: Leptospira; Análise Geográfica; Saúde Pública; Geoprocessamento; Epidemiologia.

¹Doutoranda em Doenças Tropicais pela UFPA.

² Mestranda em Neurociências e Biologia Celular pela UFPA.

³ Mestre em Gestão de Risco e Desastres Naturais na Amazônia pela UFPA.

⁴ Graduado em Geografia pela UFPA.

⁵ Doutora em Geociências pela UNESP.

⁶ Doutorando em Ciências Ambientais pela UFPA.

⁷ Doutora em Ciências Biológicas pela UFPA.

Abstract:

Objective: To analyze the spatial distribution of confirmed cases of leptospirosis and identify risk areas in the municipality of Belém, from 2021 to 2024. **Method:** Epidemiological data on leptospirosis provided by the Notifiable Diseases Information System (SINAN), satellite images, environmental characterization and geological risk variables provided by CPRM, and IBGE cartographic databases were used. These data were integrated into a geoprocessing environment to create thematic maps and identify spatial distribution patterns. **Results:** The incidence of the disease was heterogeneous throughout the municipal territory, with a higher concentration of cases in the neighborhoods of the District of Icoaraci, Guamá, Terra Firme, Tapanã, Cabanagem, and Telégrafo. There was a predominance of cases in males (75.55%) and a fatality rate of 22.22%. Kernel density estimation proved effective in identifying critical areas, with Guamá, Terra Firme, and the Icoaraci District standing out as the highest-risk areas. Furthermore, these neighborhoods coincided with areas classified on the geological risk scale as very high risk for flooding, reinforcing the environmental and epidemiological link. **Conclusion:** The integration of epidemiological, environmental, and cartographic data, combined with the use of geotechnologies, revealed patterns of spatial dependence in the occurrence of the disease. The results demonstrate that the disease is associated with specific socio-environmental factors, reinforcing the need for intersectoral actions focused on health surveillance. The potential of geotechnologies as strategic tools to support public policies for the prevention and control of leptospirosis in high-risk urban areas is highlighted.

Keywords: Leptospira; Geographic Analysis; Public health; Geoprocessing; Epidemiology.

INTRODUÇÃO

A leptospirose é uma zoonose de caráter endêmica e de grande relevância para a saúde pública, configurando-se como um agravo frequente em áreas urbanas marcadas por vulnerabilidade socioambiental. A doença é transmitida pelo contato direto ou indireto com a urina de animais hospedeiros da bactéria *Leptospira*, especialmente os roedores, que desempenham papel central na manutenção do ciclo epidemiológico (Merck, 2024). A infecção ocorre pela pele com lesões ou por mucosas, quando imersas por longos períodos em água contaminada e caracteriza-se com a presença de quadro clínico febril agudo potencialmente grave, podendo evoluir para formas severas, com complicações hepáticas, renais e pulmonares, representando, assim, um importante desafio para a vigilância epidemiológica e para os serviços de saúde pública (Rocha; Santos, 2022).

No Brasil, os surtos de leptospirose estão fortemente associados a enchentes, inundações e alagamentos, que ampliam a exposição da população e favorecem a disseminação do patógeno, tornando-se epidêmicos nos períodos chuvosos, especialmente nas capitais e áreas metropolitanas. Essas condições são agravadas pela urbanização acelerada, pela ocupação irregular de áreas suscetíveis, pelas deficiências nos sistemas de saneamento e pela elevada infestação de roedores infectados, fatores que contribuem para a persistência da doença em centros urbanos (Brasil, 2024). Tais características configuram cenários altamente favoráveis à

ocorrência da leptospirose. De acordo com o Serviço Geológico do Brasil – CPRM (2022), o país apresenta 5.179 áreas de risco para inundação ou demais eventos extremos associados às chuvas intensas.

Conforme os dados do Departamento de Informática do Sistema Único de Saúde (DATASUS) existem notificações de casos de leptospirose em todas as unidades da federação, sendo registrado no ano de 2024 um total de 3.792 casos confirmados da doença, apresentando uma ocorrência de 346 óbitos com uma letalidade de 9,12%. A Região Norte obteve a confirmação de 315 casos do agravo, correspondendo a um percentual de 37,14% desses registros somente no Estado do Pará (SINAN, 2018).

O Serviço Geológico do Brasil (CPRM) realizou, em 2021, o mapeamento das áreas de risco geológico no município de Belém, abrangendo distritos e ilhas. O levantamento identificou 32 áreas classificadas como de risco alto e 93 como risco muito alto, totalizando 125 áreas suscetíveis a processo de inundação, erosão e alagamento. Essas áreas apresentam forte correlação com a ocupação desordenada, o aterramento das planícies de inundação de rios e igarapés, bem como com a canalização inadequada dos cursos d'água que atravessam a malha urbana. Esse cenário evidencia um quadro crítico de vulnerabilidade socioambiental, no qual áreas de risco geológico tornam-se, também áreas de risco epidemiológico, favorecendo a disseminação de doenças como a leptospirose (Prefeitura Municipal de Belém, 2021).

A aplicação de geotecnologias e técnicas de Sensoriamento Remoto constitui uma ferramenta estratégica para a integração e análise de dados ambientais, epidemiológicos e socioeconômicos, permitindo a identificação de grupos populacionais expostos a áreas de riscos. Nesse contexto, a utilização de métodos de análise espacial viabiliza o estudo de agravos em saúde e sua relação com variáveis determinantes do ciclo epidemiológico, contribuindo não apenas para o avanço das investigações acadêmicas, mas também para subsidiar a atuação dos serviços de vigilância em saúde especialmente para os profissionais que atuam na prevenção de doenças de relevância para a saúde pública, como a leptospirose (Sobral; Santos, 2022).

Desta forma, o objetivo do trabalho foi analisar a distribuição espacial e as áreas de risco com ocorrência de casos confirmados de Leptospirose, no município de Belém-PA, no período de 2021 a 2024, contribuindo para as tomadas de decisões realizadas pela vigilância epidemiológica.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa trata-se de um estudo ecológico, descritivo, retrospectivo e transversal e tem como universo da pesquisa os dados epidemiológicos da Leptospirose referente à área de estudo. Para realização da pesquisa, foram incluídos os casos dos agravos confirmados laboratorialmente de indivíduos no município de Belém-PA, nos anos de 2021 a 2024.

Área de Estudo

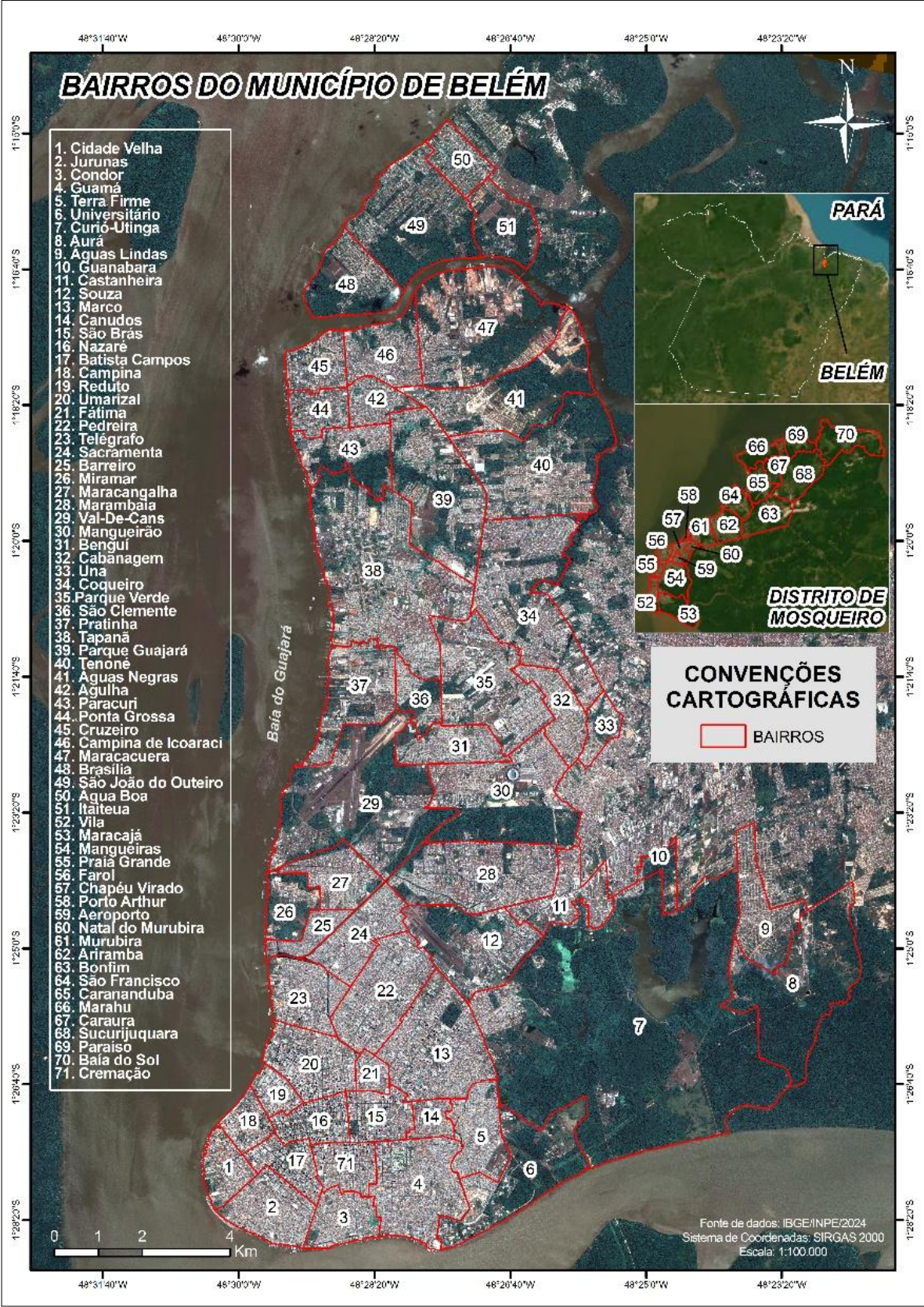
O município de Belém pertence ao estado do Pará, situado na Região Norte do país (Figura 1). Trata-se da capital estadual, onde se localiza a sede do governo paraense. Possui saída para o Oceano Atlântico por meio da Baía do Guajará a oeste, banhada pelo Rio Guamá ao sul, estando localizada a 1° 27' 18" de latitude sul e 48° 30' 9" de longitude oeste.

A população de Belém é atualmente de 1.303.403 habitantes, segundo o censo 2022, realizado pelo instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sendo assim, o município concentra o maior contingente populacional do estado do Pará, representando aproximadamente 32% da população estadual, segundo estimativas populacionais de 2024, apresentando uma densidade demográfica de 1.230,25 habitantes por km². A vegetação do município é característica do bioma amazônico, e o clima é predominantemente tropical úmido com elevadas temperaturas durante todo o ano. As médias variam entre 26 °C e 28 °C com máximas que podem atingir até 38 °C e mínimas em torno de 20 °C. As chuvas concentram-se principalmente entre janeiro e março (IDESP, 2024).

Aquisição dos dados

Para a integração das informações temáticas, foram utilizados dados epidemiológicos secundários contidos nas bases de dados epidemiológicos do Sistema de Informações de Agravos de Notificação (SINAN), um Sistema de informação em Saúde (SIS) do Ministério da Saúde (MS). Os dados referentes aos casos de Leptospirose foram exportados para o período de 2021 a 2024 e, utilizando o Software Excel 2010, foram tabulados e geradas tabelas no formato (xlsx).

Figura 1 – Carta-Imagem do município de Belém-PA.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Os campos com identificação dos pacientes foram geocodificados para garantir a privacidade dos indivíduos. Nesta etapa, realizou-se a depuração dos dados obtidos, a fim de filtrar o conjunto de variáveis a serem utilizadas para a execução das análises, eliminando potenciais fatores causadores de vieses. Este processo possibilitou a implementação e o desenvolvimento do Banco de Dados Geográfico (BDGEO) dos casos confirmados na área e período de estudo.

O BDGEO foi produzido a partir do agrupamento das informações dos casos confirmados em relação ao seu local de infecção para que se pudesse considerar os bairros como unidade espacial de análise, com as coordenadas obtidas em trabalho de campo com o uso do dispositivo receptor do Sistema de Posicionamento Global (GPS) do fabricante Garmin modelo Montana 650, juntamente com a observação e registro da caracterização socioambiental simplificada dos bairros visitados e suas proximidades.

Para subsidiar a geração dos mapas temáticos capazes de expressar visualmente as informações espaço-temporais relacionadas aos casos de Leptospirose investigados, foram utilizadas bases cartográficas de limites municipais, sede, limite dos bairros, hidrografia e estradas do município, na escala de 1:100.000, disponibilizadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

Também foram utilizadas imagens de satélite CBERS 04A da Câmera Multiespectral e Pancromática de Ampla Varredura (WPM) fornecidas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). O pré-processamento das imagens foi realizado no software TerraAmazon 4.6.1. e o inter-relacionamento foi realizado com o auxílio do software QGIS 3.26.2.

Análise espacial e perfil epidemiológico

Para avaliar o padrão de distribuição espacial da transmissão da leptospirose e sua incidência ao longo do período estudado, foram utilizadas técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto. Os casos foram espacializados conforme a localização geográfica das ocorrências, obtidas em trabalho de campo. Em seguida, realizou-se a análise espacial de padrões pontuais, gerando-se mapas temáticos dos casos confirmados de Leptospirose.

Para a análise do perfil epidemiológico utilizou-se os dados disponibilizado pelo SINAN, considerando os casos confirmados e notificados, além das variáveis como hospitalização, contato com água ou lama, interação com roedores, presença de sinais de roedores nos locais e a classificação da zona urbana.

Para analisar a densidade pontual dos casos, aplicou-se o estimador de densidade Kernel (EDK) que, por meio de uma função bidimensional sobre os eventos considerados, constrói uma superfície cujo valor é proporcional à intensidade de amostras por unidade de área. A função realiza a contagem de todos os pontos em uma região de influência, ponderando-os pela distância de cada ponto à localização de interesse. O EDK é particularmente útil em situações de sobreposição de eventos, como múltiplos casos de Leptospirose na mesma posição geográfica. Esta análise espacial fornece uma visão geral da distribuição e da concentração dos eventos para realizar análise de pontos de calor ou cluster. Foram utilizados raio de busca de 200 km para a interpolação, a resolução espacial foi padronizada com 2 mil células para o valor das linhas e as colunas ajustadas automaticamente pelo software (Robert, 2012).

Para a geração dos mapas integrando a distribuição dos casos de Leptospirose e as áreas de ricos geológico, os shapes de inundação, alagamento e erosão foram adquiridas no site do CPRM (Magalhães *et al.*, 2021). Posteriormente, foram utilizadas imagens do satélite CBERS 04A sensor WPM, que contém ao todo 5 bandas espectrais, sendo as bandas variando do visível ao Infravermelho próximo com resolução multiespectral de 8m e 01 Pancromática (P) com resolução panorâmica de 2m apresentando uma faixa de comprimento de onda ampla que abrange as cores visíveis do espectro. Para aumentar o detalhamento dos mapas gerados, foi realizado o procedimento de fusão pelo método Pansharpening, que posteriormente foi inter-relacionado com os dados epidemiológicos georreferenciados para uma melhor visualização.

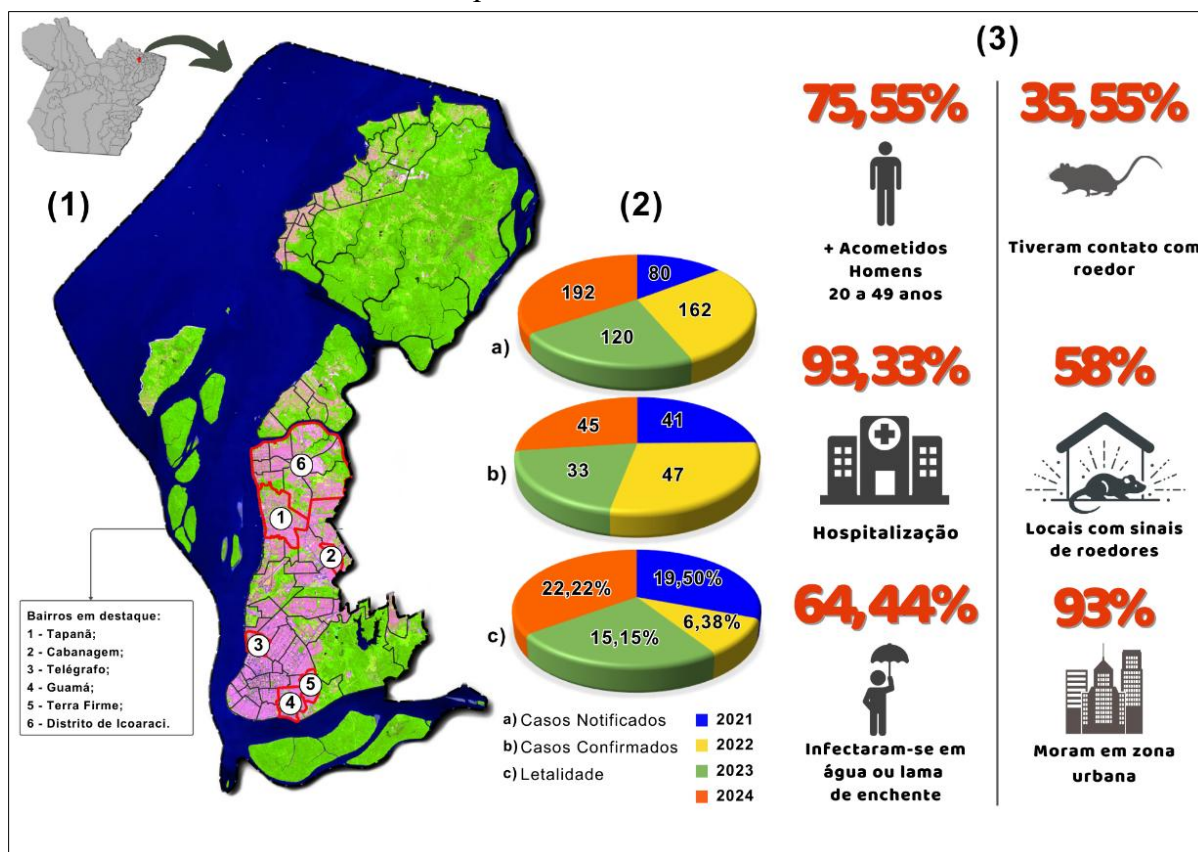
RESULTADOS

Conforme os registros do SINAN, considerando o local de infecção, foram notificados 554 casos de Leptospirose no município de Belém-PA, entre 2021 e 2024, distribuídos da seguinte forma (Figura 2): 80 casos (22,09%) em 2021, 162 casos (45,02%) em 2022, 120 casos (33,15%) em 2023 e 192 (34,65%) casos em 2024. Os casos laboratorialmente confirmados apresentaram 41 registros em 2021, 47 em 2022, 33 em 2023 e 45 em 2024 (Figura 2.(2)).

Entre os casos confirmados, a análise epidemiológica evidenciou predominância no sexo masculino, representando 75,55% dos indivíduos infectados, com maior ocorrência na faixa etária entre 20 e 49 anos, embora não exista uma predisposição absoluta de gênero ou de idade para a infecção. A taxa de hospitalização entre os casos confirmados foi de 93,33%. Quanto aos fatores de exposição, 64,44% dos pacientes infectados relatam contato direto com água ou lama de enchentes, 35,55% contato com roedores hospedeiro da bactéria leptospira e

58% tiveram contato com locais com roedor. Observou-se ainda que 93% dos pacientes residem em áreas urbana do município, evidenciando a associação com a vulnerabilidade socioambiental (Figura 2 (3)).

Figura 2 – Situação epidemiológica dos casos de Leptospirose no município de Belém-PA, no período de 2021 a 2024.

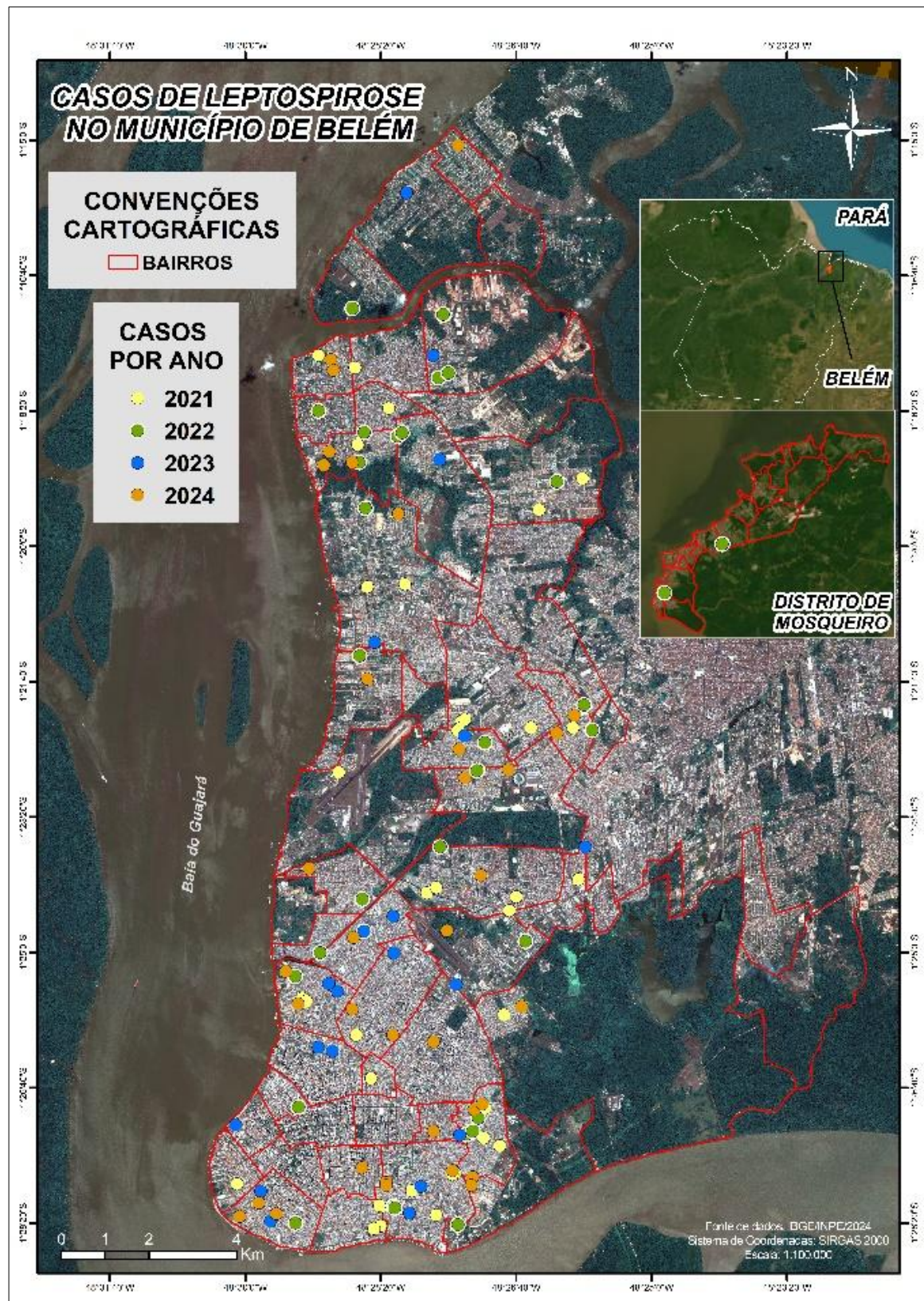


Fonte: Elaboração Própria (2025).

Segundo a análise da distribuição espacial dos casos de leptospirose, no período estudado (Figura 3), verificou-se que quase todos os bairros de Belém apresentaram registro da doença. Entre os mais expressivos destacaram-se o Distrito de Icoaraci com 17 casos; Guamá com 13 casos; Terra Firme registrando 13 casos; Tapanã com 07 casos; Cabanagem com 07 casos e Telégrafo com 07 pacientes infectados. Observou-se ainda que esses bairros mantiveram registros em todos os anos da série temporal analisada.

O Distrito de Icoaraci apresentou maior relevância epidemiológica, evidenciando crescimento significativo no número de casos. Enquanto em 2023 foi registrado apenas um caso confirmado, em 2024 o número aumentou para cinco, incluindo a ocorrência de óbito.

Figura 3 – Distribuição espacial dos casos de Leptospirose no município de Belém-PA, no período de 2021 a 2024.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

O trabalho de campo, associado a caracterização socioeconômica e ambiental, revelou fatores determinantes que contribuem para a manutenção e disseminação da doença. Entre eles destaca-se a ausência de saneamento básico, ocupação desordenada de área de risco, além da alta infestação de roedores. Essas condições favorecem um cenário propício para a proliferação da leptospirose.

Em relação à análise espaço-temporal da distribuição de casos de leptospirose em Belém, entre 2021 e 2024, foi possível identificar os principais *hotspots* da doença. As superfícies geradas apresentaram variações entre alta e baixa densidade, sendo que, nas faixas mais escuras, observou-se maior concentração da taxa de prevalência de leptospirose na região de estudo. A aplicação do estimador de densidade Kernel (EDK) permitiu evidenciar padrões epidemiológicos relevantes, com a formação de superfícies contínuas de risco e a visualização das regiões expostas a diferente grau de risco de acordo com a intensidade de ocorrência da Leptospirose, revelando áreas de elevada concentração de casos no município. A análise destacou a formação de áreas quentes (clusters) distribuída na extensão territorial da área de estudo (Figura 4).

No ano 2021, identificou-se maior densidade nas áreas centrais e periféricas da cidade, especialmente nos bairros do Guamá, Terra Firme, Tapanã, Distrito de Icoaraci e Cabanagem (Figura 4 – A).

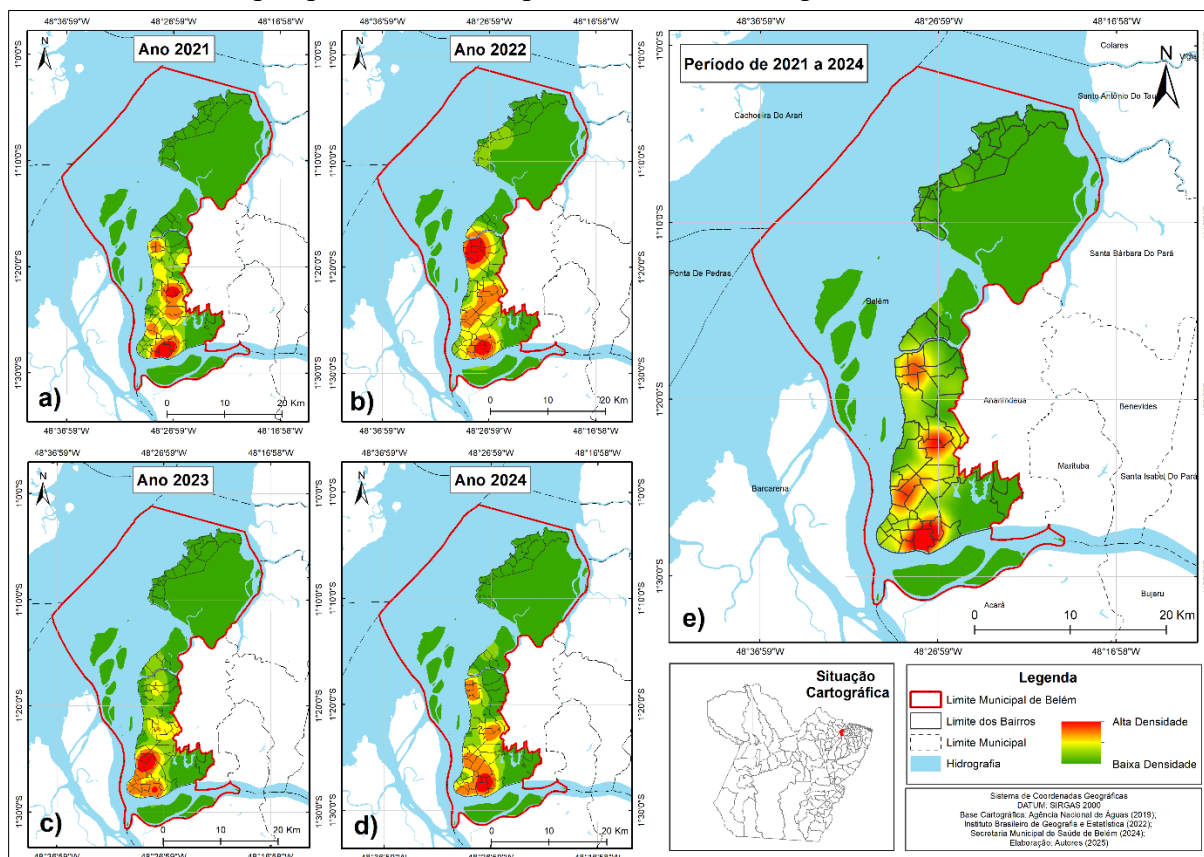
No ano de 2022 verificou-se um deslocamento de alta densidade para a parte norte de Belém, com destaque com maior densidade de casos o Distrito de Icoaraci. Ainda na dinâmica epidemiológica na análise de áreas de risco, identifica-se na porção central do município a cor representativa para a densidade média de ocorrência de casos, neste mesmo ano o bairro do Guamá e Terra Firme aparece novamente em destaque com densidade de casos (Figura 4 -B).

Observa-se que no ano de 2023 (Figura 4 – C), as áreas de clusters foram concentradas principalmente na parte sul de Belém, abrangendo os bairros do Guamá, Telégrafo e Umarizal. Já em 2024 (Figura 4-D), persistiu o registro de áreas com alta e baixa densidade de casos. Tendo o bairro do Guamá permanecendo em destaque pela elevada concentração de casos confirmados de leptospirose. Considerando o período total da análise (2021-2024) (Figura 4-E), os bairros mais expressivos e com maior densidade de casos foram os bairros do Distrito de Icoaraci, Guamá e Telégrafo e Terra Firme, apresentando registro de casos consecutivos, reforçando sua condição como área endêmica de risco.

A caracterização ambiental *in loco* demonstrou que aproximadamente a 200 metros em torno dos locais prováveis de infecção, observam-se condições precárias de moradia, falta de

recolhimento de lixo, ausência de estrutura de esgoto, canais a céu aberto, áreas suscetíveis a alagamento, a enchentes e presença de roedores.

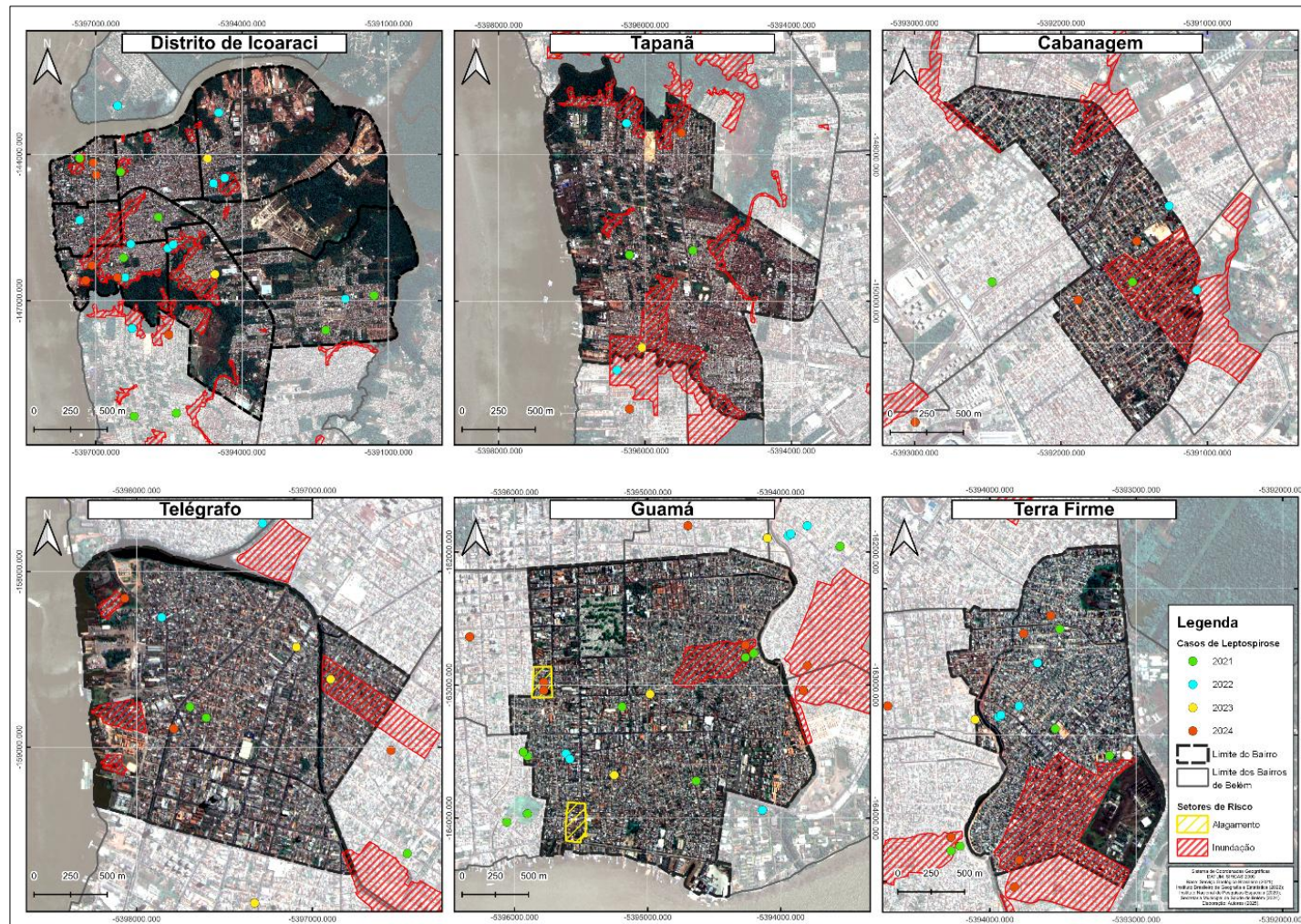
Figura 4 – Mapa da aplicação do Estimador de densidade de Kernel (EDK) dos bairros com casos de Leptospirose no município de Belém-PA, no período de 2021 a 2024.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

A análise espacial dos bairros mais expressivos em número de casos confirmados de Leptospirose, no período de 2021 a 2024, mostra a sobreposição com áreas classificadas como de risco de inundações e enchente (Figura 5). Foram identificadas zonas vulneráveis à ocorrência de alagamentos, o que reforça a estreita relação entre os fatores ambientais e a dinâmica de transmissão da doença. De acordo com o mapeamento realizado pelo Serviço Geológico do Brasil - CPRM, essas áreas encontram-se classificadas nas categorias de alto e muito alto risco geológico, sendo ligada diretamente à vulnerabilidade socioambiental.

Figura 5 – Carta-Imagem de Risco de inundação, enchente e os bairros mais expressivos com casos de Leptospirose no município de Belém-PA, no período de 2021 a 2024.



Fonte: Elaboração Própria (2025).

Das 125 áreas de risco identificadas no município, observar-se a presença de diversos pontos críticos em bairros considerados endêmicos para a Leptospirose como o Distrito de Icoaraci, Tapanã, Cabanagem, Telégrafo e Terra Firme. Essas áreas são frequentemente atingidas durante o período chuvoso, quando as vias de acessos e residências ficam, submersas, intensificando a exposição da população a água contaminada. Além disso, o sistema de drenagem pluvial é insuficiente, sendo agravado pelo período chuvoso.

No bairro do Guamá, considerado o mais crítico, observa-se áreas suscetíveis a inundações e enchentes associadas a casos confirmados da doença. Em locais sem sistema de drenagem, água fica acumulada permanentemente em baixo das casas, sendo essas habitações precárias construídas em palafitas, o que pode causar sérios problemas à saúde pública, como a disseminação da Leptospirose.

DISCUSSÃO

A consolidação espacial dos casos de Leptospirose no município de Belém, no período de 2021 a 2024, confirma que os maiores núcleos de incidência de casos de Leptospirose coincidem com áreas de maior vulnerabilidade socioambiental. As condições precárias de infraestrutura sanitária, a presença de aglomerados urbanos, baixos níveis de escolaridade, ocupação profissional insalubre, infestação por roedores e acúmulo de lixo contribuindo para o surgimento de surtos do agravo (Schneider, 2015).

Neste estudo, observou-se que o sexo masculino representou 75,55% dos casos confirmados, fato que pode estar associado ao maior grau de exposição desse grupo a fatores de risco, considerando que os homens assumem, em grande parte, o papel de provedor da renda familiar, frequentemente exercendo atividades ocupacionais insalubres em trabalhos informais, nas ruas ou feiras livres.

A análise dos dados evidenciou a formação de *hotspots* epidemiológicos distribuídos em diferentes bairros, com destaque para Guamá, Terra Firme, Cabanagem, Telegrafo, Tapanã e, sobretudo o Distrito de Icoaraci que inclui os bairros: Águas Negras, Agulha, Campina de Icoaraci, Cruzeiro, Maracacuera, Parque Guajará, Paracuri, Ponta Grossa e Tenoné. Esse padrão sugere que a distribuição espacial da doença não é homogênea e apresenta caráter endêmico em Belém, sendo fortemente influenciada por fatores estruturais urbanos, onde a ocupação de palafitas e de baixadas evidencia a vulnerabilidade habitacional. Tal resultado corrobora com estudos que relacionam desordem socioambiental e maior risco epidemiológico

em áreas urbanas da Amazônia, nas quais a desorganização do espaço físico favorece a proliferação da doença (Chaiblich *et al.*, 2017).

De acordo, com Pereira e Machado (2014), a proximidade com áreas que apresentam tais características contribui para afirmar que a elevada presença de roedores tem relação direta e proporcional com condições sanitárias precárias, favorecendo um ambiente propício para a ocorrência da Leptospirose.

A distribuição espacial observada neste trabalho converge com estudos epidemiológicos anteriores, os quais destacam a associação entre os casos de Leptospirose em Belém e condições ambientais e sociais adversas, com maior incidência em bairros situados em menores cotas altimétricas e próximos a corpos hídricos urbanos (Lima *et al.*, 2012; Gonçalves *et al.*, 2016; Catete *et al.*, 2017).

A sobreposição espacial dos casos com áreas classificadas pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM) como de alto risco para alagamentos, inundações e processo erosivos, demonstra a forte correlação entre a ocorrência da Leptospirose e a vulnerabilidade geológica e ambiental. Essa associação é reforçada pelo padrão sazonal da doença em Belém, influenciado em grande parte, pelo regime de chuvas. Os meses com maior ocorrência de casos coincidem com a estação chuvosa, quando o aumento da pluviosidade aliado à ineficiência dos sistemas de drenagem, provoca alagamentos urbanos e intensifica o contato da população com águas contaminadas por urina de roedores (Baia *et al.*, 2023; Figueiredo *et al.*, 2025).

Os bairros identificados como mais críticos apresentam características socioambientais comuns: ausência ou precariedade de saneamento básico, ocupação desordenada, presença de lixo acumulado, áreas alagadiças, locais propícios a proliferação de roedores e deficiências na organização do espaço urbano (Pereira; Machado, 2014). Esses fatores configuram um ambiente de risco persistente e limitam a efetividade das ações de vigilância em saúde.

Contribuição das geotecnologias teve papel importantíssimo. O uso do estimador de densidade Kernel, associado a dados cartográficos, imagens de satélite e os shapes de risco do CPRM, demonstrou o potencial dessas ferramentas para a análise de determinantes espaciais da saúde. Essa abordagem possibilitou não apenas identificar áreas prioritárias para intervenção, mas também compreender a interação entre fatores epidemiológicos, sociais e ambientais. Assim, a integração entre dados epidemiológicos e geotecnologia fornece subsídios essenciais para a gestão territorial e em saúde pública.

Os resultados reforçam a necessidade de ações interdisciplinares voltadas à mitigação da Leptospirose em Belém. Estratégias de intervenção devem priorizar os bairros com maior

densidade de casos, integrando medidas estruturais, ambientais e sociais. A análise evidencia que a Leptospirose em Belém transcende o âmbito clínico-epidemiológico, consolidando-se como um problema de saúde coletiva diretamente relacionada à desigualdade socioambiental e a gestão territorial.

CONCLUSÃO

Neste trabalho, foi observado que a ocorrência dos casos de leptospirose está associada principalmente à falta de saneamento básico e alagamentos na capital, tais condições são favoráveis para a bactéria se disseminar. Outro ponto relevante foi referente aos casos diagnosticados por evolução da doença, onde observou-se que a taxa de letalidade no ano de 2024 foi de 22,22%, considerada alta. No município de Belém a Leptospirose é uma doença que afeta grande parte da população que vive na zona urbana.

O estudo possibilitou com a geração dos mapas epidemiológicos verificar as áreas de riscos e os bairros com incidências de casos em todos os anos e obter informações importantes do cenário epidemiológico da Leptospirose na área de estudo, além disso, com a utilização do estimador de densidade Kernel, as áreas de risco com alta densidade foram identificadas, além das áreas de risco de inundações e enchentes, fortalecendo a relação das variáveis ambientais e epidemiológicas. Tais informações são importantes para apoiar às tomadas de decisões por parte da vigilância epidemiológica no combate ao agravo.

AGRADECIMENTOS

Agradecimento ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico – CNPq processo 314763/2025-2 (Monitoramento e avisos de Mudança de Cobertura da Terra nos Biomas Brasileiros – Capacitação e Semiautomatização do Programa Bioma BR), sediado e executado pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Processos de bolsa 314763/2025-2. E ao Programa de Pós Graduação em Doenças Tropicais, sediado e executado na Universidade Federal do Pará.

REFERÊNCIAS

- BAIA, B. R. *et al.* Possível correlação entre Leptospirose e a Pluviosidade no município de Belém-Pará entre os anos de 2010-2020. **Revista Eletrônica Acervo Científico**, v. 45, p. e13737-e13737, 2023. <https://doi.org/10.25248/reac.e13737.2023>.
- BRASIL, Ministério da Saúde. Departamento de Doenças Transmissíveis (DEDT) Secretaria de Vigilância em Saúde e Ambiente - Ministério da Saúde (SVSA/MS). 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br/centrais-de-conteudo/apresentacoes/2024/situacao-epidemiologica-dos-casos-de-leptospirose-no-brasil-2010-a-2024/view>. Acesso em: 04 mar. 2024.
- CATETE, C. P. *et al.* **VII-010 – análise espacial da leptospirose no bairro do Guamá, Belém (PA), no período de 2007 a 2013**. ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental AESABESP - Associação dos Engenheiros da Sabesp. 2017. Disponível em: https://abes-dn.org.br/analseletronicos/36_Download/TrabalhosCompletoPDF/VII-010.pdf.
- CHAIBLICH, J. V. *et al.* Estudo espacial de riscos à leptospirose no município do Rio de Janeiro (RJ). **Saúde em debate**, v. 41, p. 225-240, 2017. <https://doi.org/10.1590/0103-11042017S219>.
- FIGUEIREDO, M. E. R. *et al.* Notificação de casos de Leptospirose e os meses de chuva em Belém-PA, entre os anos de 2018 e 2022. **Revista Cereus**, v. 17, n. 2, p. 89-100, 2025.
- GONÇALVES, N. V. *et al.* Distribuição espaço-temporal da leptospirose e fatores de risco em Belém, Pará, Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 21, p. 3947-3955, 2016. <https://doi.org/10.1590/1413-812320152112.07022016>.
- MELO JÚNIOR, H. **Risco Geológico**: Belém possui 125 áreas de risco geológico alto ou muito alto, alerta Serviço Geológico do Brasil. CPRM. 2021. Belém, estado do Pará. Disponível em: <https://defesacivil.belem.pa.gov.br/riscos-geologicos/#conteudo>. Acesso em 10 setembro de 2025.
- INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ – IDESP. **Estatística Municipal, Belém, 2024**. Disponível em: <http://www.fapespa2.pa.gov.br/pdf/estatisticaMunicipal1/pdf/Belem.pdf>. Acesso em junho 2024.
- LIMA, R. J. S *et al.* Análise da distribuição espaço-temporal da leptospirose humana em Belém, Estado do Pará, Brasil. **Revista Pan-Amazônica de Saúde**, v. 3, n. 2, p. 8, 2012. <https://doi.org/10.5123/S2176-62232012000200005>.
- MAGALHÃES, F. A. da C.; MENDES, R. de M.; MELO, A. L. T. Análise descritiva de casos confirmados de leptospirose em humanos no Brasil de 2010-2019. **Journal Health NPEPS**, v. 6, n. 1, 2021.
- MANUAL MERCK – Manual Veterinário. **Leptospirose em animais**: Visão Geral. São Paulo. 17ª edição. Edição Centenária. Editora Roco. 2024. Disponível em: https://www.merckvetmanual.com/infectious-diseases/leptospirosis/leptospirosis-in-animals-overview#Host-Susceptibility,-Epidemiology,-and-Transmission_v3273468. Acesso em setembro 2025.
- PEREIRA, C. C. A.; MACHADO, C. J. P. S. Vigilância em Saúde Ambiental-Uma Nova Área da Ecologia. revista e ampliada. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 19, p. 4279-4280, 2014. <https://doi.org/10.1590/1413-812320141910.00332014>.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BELÉM. Prefeitura Municipal de Belém e Defesa Civil, Risco Geológico. Belém-Pará. 2021. Disponível em: <https://defesacivil.belem.pa.gov.br/riscos-geologicos/#conteudo>. Acesso em 04 janeiro de 2025.

ROBERTO, C. P. Inferência em larga escala: métodos bayesianos empíricos para estimativa, teste e previsão. **Chance**, v. 25, n. 3, p. 59-61, 2012. <https://doi.org/10.1080/09332480.2012.726568>.

ROCHA, J. V.; SANTOS, E. A. Leptospirose: epidemiologia e tratamento: Leptospirosis: epidemiology and treatment. **Brazilian Journal of Development**, v. 8, n. 12, p. 78113-78121, 2022. <https://doi.org/10.34117/bjdv8n12-089>.

SCHNEIDER, M. C. *et al.* Leptospirosis in Rio Grande do Sul, Brazil: an ecosystem approach in the animal-human interface. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 9, n. 11, p. e0004095, 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0004095>.

SERVIÇO GEOLÓGICO DO BRASIL. Programa de Gestão de Riscos e de Desastres. **Levantamentos, Estudos, Previsão e Alerta de Eventos Hidrológicos Críticos**. ISBN 978-65-5664-317-5. 2022. – CPRM. Disponível em: https://rigeo.cprm.gov.br/jspui/bitstream/doc/23220/3/AP-ferreira%20gomes_relatorio_IDF_2022.pdf. Acesso em 29 abril de 2024.

SINAN - Sistema de Informação de Agravos de notificação. “**Dados Epidemiológicos – Leptospirose**”. Brasília: Ministério da Saúde, 2023. Disponível em: <https://portalsinan.saude.gov.br/leptospirose>. Acesso em 24 jul. de 2025.

SOBRAL, A.; SANTOS, R. S. Núcleo de Estudos Hidrogeológicos e do Meio Ambiente. Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia Instituto de Geociências – UFBA. **Importância do Geoprocessamento na Saúde**. 2022. Disponível em: <https://nehma.ufba.br/noticias/importancia-do-geoprocessamento-nas-analises-em-saude>. Acesso em 29 de abr. de 2024.

INSEGURANÇA HÍDRICA E INTERFACES COM O ADOECIMENTO DE COMUNIDADES RURAIS-TRADICIONAIS: REVISÃO DE ESCOPO

WATER INSECURITY AND INTERFACES WITH ILLNESS IN RURAL-TRADITIONAL COMMUNITIES: A SCOPING REVIEW

Adriana de Sá Pinheiro dos Santos¹

Antonio Jorge Silva Correa Júnior²

Pedro Emílio Gomes Prates³

Patrícia de Cássia Ruela Palmiéri⁴

Rubenilson Caldas Valois⁵

Resumo

Objetivo: Mapear evidências científicas sobre a Insegurança Hídrica relativa à água potável com foco em populações residentes em comunidades rurais-tradicionais em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. **Método:** Revisão de escopo nas fontes: PubMed, SciVerse Scopus, PROQUEST, WOS e SCIELO. **Resultados:** Após a triagem permaneceram aderentes aos propósitos 151 estudos. Os desdobramentos do conceito foram: (1) Fatores que predispõem à Insegurança Hídrica e panorama sobre as doenças, saneamento e estrutura para armazenar a água; (2) Falta de acesso a fontes de água potável e adoecimento e mortalidade infantil; (3) Contaminação química; (4) Contaminação biológica; (5) Gênero feminino e insegurança hídrica; (6) Aspectos políticos da insegurança hídrica; e por fim (7) Proposições para mitigar a insegurança hídrica. **Conclusão:** Há urgência em formulação de sistemas de monitoramento, resistência e resiliência ante a insegurança hídrica, métodos de filtragem e captação alternativos para abastecimento contemplando ainda a educação ambiental.

Palavras-chave: Abastecimento de água; Água potável; Conservação dos Recursos Hídricos; Educação em Saúde ambiental; Monitoramento da água; Saúde ambiental.

Abstract

Objective: To map scientific evidence on water insecurity related to drinking water, focusing on populations living in rural-traditional communities in developing or underdeveloped countries. **Method:** Scoping review of the sources: PubMed, SciVerse Scopus, PROQUEST, WOS, and SCIELO. **Results:** After screening, 151 studies remained adherent to the purposes. The developments of the concept were: (1) Factors that predispose to water insecurity and an overview of diseases, sanitation, and water storage structures; (2) Lack of access to drinking water sources and infant illness and mortality; (3) Chemical contamination; (4) Biological contamination; (5) Female gender and water insecurity; (6) Political aspects of water insecurity; and finally (7) Proposals to mitigate water insecurity. **Conclusion:** There is an urgent need to formulate monitoring systems, resistance and resilience to water

¹Mestra em Enfermagem pelo do Programa de Pós-graduação em Enfermagem do Instituto de Ciências da UFPA. Doutoranda em Enfermagem pelo Programa de Pós-Graduação em Enfermagem da Universidade do Estado do Pará (UEPA).

²Mestre em Enfermagem pela UFPA. Doutorando em ciências pelo Programa de Pós-Graduação em Enfermagem Fundamental da Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto (EERP-USP).

³Especialista em Gestão da Saúde. Doutorando em Ciências pelo Programa de Pós-graduação em Enfermagem Fundamental da EERP-USP.

⁴Mestre em Enfermagem pelo Programa de Pós-graduação em Enfermagem da Universidade Federal de Alfenas (UNIFAL). Doutoranda em ciências pelo Programa Enfermagem Fundamental da EERP-USP.

⁵Doutor em Doenças Tropicais pelo Núcleo de Medicina Tropical pela UFPA. Mestre em Biologia de Agentes Infecciosos e Parasitários pela UFPA.

insecurity, alternative filtration and capture methods for supply, while also considering environmental education.

Keywords: Water supply; Drinking water; Water resource conservation; Environmental health education; Water monitoring; Environmental health.

INTRODUÇÃO

O objetivo 6 da Agenda 30 é “Assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e o saneamento para todos” (ONU Brasil, 2025). Partindo disto, assegurar compromissos hídricos para a população focalizam, via de regra, alguns preceitos: 1) paradigma do consumo pautado na economia disponível, monitorando que recursos não se esgotem e ainda garantindo que o ecossistema se recupere; 2) considerar a dimensão econômica, não priorizando tanto os chamados recursos primitivos ou derivados destes, visando o uso da ciência para ampliação dos mesmos (ecoefficiência); 3) considerar a dimensão social, para que as desigualdades não impactem no acesso aos recursos naturais (Jesus; Margraf; Razaboni Júnior, 2018).

Sabe-se que o uso da água é vital encontrando-se no cotidiano de 7 bilhões de pessoas, em alimentos, fábricas e nos seres vivos, a escassez não se refere somente a sua falta como também a poluição de recursos hídricos, baixa qualidade e disponibilidade, outro aspecto destacável é o aquecimento global que provoca variabilidade no nível das águas, com intensas secas e inundações devastadoras (Jesus; Margraf; Razaboni Júnior, 2018).

Conflitos que envolvem recursos naturais, dentre os quais estão os hídricos, são deflagrados por grupos políticos que nem sempre expressam seus interesses, mas têm poder de obstar decisões que impactam quanto à segurança hídrica. O debate ambiental vem priorizando tal temática, ademais o controle social para a economia deste recurso vem contando com o uso de smartphones e aplicativos para verificação do nível de reservatórios de água potável – geralmente os que abastecem os grandes centros urbanos (Quintslr, 2018).

Em continuidade, a “Crise hídrica” é a terminologia empregada para denotar a crescente escassez de água potável, sendo considerada um desafio a ser enfrentado no século XXI, o Paradigma da oferta apregoa globalmente que os estoques de água doce no mundo diminuem, pelo consumo predatório crescente e soluções que não resolvem o impasse e sim a mercantilizam relegando o papel social da água para o segundo plano. No caso brasileiro, em comunidades rurais do semiárido brasileiro sobrelevasse o Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido: um Milhão de Cisternas Rurais

(P1MC) de 2000 e o Programa Água Doce em 2004 são marcos no debate sobre a “democratização do acesso à água” no Brasil (Cunha, 2020).

A visão de mundo associada a autonomia, independência e liberdade devem ser consideradas quando se intenta garantir direitos no tocante ao referencial da “cidadania hídrica”. Por conta da escassez social da água, urge que o Estado possibilite a verdadeira cidadania hídrica das populações, seja construindo alternativas como as conhecidas cisternas ou sistemas de dessalinização como, no caso que nos interessa dirimindo conflitos distributivos da água potável. A solidariedade civil, instrumentalizada, pode usar como recursos a denúncia acerca da desigualdade do acesso à água e sua politização no que diz respeito a forma e para quem a mesma será distribuída (Cunha, 2020).

Partindo para o presente recorte, Pechula *et al.* (2018) em revisão sistemática no âmbito brasileiro considera a inexistência de legislação que considere o direito ao acesso a água potável para populações tradicionais. Assevera-se que estas podem estar sendo severamente impactadas por práticas predatórias de grandes grupos, resvalando em insegurança hídrica e suscitando que a literatura a este respeito seja visitada e mapeada. Neste âmbito, objetiva-se mapear evidências científicas sobre a Insegurança Hídrica relativa à água potável com foco em populações residentes em comunidades rurais-tradicionais em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos.

MATERIAIS E MÉTODOS

Tipo de pesquisa

Trata-se de uma revisão de escopo pautada nas recomendações do *Joanna Briggs Institute*, que estabelece nove etapas: 1) identificação da questão de pesquisa; 2) identificação dos estudos; 3) seleção; 4) busca de evidências; 5) coleta, resumo e relato dos resultados; 6) extração das evidências; 7) análise das evidências; 8) apresentação dos resultados; e 9) resumos das sínteses de evidências. Haverá uma busca sistematizada para identificação de principais conceitos, teorias, fontes e lacunas de conhecimento acerca da temática em estudo; e identificar lacunas do conhecimento por meio da viabilidade, significância e caracterização da prática dos cuidados de saúde (Peters *et al.*, 2020).

Pergunta de revisão

Emprega-se a estratégia participantes, conceito e contexto (PCC) (Peters *et al.*, 2020), onde P (participantes): populações residentes em comunidades rurais-tradicionais; C (conceito): Insegurança Hídrica relativa a água potável; e C (contexto): países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos. Assim, a questão de pesquisa traçada foi “*Quais as evidências acerca da Insegurança Hídrica relativa à água potável com foco nas populações residentes em comunidades rurais-tradicionais em países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos?*”. O protocolo de busca se encontra registrado no Figshare (Sá Pinheiro; Correa Júnior; Couto, 2023).

CrITÉRIOS de inclusão e exclusão e definição de estratégias de busca

Foi calibrada preliminarmente uma busca preliminar de forma eletrônica na base de dados *National Library of Medicine and National Institutes of Health* (PubMed). Objetivou-se a busca por revisões de escopo semelhantes, as quais não foram encontradas. Serão usados descritores controlados *Medical Subject Headings* (MeSH Terms) e não controlados quando necessário (palavras-chaves) utilizados nos que abordassem a temática de interesse, os quais foram cruzados em conjunto para a elaboração da estratégia de busca, visando uma abrangência maior de estudos (Quadro 1). Para o cruzamento entre os descritores e as palavras-chave utilizou-se os operadores booleanos AND e OR.

Quadro 1 - Descritores controlados e não controlados.

Descritores em Ciências da Saúde
População: População Rural; Quilombolas; Saúde da População Rural; Saúde de Populações Indígenas; Povos Indígenas.
Conceito: Insegurança Hídrica; Água Potável; Distribuição da Água; Padrão de Potabilidade da Água; Cobertura do Serviço de Água; Segurança Hídrica; Privação de Água; Abastecimento Rural de Água; Equidade no Acesso à Água.
Contexto: Países em desenvolvimento; Países subdesenvolvidos, Países de baixa renda.
Medical Subject Headings e Keywords
Population: Rural Population [Mesh]; Rural Populations; Rural Communities; Rural Community; Indigenous Peoples [Mesh]; Indigenous People; First Nation Peoples; First Nation People; Native Peoples; Native People; Natives; Native-Born; Native Born; Indigenous Population; Indigenous Populations; Tribes; Quilombolas.
Concept: Water Insecurity [Mesh]; Water Insecurities; Water Scarcity; Water Scarcities; Drinking Water [Mesh]; Bottled Water; Potable Water; Water Deprivation [Mesh]; Water Deprivations.

Descritores em Ciências da Saúde

Context: Developing Countries [Mesh]; Developing Country; Developing Nations; Developing Nation; Least Developed Countries; Least Developed Country; Less-Developed Countries; Less Developed Countries; Less-Developed Country; Third-World Countries; Third World Countries; Third-World Country; Third-World Nations; Third World Nations; Third-World Nation; Under-Developed Countries; Under Developed Countries; Under-Developed Country; Under-Developed Nations; Under Developed Nations; Low and Middle Income Countries; Less-Developed Nations; Less Developed Nations; Less-Developed Nation; Low Income Countries; Low Income Country; Middle Income Countries; Middle Income Country; Lower-Middle-Income Country; Lower Middle Income Country; Lower-Middle-Income Countries.

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Destarte, serão bases consultadas na revisão: PubMed, SciVerse Scopus, Web of Science (WOS), Scientific Electronic Library Online (SCIELO); conforme o Quadro 2.

Quadro 2 - Estratégia de busca.

Base de dados	Estratégia de busca
PubMed	((("Rural Population"[Mesh] OR "Rural Populations" OR "Rural Communities" OR "Rural Community" OR "Indigenous Peoples"[Mesh] OR "Indigenous People" OR "First Nation Peoples" OR "First Nation People" OR "Native Peoples" OR "Native People" OR "Natives" OR "Native-Born" OR "Native Born" OR "Indigenous Population" OR "Indigenous Populations" OR "Tribes" OR "Quilombolas") AND ("Water Insecurity"[Mesh] OR "Water Insecurities" OR "Water Scarcity" OR "Water Scarcities" OR "Drinking Water"[Mesh] OR "Bottled Water" OR "Potable Water" OR "Water Deprivation"[Mesh] OR "Water Deprivations") AND ("Developing Countries"[Mesh] OR "Developing Country" OR "Developing Nations" OR "Developing Nation" OR "Least Developed Countries" OR "Least Developed Country" OR "Less-Developed Countries" OR "Less Developed Countries" OR "Less-Developed Country" OR "Third-World Countries" OR "Third World Countries" OR "Third-World Country" OR "Third-World Nations" OR "Third World Nations" OR "Third-World Nation" OR "Under-Developed Countries" OR "Under Developed Countries" OR "Under-Developed Country" OR "Under-Developed Nations" OR "Under Developed Nations" OR "Under-Developed Nation" OR "Low and Middle Income Countries" OR "Less-Developed Nations" OR "Less Developed Nations" OR "Less-Developed Nation" OR "Low Income Countries" OR "Low Income Country" OR "Middle Income Countries" OR "Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Country" OR "Lower Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Countries"))
SciVerse Scopus	((("Rural Population" OR "Rural Populations" OR "Rural Communities" OR "Rural Community" OR "Indigenous Peoples" OR "Indigenous People" OR "First Nation Peoples" OR "First Nation People" OR "Native Peoples" OR "Native People" OR "Natives" OR "Native-Born" OR "Native Born" OR "Indigenous Population" OR "Indigenous Populations" OR "Tribes" OR "Quilombolas") AND ("Water Insecurity" OR "Water Insecurities" OR "Water Scarcity" OR "Water Scarcities" OR "Drinking Water" OR "Bottled Water" OR "Potable Water" OR "Water Deprivation" OR "Water Deprivations") AND ("Developing Countries" OR "Developing Country" OR "Developing Nations" OR "Developing Nation" OR "Least Developed Countries" OR "Least Developed Country" OR "Less-Developed Countries" OR "Less Developed Countries" OR "Less-Developed Country" OR "Third-World Countries" OR "Third World Countries" OR "Third-World Country" OR "Third-World Nations" OR "Third World Nations" OR "Third-World Nation" OR "Under-Developed Countries" OR "Under Developed Countries" OR "Under-Developed Country" OR "Under-Developed Nations" OR "Under Developed Nations" OR "Under-Developed Nation" OR "Low and Middle Income Countries" OR "Less-Developed Nations" OR "Less Developed Nations" OR "Less-Developed Nation" OR "Low Income Countries" OR "Low Income Country" OR "Middle Income Countries" OR "Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Country" OR "Lower Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Countries"))

Base de dados	Estratégia de busca
	World Nations" OR "Third-World Nation" OR "Low and Middle Income Countries" OR "Less-Developed Nations" OR "Less Developed Nations" OR "Less-Developed Nation" OR "Low Income Countries" OR "Low Income Country" OR "Middle Income Countries" OR "Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Country" OR "Lower Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Countries"))
WOS/EMBASE	((("Rural Population" OR "Rural Populations" OR "Rural Communities" OR "Rural Community" OR "Indigenous People" OR "First Nation Peoples" OR "First Nation People" OR "Native Peoples" OR "Native People" OR "Natives" OR "Native-Born" OR "Native Born" OR "Indigenous Population" OR "Indigenous Populations" OR "Tribes" OR "quilombola") AND ("Water Insecurity" OR "Water Insecurities" OR "Water Scarcity" OR "Water Scarcities" OR "Drinking Water" OR "Bottled Water" OR "Potable Water" OR "Water Deprivation" OR "Water Deprivations") AND ("Developing Countries" OR "Developing Country" OR "Least Developed Country" OR "Less-Developed Countries" OR "Less Developed Countries" OR "Less-Developed Country" OR "Third-World Country" OR "Third-World Nations" OR "Third World Nations" OR "Third-World Nation" OR "Low and Middle Income Countries" OR "Less-Developed Nations" OR "Less Developed Nations" OR "Less-Developed Nation" OR "Low Income Countries" OR "Low Income Country" OR "Middle Income Countries" OR "Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Country" OR "Lower Middle Income Country" OR "Lower-Middle-Income Countries"))
SCIELO	"Insegurança Hídrica" OR "Água Potável" OR "Distribuição da Água" OR "Padrão de Potabilidade da Água" OR "Cobertura do Serviço de Água" OR "Segurança Hídrica" OR "Privação de Água" OR "Abastecimento Rural de Água" OR "Equidade no Acesso à Água"

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

Quanto a busca de literatura cinza, adotou-se a base internacional PROQUEST conhecida por armazenar diversos dados no tocante a literatura cinzenta: monografias, teses, dissertações, capítulos de livro, manuais, dentre outros. As buscas avançadas foram realizadas nesta base, com o filtro *public health*. Logo, o processo de seleção e análise dos artigos será realizado independentemente. Serão incluídos estudos originais, revisões da literatura, editoriais e materiais técnicos como guidelines, relatórios e opiniões de especialistas nos idiomas inglês, português e espanhol, linha temporal aberta até o dia do carregamento – 20 de maio de 2023 –, que versem sobre a temática em estudo. Serão excluídos documentos do tipo resenhas, cartas, resumos, capítulos de livro, teses e dissertações e anais de congresso.

Organização e análise de dados

Os estudos encontrados serão exportados para o software online *Rayyan*, a fim de serem avaliados no formato duplo cego, por meio da leitura de seus títulos e resumos, tomando por base os critérios de seleção estabelecidos. Serão exclusivos os estudos que não se enquadraram

nos critérios definidos e, em caso de discordância entre a elegibilidade dos estudos, um outro revisor será acionado para auxiliar na decisão.

Os estudos elegíveis foram avaliados na íntegra para posterior extração dos dados. Para a sumarização e mapeamento dos elementos essenciais encontrados nos estudos, será empregada uma planilha do *Microsoft Excel* 2019 com os seguintes dados: título; periódico; ano de publicação; cidade e país de origem (país onde o estudo foi conduzido); objetivo; população e detalhamento amostral; detalhamento metodológico; principais resultados; e conclusões/recomendações. Os dados serão apresentados em forma de Quadro.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

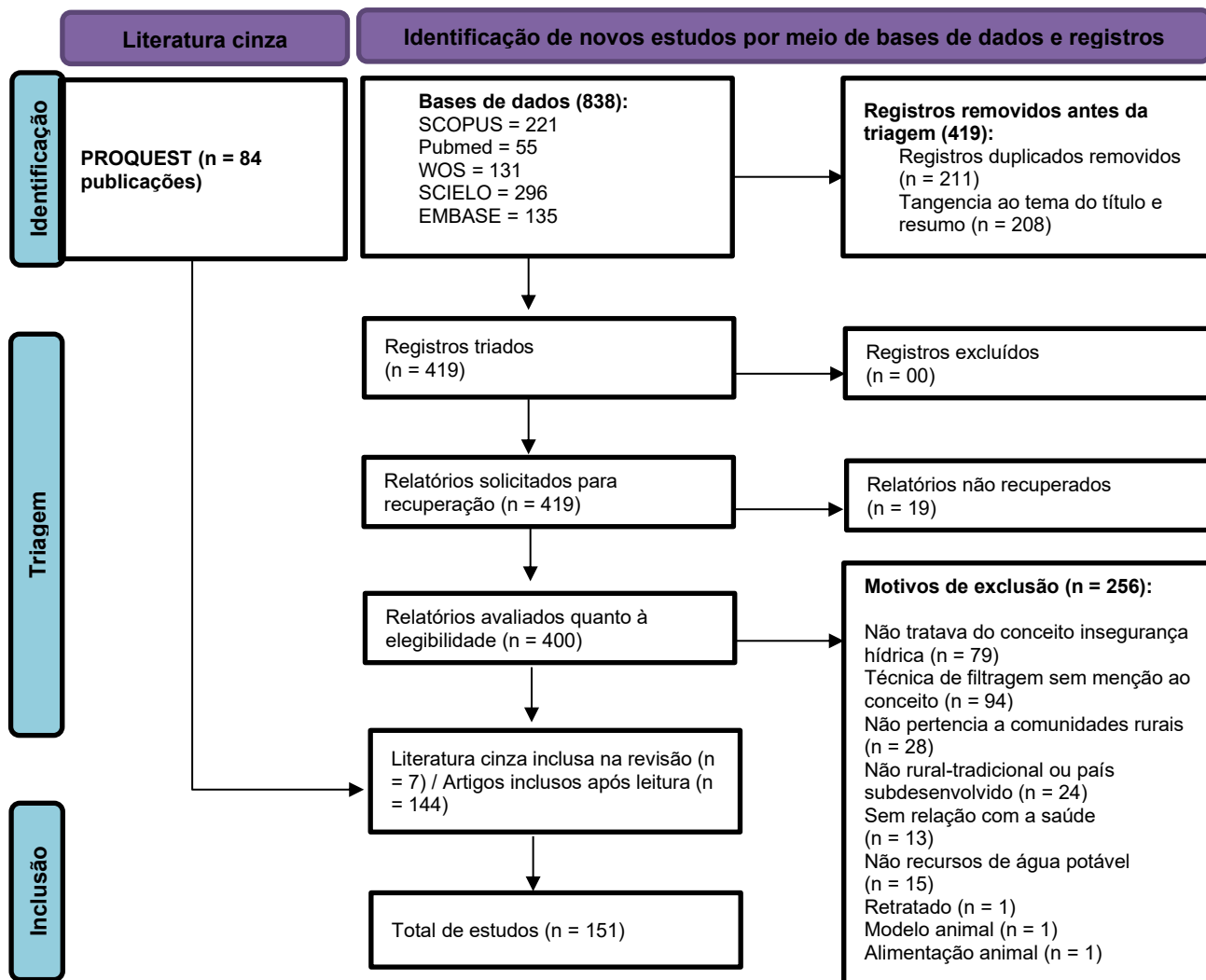
A Figura 1 mostra a triagem de artigos desta revisão, que foi de 922 publicações captadas para 151 publicações selecionadas. Utilizou-se o checklist *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) para organizar o processo de busca (Page *et al.*, 2021).

O Quadro 3 expõe a gama de 151 estudos, focalizando sobretudo, a região de desenvolvimento do estudo e em alguns casos breves características metodológicas.

Fatores que predispoem à Insegurança Hídrica e panorama sobre as doenças, saneamento e estrutura para armazenar a água

O conceito abrange três dimensões: sofrimento psicossocial, quantidade e qualidade da água, conforme identificado na escala *water insecurity experience scale* (WATINE) (Nounkeu *et al.*, 2021). A insegurança hídrica é definida como a disponibilidade limitada ou incerta de água potável adquirida por meios culturalmente aceitáveis (Cooper-Vince *et al.*, 2018), sendo as fontes mais “protegidas” de nascentes, poços ou torneiras privadas e as “desprotegidas” provenientes de rios (Gizaw *et al.*, 2018). Geralmente, há uma correlação entre os escores de insegurança hídrica e os níveis de insegurança alimentar (Nounkeu, 2020). Os indicadores sobre este constructo, podem ser obtidos através da escala *Household Water Insecurity Experiences* (HWISE), em três níveis de insegurança: baixa (pontuação ≤ 20), moderada (pontuações 21-50) e severa (pontuações ≥ 51) (Chapman, 2019).

Figura 1 – Fluxograma de identificação e triagem de publicações.



Fonte: PRISMA.

Quadro 3 – Síntese dos estudos.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
1. Adeniyi Francis Fagbamigbe	59 países de baixa e média renda (LMICs) para investigar desigualdades de riqueza em mortes com menos de 5 anos: Nigéria, Guiné, Burkina Faso, Mali, Chade, Etiópia, Lesoto, Serra Leoa, Camboja, África do Sul, Guatemala, Mianmar, Maldivas, Gâmbia, Zâmbia e muitos outros.
2. Adriana Mendonca Gallotti	Avaliou-se a qualidade da água e do saneamento de reservatórios usados em atividades de campo de uma unidade militar no estado do Rio de Janeiro, Brasil.
3. Afifa Malik	Comunidade rural em Lahore, Paquistão, situada do outro lado do rio Ravi.
4. Alasdair Cohen	Áreas rurais na China, especificamente em duas províncias chinesas, Guangxi e Henan.
5. Alemayehu Azeze Ambel	Etiópia como país de interesse para medir a pobreza multidimensional através da incorporação da qualidade da água potável na análise.
6. Alexander Schriewer	Índia, 24 aldeias de Odisha, durante a época das monções para avaliar vias de contaminação fecal.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
7. Alexandra Brewis	República Democrática do Congo, Etiópia, Gana, Colômbia, Guatemala, Haiti, México, Irão, Indonésia, Quênia, Malawi, Nigéria, Tanzânia, Uganda, Tajiquistão, Bolívia, Brasil, Líbano e Paquistão.
8. Alexandra Cassivi	Malawi para descrever tendências emergentes de progresso e desigualdades nos serviços de abastecimento de água e saneamento ao longo de um período de 25 anos (1992-2017).
9. Alfredo P. Martínez	Enfoca a prevalência do vírus da hepatite E (HEV) em crianças da região nordeste da Argentina.
10. Amos Apraku	África do Sul, particularmente na região rural do Cabo Oriental.
11. Ana Laura Burgos	México, abordando especificamente as áreas rurais na região de Bajo Balsas, em Michoacan.
12. Andrew F. Trevett	Estudo teórico publicado por autores de Bangladesh.
13. Aniruddha B. Pandit	Menções específicas ao Togo na África e na Índia como exemplos de regiões onde estratégias de tratamento de água foram implementadas de forma eficaz.
14. Anna Kathryn Libey (literatura cinza)	Etiópia, especificamente na região de Afar, a investigação visa abordar os desafios significativos enfrentados pelas comunidades.
15. Asher Rosinger	Tsimane na Amazônia boliviana, especificamente no departamento de Beni, na Bolívia.
16. Atalay Getachew	Etiópia, especificamente na Zona Norte de Gondar.
17. Audrey R. Matteson	Camboja, o local de estudo foi na província de Kandal, especificamente entre as comunas de Dei Edth e Chheu Teal no distrito de Kien Svay.
18. B. A. Okech	Quênia, focando a malária, a bilharzia e a transmissão de geo-helminthos dentro dos seus determinantes ambientais.
19. Batsirai Majuru	Três pequenas comunidades remotas no distrito de Vhembe, província de Limpopo, África do Sul.
20. Benjamin Dosu	Zona rural de Gana, especificamente três comunidades rurais em Gana, a saber, Esereso, Wabrease e Wioso, com base em sua exposição aos desafios de segurança hídrica.
21. Benjamin Dosu (literatura cinza)	Centrou-se na segurança hídrica rural em Gana, examinando comunidades rurais selecionadas dentro de dois distritos: Sekyere Kumawu e Sunyani West.
22. Billy McBenedict	Namíbia, especificamente nas regiões de Ohangwena e Omusati.
23. Brajesh K. Shrivastava	Verificou-se a mitigação do arsênio na água potável em habitações rurais na Índia. Havendo progresso feito por estados como Bengala Ocidental, Bihar e Uttar Pradesh.
24. Carlo Collivignarelli	A implementação do Plano de Segurança da Água (WSP) em vários países foi discutida, incluindo a Itália e aqueles com recursos limitados, provando sua eficácia no gerenciamento de sistemas de água potável e na proteção da saúde pública.
25. Carola Bänziger	Comunidades rurais do Nepal, especificamente nas províncias de Karnali e Sudurpaschim.
26. Carole Debora Nounkeu	Camarões, um país da África Central. Especificamente, o estudo foi realizado na Divisão Menoua, Região Oeste dos Camarões, que é caracterizada por 22 aldeias e uma população predominantemente da tribo Bamileke.
27. Carole Debora Nounkeu (literatura cinza)	Áreas rurais dos Camarões Ocidentais, África Central, de fevereiro de 2019 a janeiro de 2020.
28. Celso Maran de Oliveira	O estudo investiga a evolução do reconhecimento internacional e nacional desse direito dentro do marco legal brasileiro e dos tratados internacionais de direitos humanos, enfatizando a importância do acesso universal à água potável no Brasil, apesar de não o declarar explicitamente na Constituição de 1988.
29. Charles Njuguna	Quênia, especificamente nos condados de Kilifi e Nairóbi.
30. Christian Schaetti	A pesquisa foi realizada em Zanzibar, que faz parte da República Unida da Tanzânia.
31. Christine Cooper-Vince	Uganda, especificamente em uma paróquia rural no distrito de Mbarara.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
32. Corina Iris Rodriguez	Bairro Cerro Los Leones de Tandil, Argentina.
33. Cristóbal Chaidez	O estudo foi realizado no México, especificamente nas comunidades rurais de Culiacán, Sinaloa.
34. D. Daniel	Nepal, especificamente nas áreas rurais montanhosas do centro-oeste do Nepal, abrangendo distritos como Surkhet, Dailekh, Jajarkot, Accham e Kailali.
35. Dandy Badimo	Desafios da coleta de água em Botswana, especificamente na vila de Sexaxa, no distrito noroeste de Botswana. A área de estudo é ocupada predominantemente pela tribo Wayeyi.
36. Dani Barrington	Zona rural do Nepal.
37. Daniel Olorunfemi	É uma avaliação toxicológica de fontes de água potável em comunidades rurais no sul da Nigéria após tratamento de micofiltração. O estudo foi conduzido na Área de Governo Local do Sul de Ughelli, no estado do Delta.
38. David Jimmy	Bo, Serra Leoa, cidade de Kulanda.
39. David M. Berendes	Alguns dos países incluídos no estudo foram Angola, Benin, Burkina Faso, Burundi, Camarões, Chade, Comores, República Democrática do Congo (RDC), República do Congo, Costa do Marfim, Etiópia, Gabão, Gâmbia, Gana, Guiné, Quênia, Lesoto, Libéria, Madagascar, Malawi, Mali, Moçambique, Namíbia, Níger, Nigéria, Ruanda, São Tomé e Príncipe, Serra Leoa, Tanzânia, Togo, Uganda, Zâmbia, Zimbabué, entre outros.
40. Denise Uechi	Mato Grosso do Sul, no Brasil. Menciona-se especificamente o Sistema Aquífero Bauru (SAB) neste estado, destacando a análise das concentrações de metais pesados nas águas subterrâneas de 2009 a 2013 nessa região.
41. Dorian Tosi Robinson	O país de estudo foi o Nepal, um país sem litoral no sul da Ásia situado no Himalaia, que compartilha fronteiras com a Índia e a China.
42. E Lans-Ceballos	Colômbia, especificamente no município de Cerete, na região de Córdoba.
43. E. A. Ojeda Olivares (ano 2020)	Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas nos Vales Centrais do estado de Oaxaca, México, conhecidos por atividades agrícolas intensivas e políticas de gestão deficiente da água. A área de estudo está localizada especificamente na sub-bacia do Alto Atoyac em Oaxaca.
44. Edda Cristina Villaamil Lepori	Províncias da Argentina foram investigadas, como Córdoba, Santa Fé, Buenos Aires, Chaco, Tucumán, San Luis, San Juan e Mendoza, foram destacadas na pesquisa por apresentarem altos níveis de contaminação por arsênio nas fontes de água, afetando a saúde da população.
45. Eduardo Galdino de Souza	Enfoca a segurança hídrica no reservatório de Castanhão, no Ceará, Brasil. O reservatório de Castanhão desempenha um papel crucial no abastecimento de água para a região metropolitana de Fortaleza, Ceará.
46. Edward A. McBean	Bangladesh, como o país onde foi realizado o estudo sobre a melhoria da sustentabilidade das opções de abastecimento de água em áreas com águas subterrâneas impactadas pelo arsênio.
47. Eric Mateus Soares Dias	Rio Grande do Norte (RN) no Brasil.
48. Érika Patricia Cárdenas Gómez	Guadalajara, México. O estudo investiga a coordenação de áreas metropolitanas em Guadalajara, Jalisco, México, destacando os desafios e mecanismos empregados pelo SIAPA (Sistema de Água Potável e Alcantarillado de Guadalajara).
49. Evan Newcomer	Especificamente o Distrito da Baía de Nkhata, no norte do Malawi, incluindo a Autoridade Tradicional (TA) Timbiri e a Autoridade Sub-Tradiciona (STA) Nyaluwanga.
50. F. Arcega-Cabrera	México, especificamente na zona rural de Yucatán.
51. Fatin Nun Elyana	Desempenhado nas comunidades rurais de Terengganu, Malásia, especificamente nos distritos Hulu Terengganu e Kemaman, onde o estudo foi realizado entre Orang Asli e crianças malaia com idade ≤ 15 anos.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
52. Felipe Perez-Pineda	El Salvador. Os determinantes para a disposição a pagar por água melhorada foram a renda, satisfação com o abastecimento existente e o desejo de ter fontes melhoradas.
53. Fernando García-Ávila	Cidade de Azogues, localizada no Equador. O estudo foi realizado na cidade de Azogues, Equador, para determinar as tendências corrosivas na rede de distribuição de água potável.
54. Fernando Mosos-Patiño	Especificamente na Colômbia, amostras foram coletadas ao longo da bacia hidrográfica média do rio Bogotá para análise.
55. Francisca Oliveira de Jesus	Aborda a eficácia dos métodos domésticos de desinfecção da água em Santarém, estado do Pará, Brasil. O estudo avaliou a eficácia de medidas como hipoclorito de sódio, ebulição, filtros cerâmicos e exposição solar na eliminação de <i>Escherichia coli</i> .
56. Francy Viviana Bolanos Trochez	Corredor metropolitano Cali-Yumbo, na Colômbia.
57. Franziska Genter	Vários países, como África do Sul, Mali, Madagascar, Nigéria, Nicarágua, Tailândia, Iêmen, Afeganistão, Brasil, Paquistão e Haiti.
58. Getnet Zeleke	Etiópia como país de estudo, especificamente a Zona Norte de Wello, no norte da Etiópia. A área de estudo está localizada no nordeste do estado regional de Amhara.
59. Guilherme Reis Pereira	Abordou-se do Baixo Jaguaribe, no estado do Ceará, Brasil, apontando os conflitos hídricos e os problemas de seca enfrentados nessa área específica do Brasil.
60. Hassan A. Elfadaly	Egito, especificamente nas áreas rurais de Gizé, nas aldeias Abulnomorous e Shabramant.
61. Henry Bikwibili Tantoh (ano de 2017)	Noroeste de Camarões.
62. Henry Bikwibili Tantoh (ano de 2020)	Abastecimento de água rural no Noroeste dos Camarões, nos distritos rurais de Mbengwi, Njinikom e Ndu, no Noroeste dos Camarões.
63. Jhud Mikhail Aberilla	Região do Sudeste Asia-Pacífico (SEAP), que inclui países como as Filipinas e outras nações.
64. Jocelyn Aikowe	Investigou-se o acesso à água na Nigéria, especificamente na região do Cinturão Médio do país, estado de Kogi.
65. John M. Kayembe	Rio urbano (chamado Canal Kokolo/Rio Jerusalém) que drena o município de Lingwala (Cidade de Kinshasa, República Democrática do Congo).
66. John M. Polimeni	Jordânia como o país em estudo, examinando os fatores socioeconômicos de nível macro que afetam doenças transmitidas pela água, como diarreia e hepatite A.
67. Josef Novotný	Análise de dados de 16 países, incluindo o sul e o sudeste da Ásia, a África Subsaariana e uma comparação internacional de quatro países africanos.
68. Joseph J. Capuno	Filipinas como o país de interesse, para estudar o impacto da água encanada e dos banheiros com descarga na prevenção da diarreia infantil em famílias rurais.
69. Judith Sofia Echeverría Molina	Colômbia durante a pandemia de COVID-19, falando sobre ações regulatórias do governo quanto ao acesso aos serviços de água e saneamento para a população.
70. Justin J. Henriques	Enfoca a Indonésia como o país onde o modelo de Análise do Fator de Capacidade foi aplicado para selecionar sistemas sustentáveis de abastecimento de água potável e reutilização de água cinza em comunidades em desenvolvimento, especificamente em Cimahi, Indonésia.
71. Katherine F. Shields	Revisão sistemática, contendo alguns países como África Subsaariana, Sul da Ásia, América Latina e Caribe, Cáucaso e Ásia Central, Norte da África, Sudeste Asiático e Ásia Ocidental.
72. Kathy Nguyen	África do Sul. A principal área de pesquisa para a investigação sobre o impacto das fontes de água potável nas infecções entéricas entre crianças.
73. Katia Sakihama Ventura	Implementação de um Plano de Segurança Hídrica na estação de tratamento de água do Guaraú em São Paulo, Brasil.
74. Kayako Sakisaka	Quênia, sendo o local o Distrito de Samia, Província Ocidental, grupo étnico na área é Luhya.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
75. Kebede Amenu	Foi conduzido na Etiópia, especificamente nos distritos de Lume e Siraro do Estado Regional de Oromia, localizado na área do Vale do Rift, na Etiópia, destacando a qualidade.
76. Kelly Chapman (literatura cinza)	Investigou-se as crenças e comportamentos das mulheres e da água em Gressier e Léogâne, Haiti.
77. Kelsey Anne Anderson (literatura cinza)	Duas comunidades andinas no Peru, especificamente Carhuaz e Shilla, situadas na região de Ancash. A investigação investiga as perspectivas e experiências das mulheres locais.
78. Kemal Kassim	Etiópia, especificamente no distrito rural de Madda Walabu, Sudeste da Etiópia. O estudo centrou-se na determinação da prevalência de tracoma ativo – uma doença inflamatória ocular, uma conjuntivite, causada pela bactéria <i>Chlamydia trachomatis</i> .
79. Kristen Heitzinger	Áreas rurais do Peru, especificamente na província de Pisco.
80. Leslie Dodson	Fala sobre a captação de águas de nevoeiros na zona rural de Marrocos, especificamente na região de Ait Baamrane, no Sudoeste.
81. Luxon Nhamo	Enfoca a África do Sul como o país de interesse para programas de redistribuição de terras e desenvolvimento rural sustentável.
82. Mabel Gomez	Zonas rurais dos países em desenvolvimento, especificamente países de médio-alto, médio-baixo e baixo rendimento, classificados pelo Banco Mundial.
83. Mahfuza Islam	Zona rural de Bangladesh, especificamente nos distritos de Gazipur, Kishoreganj, Mymensingh e Tangail do país. Foram avaliadas as práticas de defecação infantil.
84. Manuel Varón-Hoyos	Cidade de Pereira, Colômbia.
85. Marc J. Addison	Centra-se na vulnerabilidade das águas subterrâneas ao risco geogénico de flúor no Malawi.
86. Marco Aurélio A. Lobo	Brasil, especificamente na cidade de Belém, localizada na região amazônica brasileira.
87. Maria Helena Martins Mendonça	Fala-se sobre a qualidade da água para consumo humano em Caruaru, uma cidade no Brasil.
88. Maria Suiane de Moraes	Avaliação microbiológica de fontes de água em escolas públicas e privadas na cidade de Santa Rita, Paraíba, Brasil.
89. Maria-Angélica Galezzo	Colômbia, especificamente em dois assentamentos no departamento de Cesar, Colômbia.
90. Mario Rodrigues Peres	Comunidades rurais no semiárido brasileiro, especificamente no estado da Paraíba.
91. Maura Hanrahan	Canadá, particularmente em Black Tickle, uma remota comunidade Inuit em Labrador, Canadá, enfatizando a natureza de gênero da segurança hídrica e seus impactos nas mulheres indígenas.
92. Melina Tobías	Focalizou-se as desigualdades geográficas e socioespaciais no acesso aos serviços de água na área metropolitana de Buenos Aires, Argentina.
93. Michael L. Goodman	Quênia, especificamente em áreas semirurais do condado de Meru, Quênia.
94. Michelle Thompson	Gana como o país de interesse para estudar tecnologias de purificação de água apropriadas para países em desenvolvimento, com ênfase específica nas áreas rurais no norte de Gana.
95. Miles E. Daniels	Índia, especificamente no distrito de Puri, Odisha, estimando a carga de doenças de <i>Cryptosporidium</i> e <i>Giardia</i> para crianças que bebem água subterrânea não tratada na Índia rural. A população estudada consistiu em 3.385 crianças menores de 5 anos.
96. MM Fiore	Nicarágua, especificamente nas comunidades rurais ao redor de San Juan del Sur.
97. Mohammed Yasin	Sudoeste da Etiópia, especificamente na Zona Jimma.
98. Motuma Tessema Abegaz	Comunidade rural na Etiópia.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
99. N. Pichel	Comunidade indígena de 'Santa Rosa Buenavista' em Oaxaca, México.
100. Nestor Nuño	Especificamente nas cidades de San Marcos e Cajabamba, no Peru andino, em 2016.
101. Obiora B. Ezeudu	Comunidade rural na Nigéria, especificamente na parte sudeste do país, conhecida como Nanka. A área de estudo está localizada no estado de Anambra.
102. Patricia Weiss	Nicarágua, especificamente na vila de Pueblo Nuevo.
103. Patricio Bruno Besana	Argentina como país de estudo, abordando particularmente questões relacionadas ao acesso à água potável em assentamentos informais da região Conurbano Bonaerense de 1983 a 2015.
104. Paula Stigler-Granados	Comunidades indígenas rurais na Baja California, México.
105. Peter Kjær Jensen	Especificamente em 67 famílias em Punjab, a área onde o estudo foi realizado é o esquema de irrigação, localizado no sul de Punjab, Paquistão, perto da fronteira com a Índia, na orla do deserto do Cholistão (Thar).
106. R Deepthi	Investiga um surto de cólera realizada numa aldeia no sul da Índia, a aldeia onde ocorreu o surto é Chikkapura, localizada no distrito de Kolar de Karnataka.
107. Rachel Roche	25 países da África Subsaariana, incluindo Namíbia, Libéria, Burundi, República Democrática do Congo, Etiópia, República Centro-Africana, Chade, Comores, Costa do Marfim, Gana, Guiné e Ruanda dentre outros.
108. Raju Mary Antony	Canal Ananthanar, no distrito de Kanyakumari, Tamil Nadu, Índia.
109. Raphael Teixeira Verbinnen	Concentra-se na determinação de estrogênios na água potável usando HPLC-DAD em São Luís, MA, Brasil. A validação do método seguiu as diretrizes estabelecidas pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) no Brasil.
110. Regina Ntsubise Molomo	África do Sul, especificamente nas áreas rurais da província do Cabo Ocidental. O estudo se concentrou em meninos que vivem em áreas agrícolas intensas, incluindo o Vale do Rio Hex, Grabouw e Piketberg, onde os efeitos da exposição a pesticidas agrícolas no crescimento e desenvolvimento das crianças.
111. Richard Johnston	O artigo se concentra nos esforços de mitigação de arsênio em Bangladesh.
112. Rochelle Holm	Malawi em África, especificamente na região norte do Malawi.
113. Rony Felipe Marcelino Corrêa	Focalizou-se o planejamento da segurança hídrica em comunidades rurais no Brasil. O software desenvolvido para monitorar os riscos de contaminação da água em comunidades rurais foi aplicado em propriedades rurais em São Carlos e Araraquara, ambas localizadas no estado de São Paulo, Brasil.
114. Rudi Rocha	Brasil, especificamente na região semiárida do Nordeste do Brasil, onde o estudo analisa o impacto das flutuações pluviométricas durante o período gestacional sobre a saúde ao nascer no semiárido brasileiro.
115. Ryan Cronk	14 países, incluindo Etiópia, Gana, Honduras, Índia, Quênia, Malawi, Mali, Moçambique, Níger, Ruanda, Tanzânia, Uganda, Zâmbia e Zimbabuê.
116. Ryan M. DuChanois	Regiões rurais em Bangladesh, Paquistão, Etiópia e Moçambique, avaliando a continuidade do serviço de água para comunidades rurais.
117. Sandra D. João Afonso	Província do Huambo, em Angola.
118. Sarah K. Hayman	Avaliação de tecnologias adequadas de abastecimento de água subterrânea para aumentar o acesso a água suficiente e melhorada nas comunidades costeiras rurais do Panamá, na região da Comarca Ngobe Bugle, que se caracteriza por chuvas abundantes, lençóis freáticos altos, planícies e colinas.
119. Saulo de Tarso Marques Bezerra	Distribuição de água na região do Agreste brasileiro, avaliando especificamente o desempenho de abastecimento em diferentes estados como Bahia e Sergipe.
120. Sébastien Ferreira	Burkina Faso na vila rural de Gogma.

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
121. Service Opare	Gana, sendo os locais de estudo mencionados na investigação são Dupong e Djogbe, duas comunidades rurais.
122. Séverine Erismann	Burkina Faso, um país localizado na África Ocidental.
123. Shane Htet Ko	Mianmar.
124. Shara Ilana Feld (literatura cinza)	Lima, a capital do Perú, com especial enfoque nos sistemas de recolha de água de nevoeiro.
125. Sharon A. Jones	Malawi, Honduras e Uganda.
126. Shedrack Nayebare	Uganda, um país em desenvolvimento na África Oriental.
127. Shipra Saxena	Concentra no gerenciamento de lodo fecal na Índia, distrito de Dhenkanal em Odisha.
128. Silvia Díaz-Alcaide	Burkina Faso, um país da África Ocidental, especificamente em duas comunas rurais da província de Sanmatenga, nomeadamente Kaya e Mane.
129. Silvia E. Tritz	Ambientes rurais da República Democrática Popular do Laos (Laos PDR).
130. Sital Uprety	A pesquisa se concentra no Nepal, avaliando 37 dos 75 distritos do Nepal, incluindo aqueles afetados pelo terremoto de 2015.
131. Sophie Boisson	Índia. O estudo incluiu 2.163 famílias e 2.986 crianças menores de cinco anos em Orissa.
132. Steev Loyola	Perú, especificamente em três comunidades rurais da província de Pisco, na costa sul peruana.
133. Stella Hartinger	Áreas rurais de Cajamarca, Perú, especificamente nas províncias de San Marcos e Cajabamba.
134. Stephany María Ruiz-Díaz	Comunidades rurais na costa caribenha colombiana. Especificamente, as comunidades estudadas são Ararca e Bar 'u, com Ararca tendo 855 habitantes e Bar 'u sendo uma ilha habitada por 1.894 pessoas.
135. Stephen G. Mugel	Alguns dos países incluídos na análise foram Índia, Argélia, Angola, Bangladesh, Benin, Burundi, Camarões, Chade, Costa Rica, Cuba, República Democrática do Congo, Etiópia, Gana, Guiné, Haiti, Indonésia, Iraque, Lesoto, Madagascar, Malawi, Maldivas, Mongólia, Mianmar, Nepal, Nigéria, Paquistão Filipinas, São Tomé e Príncipe, Senegal, Serra Leoa, África do Sul, Estado da Palestina, Suriname, Tanzânia, Gâmbia, Timor-Leste, Tunísia, Uganda, Zâmbia e Zimbábue.
136. Steven Brockliss	Distrito de Chikwawa, Malawi. O estudo de campo foi realizado em 17 aldeias do distrito.
137. Tengku Shahrul Anuar	Malásia, com foco em diferentes tribos das comunidades de Orang Asli dentro do país.
138. Terence Chan	Ilhas Salomão, nas duas províncias centrais: Guadalcanal e Malaita.
139. Thandi Kapwata	África do Sul, especificamente em áreas rurais selecionadas na África do Sul, com foco em aldeias na província de Limpopo.
140. Thierry Van Effeltherre	Projeção de resultados epidemiológicos para o Vírus da Hepatite A (HAV) no Brasil e no México de 1950 a 2050.
141. Tim Foster (ano de 2019)	Vanuatu, um país insular do Pacífico, composto por 11 ilhas.
142. Tim Foster (ano de 2021)	A investigação analisou 77 conjuntos de dados de 26 países do Sudeste Asiático, Sul da Ásia e Pacífico para estimar a prevalência de água potável auto-abastecida. Alguns dos países incluídos na análise foram Índia, Bangladesh, Paquistão, Indonésia, Afeganistão, Myanmar, Filipinas, Tailândia, Vietname, Nepal, Sri Lanka, Maldivas, Butão, Papua Nova Guiné, Ilhas Salomão e Fiji.
143. Tomé Coletti	Desempenhado no estado de Santa Catarina, Brasil, especificamente na região Oeste Catarinense. O estudo investiga a contaminação de fontes de água por agroquímicos.
144. Veronica Mitroi	Costa do Marfim, na Lagoa Aghien, situada na parte nordeste da cidade de Abidjan, na Costa do Marfim. O monitoramento da proliferação de cianobactérias foi implementado em

Primeiro autor	Informações com foco no país, cidade ou localidade
	três aldeias ao redor da Lagoa Aghien, a saber, De'Barcadere, Akandje' e Aghien-te'le'Graphe.
145. Vica Marie J. Tomberge	Nepal, especificamente em cinco comunidades rurais nos distritos de Kavre e Sindhupalanchowk.
146. Wilton Pérez	Nicarágua, especificamente na zona rural de Cuatro Santos, no norte da Nicarágua. Cuatro Santos situa-se a cerca de 250 quilômetros a noroeste da capital, Manágua, numa zona montanhosa ao longo da fronteira com Honduras.
147. Yohanis Alemeshet (ano 2021)	Etiópia Oriental. Especificamente, o estudo foi realizado na Região de Harari, na Etiópia Oriental, que inclui kebeles urbanos e rurais dentro da região.
148. Yoshika Susan Crider (literatura cinza)	Comunidades rurais do Nepal, avaliando especificamente tecnologias de cloração para abastecimento de água canalizada.
149. Yoshio Iijima	Quatro aldeias agrícolas ao redor de Malindi, no Quênia.
150. Yunus Salami	Assentamentos rurais na região central da Nigéria.
151. Zemichael Gizaw	Etiópia, especificamente na zona rural de Dembiya, noroeste da Etiópia.

Fonte: autores, fichamento facilitado pelo SCISPACE.

Indicadores do conceito estudado são: nível de educação, o rendimento nacional bruto (RNB) do país, a taxa de conclusão primária feminina, a contribuição da agricultura para o PIB e o crescimento da população rural (Gomez, 2019; Aikowe; Mazancová, 2021). Desta forma, a insegurança hídrica se compõe por: falta de acesso a fontes de água potáveis (Collivignarelli, 2017; Thompson, 2015), contaminantes como arsênio, chumbo, flúor, nitratos (Pandit; Kumar, 2015), práticas de armazenamento de água como o uso de recipientes, deixar garrafas de armazenamento sem tampa ou no chão (Stigler-Granados *et al.*, 2014; Chaidez *et al.*, 2016), as interrupções frequentes no abastecimento, conexões ilegais, crescimento de biofilme em tubulações (Kapwata *et al.*, 2018; Salami, 2019), anos consecutivos de seca em regiões semiáridas (DuChanois *et al.*, 2019; Dias; Pessoa; Teixeira, 2022; Pereira; Cuellar, 2015), efluentes industriais e escoamento superficial próximo a fontes (Malik *et al.*, 2012), deficiências no projeto de distribuição, construção e manutenção de poços e sistemas de descarte de efluentes (Getachew *et al.*, 2018; Rodriguez *et al.*, 2010), o acesso politizado, superexploração dos recursos com práticas insustentáveis que levam à diminuição da água doce (Oliveira, 2017; Tantoh; McKay, 2020; Perez-Pineda; Quintanilla-Armijo, 2013), beber água barrenta ou com mau cheiro (Nounkeu *et al.*, 2021; Schaetti *et al.*, 2010), distância das fontes de água, o tempo gasto ao recolher, o alto consumo diário (Sakisaka *et al.*, 2015), desertificação de áreas com vegetação, contaminação de águas subterrâneas (McBean; Rajib; Rahman, 2013), práticas de higiene precárias envolvendo água (Novotný; Hasman; Lepič, 2018; Brockliss *et al.*, 2022), aquedutos centralizados intermitentes ou água de navios-tanque e caminhões-pipa (Mendonça *et al.*, 2017; Ruiz-Díaz *et al.*, 2017), contaminação por *Escherichia coli*, bactérias

termotolerantes e bactérias heterotróficas, sistemas de cloração funcionando de forma ineficaz (Kayembe *et al.*, 2018; Ambel *et al.*, 2020; Moraes *et al.*, 2018; Abegaz; Midekssa, 2021; Peres *et al.*, 2020), ecotoxicidade decorrente da produção de água engarrafada (Aberilla *et al.*, 2020), a recontaminação pelo manuseio incorreto (Nuño *et al.*, 2022), instalações inadequadas de tratamento/armazenamento (Elfadaly *et al.*, 2018; Nguyen *et al.*, 2021; Nayebare *et al.*, 2014), a partilha de casa com os animais, não lavagem das mãos antes de recolher água (Corrêa; Ventura, 2021; Alemeshet Asefa *et al.*, 2021) e dependência de alimentos que precisam ser processados ou preparados com uso de água potável em abundância (Rosinger; Tanner, 2015).

O desmatamento, sobrepastoreio, agricultura e urbanização impulsionam a pressão sobre os recursos hídricos (Ojeda Olivares *et al.*, 2020). Logo, barreiras estruturais e institucionais, econômicas incluindo situação de emprego, renda familiar e poços perfurados à mão com reboques ou bombas manuais levam à riscos de insegurança hídrica (Dosu; Hanrahan, 2021; Hayman; Mihelcic, 2016). Como exemplo, contaminantes como fezes de aves e poeira depositam-se em telhados afetando a qualidade da água da chuva recolhida (Opare, 2012).

Frequentemente, não se trata apenas de indisponibilidade hídrica e sim de falta de investimento ante o crescimento populacional (Feld, 2014; Apraku *et al.*, 2023), com fatores condições climáticas extremas e a dependência de canais de irrigação para tudo (Jensen *et al.*, 2002). A produtividade agrícola também é afetada pela falta de estrutura de armazenagem e irrigação (Tantoh; Simatele, 2017), e pequenos agricultores em terras altas são os mais vulneráveis a falta (Zelege; Teshome; Ayele, 2023).

Água encanada sempre possui níveis de contaminação menores que as águas armazenadas (Shields *et al.*, 2015), neste seguimento, desastres naturais como erosão de ravinas e deslizamentos de terra fazem com que a população local compre água (Ezeudu *et al.*, 2022). Todas estas demandas não supridas levam ao autoabastecimento familiar quando o Estado não cumpre papel ativo na disponibilização (Foster *et al.* 2021). Por fim, infere-se a falta de estudos científicos e manuais práticos sobre a insegurança hídrica, isto enfraquece a formulação de um Plano de Segurança Hídrica com identificação de contaminantes, a caracterização dos riscos e o estabelecimento de medidas (Ventura; Vaz; Nascimento, 2019).

Principalmente a África Subsaariana enfrenta problemas ocasionados pelo acesso inadequado a água potável como aumento do risco de desnutrição protéico-energética, morbidade diarreica, câncer de bexiga e esquistossomose (Goodman *et al.*, 2022; Fiore; Minnings; Fiore *et al.*, 2010). Já crianças oriundas das famílias que utilizam rios/lagoas, nascentes desprotegidas e água da chuva para consumo tiveram maiores probabilidades de

tracoma ativo em comparação com aquelas que utilizam água canalizada ou pública (Kassim *et al.*, 2019).

Desastres naturais levam a disseminação de microorganismos que ocasionam diarreia (Uprety, 2020), estimam-se 12.600 mortes diárias de crianças na África, Ásia e América Latina. As áreas rurais, onde o acesso limitado a fontes de água potável (Iijima *et al.*, 2001) precisam de iniciativas governamentais que monitorem mananciais. Quando há corrosão da bomba, poços cavados à mão e pontos cobertos por rochas vulcânicas o risco de contaminação fecal é maior (Foster *et al.*, 2019).

Falta de acesso a fontes de água potável e adoecimento e mortalidade infantil

Conceitualmente a insegurança hídrica relaciona-se a confiabilidade, quantidade e qualidade do abastecimento, fontes de água inseguras, falta de expansão dos serviços e esgoto não tratado ante o crescimento urbano, distância até as fontes de água (desigualdades socioespaciais), a tecnologia usada para captação e superexploração de uma fonte com sobrecarga da natureza (Majuru; Jagals; Hunter, 2021; Tobías; Fernández, 2019; Polimeni *et al.*, 2016). Os aspectos da insegurança hídrica incluem a distribuição desigual das redes de água potável (Bruno Besana; Fernández Bouzo, 2020), o que pode, segundo exemplo da Jordânia, ser ocasionado pelo crescimento populacional, urbanização e economia baseada na extração de fosfato e produção farmacêutica, o que aumenta a poluição/consumo (Polimeni *et al.*, 2016).

Sabe-se que crianças de agregados familiares com fontes de água não melhoradas apresentaram taxas de mortalidade em menores de 5 anos elevadas (Fagbamigbe; Adeniji; Morakinyo, 2022). O baixo peso ao nascer e períodos de gestação mais curtos, especialmente em regiões áridas como o semiárido brasileiro, estão relacionados à insegurança hídrica, a falta leva a desidratação da gestante, deficiências nutricionais e complicações no parto (Rocha; Soares, 2015).

Contaminação química

Um estudo em Bo, Serra Leoa, pondera que a contaminação físico-química é menos prioritária em comparação com a contaminação biológica (Jimmy *et al.*, 2013), porém os efeitos danosos a saúde humana e animal são consideráveis.

Metais tóxicos como o arsênio, crômio e o mercúrio representam riscos para as águas (Arcega-Cabrera *et al.*, 2017). Ademais, como contaminação química na área do aquífero de

Bauru a vinhaça como fertilizante no cultivo da cana-de-açúcar e o curtimento mineral do couro, afetam a qualidade da água subterrânea (Uechi; Gabas; Lastoria, 2016).

A contaminação natural da água potável com arsênio (As) na Argentina e no sudeste da Ásia, afeta cerca de quatro milhões de pessoas, ocasionando lesões cutâneas, câncer, doenças cardiovasculares e neurotoxicidade (Lepori, 2015). O arsênio é considerado um contaminante geogênico das águas subterrâneas, bem como, efluentes lixiviados oriundos de processamento eletrônico de resíduos e fabricação de pesticidas que devem ser monitorados (Coletti, 2022; Shrivastava, 2016). Como proposta contra a contaminação por arsênio, poços tubulares profundos e sistemas de água encanada são as opções preferidas para lidar com a contaminação por arsênio em Bangladesh (Johnston *et al.*, 2014).

São outros exemplos: o flúor nas águas subterrâneas contribui para a fluorose dentária e esquelética no Malawi (Addison *et al.*, 2020), metabólitos do fosfato de dialquila (DAP), indicam insegurança hídrica devido à contaminação por pesticidas, presença de ^{131}I em rios (contaminação radioativa) e substâncias estrogênicas em ambientes aquáticos (Mosos-Patiño *et al.*, 2021; Verbinnen; Nunes; Vieira, 2010; Molomo *et al.*, 2021). Em seguimento, a baixa alcalinidade, baixo pH e altas concentrações de sulfato e cloreto aumentam a corrosividade da água e o risco de corrosão da tubulação, onerando os sistemas de distribuição (García-Ávila; Ramos-Fernández; Zhindón-Arévalo, 2018).

Contaminação biológica

A qualidade da água não deve ser monitorada somente em surtos de diarreia (Capuno; Tan Jr; Fabella, 2015), intervir sobre o hábito de defecação a céu aberto, despejo de esgoto bruto em fontes de água mitiga a disseminação de vírus entéricos (Deepthi *et al.*, 2013), algo necessário como prevenção. As doenças relativas ao conceito são disenteria, cólera e salmonelose, devido ao consumo de água contaminada com coliformes fecais, defecar na fonte principal de água está significativamente associado à ocorrência de surtos de diarreia aguda com sangue em comunidades (Njuguna *et al.*, 2016). Portanto, a presença de bactérias indicadoras fecais, como *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes é um método de monitoramento (Genter; Willetts; Foster, 2021).

Identificou-se contaminação *Escherichia coli* e coliformes totais em amostras de água potável em áreas da Colômbia, Brasil, Perú (com resistência a antibiótico), Índia, México, Burkina Faso, África do Sul, Bangladesh, Etiópia, Mianmar (Ko; Sakai, 2022; Amenu *et al.*, 2014; Islam *et al.*, 2020; Kapwata *et al.*, 2018; Erismann *et al.*, 2016; Antony; Renuga, 2012;

Galezso; Rodríguez Susa, 2021; Hartinger *et al.*, 2021; Heitzinger *et al.*, 2015; Gallotti; Machado Júnior; Gaspar, 2020), ou mesmo, *Escherichia coli* em fontes de água cinza no Malawi (Newcomer *et al.*, 2017).

Frequentemente estas cargas de microorganismos estão em poços cavados à mão (McBenedict *et al.*, 2019), ademais a lixiviação de resíduos fecais para mananciais nas estações chuvosas piora a situação, bem como a permanência de animais como gado perto da fonte (Burgos *et al.*, 2017; Daniel *et al.*, 2020).

O consumo de água não segura pode ocasionar infecção por Vírus de Hepatite E e Hepatite A, esta exposição começa desde o preparo dos alimentos (Tritz *et al.*, 2018; Martínez *et al.*, 2021; Van Effelterre *et al.*, 2017). Outros contaminantes foram verificados: algas como *Microcystis* no Camboja rural (Matteson *et al.*, 2016); giardíase na Malásia, com especial foco na transmissão por conta do hábito humano de tomar banho em rios usados como fonte de água potável (Anuar *et al.*, 2012; Schriewer *et al.*, 2015); *Salmonella*, *Cryptosporidium* e *Giardia duodenalis* e levando a infecções parasitárias como a esquistossomose e outras helmintoses (Yasin; Ketema; Bacha, 2015; Elyana *et al.*, 2016; Okech; Mwandawiro, 2011; Daniels *et al.*, 2018).

Gênero feminino e insegurança hídrica

Aventa-se que as mulheres em países subdesenvolvidos ou áreas rurais são as gestoras da água, tendo maior esforço e comprometimento físico na gestão da mesma. Tarefas femininas em países tradicionalistas como lavar, ensopar ou ferver os alimentos, são comprometidos (Brewis, 2020). Assim, infere-se que mulheres passam até quatro horas diárias a buscar água, limitando a produtividade e perpetuando os papéis tradicionais de gênero (Dodson; Bargach, 2015), estas são desproporcionalmente afetadas, gastando tempo e energia significativos na coleta de água (Badimo; Mogomotsi; Mogomotsi, 2021; Crider, 2021; Dosu, 2021; Anderson, 2016).

Estas mulheres experimentam alterações de normas de suas vidas, desigualdades de gênero, decréscimo de empoderamento, risco de violência no trajeto para apanhar água e carga de trabalho relativas a buscar a água e ao cuidado do agregado familiar (Hanrahan; Mercer, 2019; Cassivi *et al.*, 2020). A insegurança hídrica tem sido associada ao aumento do sofrimento emocional e à menor qualidade de vida ao carregar água, para mulheres na África Subsaariana, com risco de assédio sexual e violência ao acessar fontes (Tomberge *et al.*, 2021; Libey, 2022).

Aspectos políticos da insegurança hídrica

Aspectos políticos incluem a falta de coordenação entre os municípios para a gestão intermunicipal da água, que quando influenciado pelo modo de produção capitalista associa a disponibilidade da água a privatização, desmatamento e domínio de conglomerados. Com relação a coordenadoria de recursos hídricos a falta de orçamento e planejamento nas metrópoles de países subdesenvolvidos para tratar da água e ainda, contornar sua escassez, ampliam mais os aspectos políticos desfavoráveis (Trochez; Bermúdez, 2022; Gómez, 2022).

A ampliação de serviços laboratoriais para analisar amostras de água e existência de uma base de dados consolidada sobre a qualidade destas (Holm; Kunkel; Nyirenda, 2018) devem ser focos de iniciativas para melhoria do agravado quadro de países subdesenvolvidos, bem como, promover o *benchmarking* dos sistemas de abastecimento (Bezerra; Pertel; Macêdo, 2019). O gerenciamento de fontes significou um aumento de 38% no descarte das latrinas em uma análise de cerca de 42 países (Mugel; Clasen; Bauza, 2022), tais esforços de conservação são defendidos por meio de Medidas legais (decretos e regulamentações) com base nos direitos humanos (Molina, 2021).

Proposições para mitigar a insegurança hídrica

Ainda há necessidade de sistematização e síntese dos marcos legais e institucionais sobre segurança e insegurança hídrica (Souza *et al.*, 2017), contudo, diversas proposições envolvendo filtragem, monitoramento, políticas públicas e educação foram perscrutadas como segue abaixo.

Em experiência de comunidades rurais berberes no Marrocos, a água de neblina recolhida é baixa em contaminantes e minerais em comparação com a água de poço local (Dodson; Bargach, 2015), outra experiência aponta que comunidades rurais da Nigéria vivenciam as técnicas de Mycofiltration que têm sido eficazes na redução de metais pesados e cargas microbianas (Olorunfemi; Efechuku; Esuana, 2015). Analisar o Índice de Risco de Doenças (DRI) para minimizar a recontaminação da água é crucial (Trevett; Carter, 2008), agilizar a reforma agrária sustentável, pois ela aumentaria a capacidade de adaptação das comunidades rurais às mudanças climáticas (Nhamo *et al.*, 2022) ou o uso de extratos vegetais como pitahaya (*Hylocereus triangularis*), guasimo (*Guazuma ulmifolia*) e cactus nopal (*Opuntia ficus-indica*) que ostentam potencial na diminuição de turbidez, cor, cloretos e nitritos (Lans-Ceballos *et al.*, 2021).

A qualidade físico-química da água é crucial sobretudo em poços profundos o que exige análise periódica (Afonso; Assunção Fernandes; Moreira, 2022), assim os métodos de desinfecção doméstica são cruciais devido ao acesso limitado à água tratada (Jesus *et al.*, 2023), mas considera-se o risco de recontaminação, pois o transporte após a ebulição e a cloração da água não garante a não contaminação (Loyola *et al.*, 2020). Destaca-se a desinfecção solar da água (SODIS) como uma técnica aprovada pela Organização Mundial de Saúde que utiliza radiação solar para reduzir a carga microbiana da água (Pichel *et al.*, 2020), tal qual em comunidades ribeirinhas implantou-se o sistema SODIS para abastecimento de água e apesar do impacto positivo (custo-benefício), para melhora da qualidade da água produzida pela tecnologia SODIS, tratamentos adicionais podem ser usados, como fervura e filtragem (Lobo *et al.*, 2013).

Intervenções de segurança da água baseadas no risco são desejáveis (Bänziger *et al.*, 2022), para tanto dispositivos inovadores como sondas, sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto, para o monitoramento preciso das cianobactérias (que apresentam alto ônus) são necessários nestes países (Mitroi *et al.*, 2020; Ferreira *et al.*, 2022).

A investigação em 58 países, centrou-se na avaliação da atual necessidade de gestão de lamas fecais (FSM) em países de baixo e médio rendimento, salientando que as famílias menos favorecidas economicamente são 170 vezes mais propensas a necessitar de FSM em comparação com as famílias mais ricas (Berendes; Sumner; Brown, 2017).

Desinfecção tradicional e comportamentos de tratamento da água como ferver, clorar e filtrar a água em casa já evitam a níveis aceitáveis a contaminação após a coleta (Sakisaka *et al.*, 2015; Boisson *et al.*, 2013). Outrora, enfatiza-se que ao construir poços em comunidades tem-se em conta que poços com bomba de corda tiveram uma redução de 64,1% na contaminação em comparação com poços simples (Weiss *et al.*, 2016).

Diminuem, portanto, a insegurança: a redução no consumo de água e no tratamento de águas residuais (Varón-Hoyos; Restrepo-Victoria; Guerrero-Erazo, 2019), a fervura com chaleiras elétricas reduz coliformes termotolerantes, seguida pela fervura com panelas e pelo uso de água engarrafada (Cohen *et al.*, 2020), reutilização de águas cinzas (Saxena *et al.*, 2022), intervenções como a instalação de água potável canalizada (como Em Cuatro Santos) (Pérez *et al.*, 2012), ademais a resiliência climática poderá ser obtida através da coleta da água da chuva adstrita ao treinamento e educação para tal (Chan *et al.*, 2020).

Já são reconhecidos a falta de monitorização contínua da funcionalidade da infraestrutura, qualidade da água e acessibilidade (Díaz-Alcaide *et al.*, 2021), ou mesmo falta

de métodos para tanto. Existem desafios na aplicação dos Planos de Segurança Hídrica (WSPs) com identificação de riscos (Barrington; Fuller; Mcmillan, 2013), os modelos de Análise do Fator de Capacidade (CFA) preconizam avaliações comunitárias, tecnologia e uma política que priorize serviços municipais de saneamento (Henriques; Louis, 2011), proteção de fontes e inspeções da mesma (Tosi Robinson *et al.*, 2018).

A construção de instalações de Água, Saneamento e Higiene melhoradas contribuiria para reduzir doenças diarreicas em locais como escolas (Cronk *et al.*, 2021; Roche; Bain; Cumming, 2017), aprimorando a avaliação dos comportamentos, recursos de manutenção da infraestrutura e preferências da comunidade quanto ao manejo da água (Jones *et al.*, 2013).

Considerações finais

Esta revisão atingiu o mapeamento de aspectos chave do conceito de Insegurança Hídrica. Das 151 publicações apuradas desvelou-se a gama de riscos que propiciam a contaminação da água ou mesmo marcadores que vulnerabilizam comunidades tradicionais, remotas e países subdesenvolvidos. Tais elementos são atravessados tanto por contextos microssociais comportamentais e educacionais, quanto macrossociais devido a falta de investimentos e infraestrutura estatais, ou ainda devido a desenfreada degradação ambiental que cercam tais mananciais de água potável.

Os reflexos da Insegurança Hídrica ocasionam mortalidade infantil em áreas remotas rurais, e disparidades em relação ao gênero em países subdesenvolvidos nos quais mulheres são coletoras de água. Há a contaminação química por arsênio, flúor nas águas subterrâneas, metabólitos do fosfato de dialquila (DAP), ^{131}I , substâncias estrogênicas e altas concentrações de sulfato e cloreto; bom como contaminação biológica, proveniente de mau uso de mananciais de água potável, falta de acesso e meios para higiene pessoal e comunitária deficitários.

Para remediar isso, são urgentes atitudes de gestores e políticas de Estado com coordenação interníveis alinhavadas com os ODS, garantindo a sustentabilidade dos recursos e afastamento do intento privatistas de recursos hídricos que são um direito universal, conclama-se, portanto, que a comunidade eleja os gestores locais da água que defendam seus interesses.

Por fim, não é conveniente encerrar a revisão sem indicar uma agenda de pesquisa que visibilize mais as comunidades quilombolas e indígenas quando a este conceito de Insegurança Hídrica. Reforçam-se que caminhos possíveis indicam a construção de modelos práticos de resiliência e resistência ante a carestia de recursos hídricos em tais localidades, têm sido engendrados: recolha de água de neblina, microfiltração, SODIS, FSM, monitoramento de

bactérias e incremento monitorização e infraestrutura em Planos de Segurança Hídrica que contemplem a Educação Ambiental com vistas a especificidade etocultural dos povos afetados.

REFERÊNCIAS

- ABEGAZ, M. T.; MIDEKSSA, M. J. Quality and safety of rural community drinking water sources in Guto Gida District, Oromia, Ethiopia. **Journal of Environmental and Public Health**, v. 2021, n. 1, p. 5568375, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/5568375>
- ABERILLA, J. M. *et al.* Environmental assessment of domestic water supply options for remote communities. **Water Research**, v. 175, p. 115687, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.115687>
- ADDISON, M. J. *et al.* Predicting groundwater vulnerability to geogenic fluoride risk: a screening method for Malawi and an opportunity for national policy redefinition. **Water**, v. 12, n. 11, p. 3123, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12113123>
- AFONSO, S. D. J.; DE ASSUNÇÃO FERNANDES, L.; MOREIRA, R. F. C. Qualidade físico-química e microbiológica de água potável na Província do Huambo (Angola): Água tratada do sistema de abastecimento público e água não tratada de fontes alternativas. **Revista Internacional em Língua Portuguesa**, v. 42, p. 47-59, 2022. <https://doi.org/10.31492/2184-2043.RILP2022.42/pp.47-59>
- AIKOWE, J. O.; MAZANCOVÁ, J. Barriers to water access in rural communities: examining the factors influencing water source choice. **Water**, v. 13, n. 19, p. 2755, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13192755>
- ALEMESHET ASEFA, Y. *et al.* Bacteriological quality of drinking water from source and point of use and associated factors among households in eastern Ethiopia. **PLoS One**, v. 16, n. 10, p. e0258806, 2021. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258806>
- AMBEL, A. A.; MUGERA, H. K.; BAIN, R. E. S. Accounting for drinking water quality in measuring multidimensional poverty in Ethiopia. **PloS one**, v. 15, n. 12, p. e0243921, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0243921>
- AMENU, K. *et al.* Microbial quality of water in rural households of Ethiopia: implications for milk safety and public health. **Journal of health, population, and nutrition**, v. 32, n. 2, p. 190, 2014.
- ANDERSON, K. A. **Concerns of Water Scarcity and Water Quality among two Andean Communities in Peru**. University of South Florida, 2016.
- ANTONY, R. M.; RENUGA, F. B. Microbiological analysis of drinking water quality of Ananthanar channel of Kanyakumari district, Tamil Nadu, India. **Revista Ambiente & Água**, v. 7, p. 42-48, 2012. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.881>
- ANUAR, T. S. *et al.* Giardiasis among different tribes of Orang Asli in Malaysia: highlighting the presence of other family members infected with *Giardia intestinalis* as a main risk factor. **International journal for parasitology**, v. 42, n. 9, p. 871-880, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.ijpara.2012.07.003>

- APRAKU, A. *et al.* Water security in rural Eastern Cape, SA: Interrogating the impacts of politics and climate change. **Scientific African**, v. 19, p. e01493, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01493>
- ARCEGA-CABRERA, F. *et al.* Water consumption as source of arsenic, chromium, and mercury in children living in rural Yucatan, Mexico: blood and urine levels. **Bulletin of environmental contamination and toxicology**, v. 99, p. 452-459, 2017. <https://doi.org/10.1007/s00128-017-2147-x>
- BADIMO, D.; MOGOMOTSI, P. K.; MOGOMOTSI, G. E. J. Participatory mapping of water collection by Sexaxa community in Okavango, Botswana. **Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C**, v. 124, p. 102963, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2020.102963>
- BÄNZIGER, C. *et al.* Assessing microbial water quality, users' perceptions and system functionality following a combined water safety intervention in rural Nepal. **Frontiers in Water**, v. 3, p. 750802, 2022. <https://doi.org/10.3389/frwa.2021.750802>
- BARRINGTON, D.; FULLER, K.; MCMILLAN, A. Water safety planning: adapting the existing approach to community-managed systems in rural Nepal. **Journal of water, sanitation and hygiene for development**, v. 3, n. 3, p. 392-401, 2013. <https://doi.org/10.2166/washdev.2013.120>
- BERENDES, D. M.; SUMNER, T. A.; BROWN, J. M. Safely managed sanitation for all means fecal sludge management for at least 1.8 billion people in low and middle income countries. **Environmental science & technology**, v. 51, n. 5, p. 3074-3083, 2017. <https://doi.org/10.1021/acs.est.6b06019>
- BEZERRA, S. de T. M.; PERTEL, M.; MACÊDO, J. E. S. de. Avaliação de desempenho dos sistemas de abastecimento de água do Agreste brasileiro. **Ambiente construído**, v. 19, n. 3, p. 249-258, 2019. <https://doi.org/10.1590/s1678-86212019000300336>
- BOISSON, S. *et al.* Effect of household-based drinking water chlorination on diarrhoea among children under five in Orissa, India: a double-blind randomised placebo-controlled trial. **PLoS medicine**, v. 10, n. 8, p. e1001497, 2013. <https://doi.org/10.1371/journal.pmed.1001497>
- BREWIS, A. *et al.* Household water insecurity is strongly associated with food insecurity: Evidence from 27 sites in low-and middle-income countries. **American journal of human biology**, v. 32, n. 1, p. e23309, 2020. <https://doi.org/10.1002/ajhb.23309>
- BROCKLISS, S. *et al.* Assessment of the 20L SODIS bucket household water treatment technology under field conditions in rural Malawi. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 240, p. 113913, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2021.113913>
- BRUNO BESANA, P.; FERNÁNDEZ BOUZO, S. ¿Agua que no has de beber? Acceso al agua potable e intermediarios en asentamientos informales del Conurbano Bonaerense (1983-2015). **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 29, n. 1, p. 152-170, 2020. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.72621>
- BURGOS, A. L. *et al.* Patrones espacio temporales de la condición microbiológica del agua de fuentes comunitarias y amenazas a la salud familiar en cuencas estacionales del Bajo Balsas (México). **Revista internacional de contaminación ambiental**, v. 33, n. 2, p. 199-213, 2017. <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.02>

CAPUNO, J. J.; TAN JR, C. A. R.; FABELLA, V. M. Do piped water and flush toilets prevent child diarrhea in rural Philippines?. **Asia Pacific Journal of Public Health**, v. 27, n. 2, p. NP2122-NP2132, 2015. <https://doi.org/10.1177/1010539511430996>

CASSIVI, A. *et al.* Trends in access to water and sanitation in Malawi: progress and inequalities (1992–2017). **Journal of water and health**, v. 18, n. 5, p. 785-797, 2020. <https://doi.org/10.2166/wh.2020.069>

CHAIDEZ, C. *et al.* Point-of-use unit based on gravity ultrafiltration removes waterborne gastrointestinal pathogens from untreated water sources in rural communities. **Wilderness & Environmental Medicine**, v. 27, n. 3, p. 379-385, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wem.2016.05.006>

CHAN, T. *et al.* Climate adaptation for rural water and sanitation systems in the Solomon Islands: A community scale systems model for decision support. **Science of the Total Environment**, v. 714, p. 136681, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.136681>

CHAPMAN, K. S. **Women and water: household water beliefs and behaviors among women in Gressier and Léogâne, Haiti**. University Of Florida. 2019.

COHEN, A. *et al.* Boiled or bottled: regional and seasonal exposures to drinking water contamination and household air pollution in rural China. **Environmental health perspectives**, v. 128, n. 12, p. 127002, 2020.

COLETTI, T. Ninguém diga “desta água não beberei”: produção agropecuária e contaminação hídrica no Oeste Catarinense, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 38, p. PT165421, 2022. <https://doi.org/10.1590/0102-311XPT165421>

COLLIVIGNARELLI, C. Water safety: one of the primary objectives of our time. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 1, p. 1-7, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1994>

COOPER-VINCE, C. E. *et al.* Water insecurity and gendered risk for depression in rural Uganda: a hotspot analysis. **BMC Public Health**, v. 18, p. 1-9, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12889-018-6043-z>

CORRÊA, R. F. M.; VENTURA, K. S. Plano de Segurança da Água: modelo conceitual para monitoramento de riscos à contaminação de água em comunidades rurais. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 26, n. 2, p. 369-379, 2021. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220190394>

CRIDER, Y. S. **Pathways for progress toward universal access to safe drinking water**. University of California, Berkeley, 2021.

CRONK, R. *et al.* Factors associated with water quality, sanitation, and hygiene in rural schools in 14 low-and middle-income countries. **Science of the Total Environment**, v. 761, p. 144226, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144226>

CUNHA, L. H. Desigualdades nos padrões de acesso à água e limites da cidadania hídrica em comunidades rurais do semiárido. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, v. 55, 2020. <https://doi.org/10.5380/dma.v55i0.73371>

DANIEL, D. *et al.* Assessing drinking water quality at the point of collection and within household storage containers in the hilly rural areas of mid and far-western Nepal. **International journal of environmental research and public health**, v. 17, n. 7, p. 2172, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijerph17072172>

DANIELS, M. E.; SMITH, W. A.; JENKINS, M. W. Estimating Cryptosporidium and Giardia disease burdens for children drinking untreated groundwater in a rural population in India. **PLoS neglected tropical diseases**, v. 12, n. 1, p. e0006231, 2018. <https://doi.org/10.1371/journal.pntd.0006231>

DEEPTHI, R. *et al.* Cholera outbreak in a village in south India—Timely action saved lives. **Journal of infection and public health**, v. 6, n. 1, p. 35-40, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2012.05.003>

DIAS, E. M. S.; PESSOA, Z. S.; TEIXEIRA, R. L. P. Governança adaptativa e segurança hídrica em contexto de mudanças climáticas no semiárido. **Mercator (Fortaleza)**, v. 21, p. e21025, 2022. <https://doi.org/10.4215/rm2022.e21025>

DÍAZ-ALCAIDE, S. *et al.* Mapping ground water access in two rural communes of Burkina Faso. **Water**, v. 13, n. 10, p. 1356, 2021. <https://doi.org/10.3390/w13101356>

DODSON, L. L.; BARGACH, J. Harvesting fresh water from fog in rural Morocco: research and impact Dar Si Hmad's Fogwater Project in Aït Baamrane. **Procedia Engineering**, v. 107, p. 186-193, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.06.073>

DOSU, B. **Drinking water security in rural Ghana: the implications of community experiences for policy**. University of Lethbridge (Canada), 2021.

DOSU, B.; HANRAHAN, M. Barriers to drinking water security in Rural Ghana: The vulnerability of people with disabilities. **Water Alternatives**, v. 14, n. 2, p. 453-468, 2021.

DUCHANOIS, R. M. *et al.* Factors associated with water service continuity for the rural populations of Bangladesh, Pakistan, Ethiopia, and Mozambique. **Environmental science & technology**, v. 53, n. 8, p. 4355-4363, 2019. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b07173>

ELFADALY, H. A. *et al.* Evaluation of primitive ground water supplies as a risk factor for the development of major waterborne zoonosis in Egyptian children living in rural areas. **Journal of infection and public health**, v. 11, n. 2, p. 203-208, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jiph.2017.07.025>

ELYANA, F. N. *et al.* A tale of two communities: intestinal polyparasitism among Orang Asli and Malay communities in rural Terengganu, Malaysia. **Parasites & vectors**, v. 9, p. 1-17, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1678-z>

ERISMANN, S. *et al.* Prevalence of intestinal parasitic infections and associated risk factors among schoolchildren in the Plateau Central and Centre-Ouest regions of Burkina Faso. **Parasites & vectors**, v. 9, p. 1-14, 2016. <https://doi.org/10.1186/s13071-016-1835-4>

EZEUDU, O. B. *et al.* Coping Strategies, Cultural Practices and Policy Implications on Domestic Water Supply in an Erosion Susceptible Rural Community, Nigeria. **Resources**, v. 11, n. 8, p. 77, 2022. <https://doi.org/10.3390/resources11080077>

FAGBAMIGBE, A. F.; ADENIJI, F. I. P.; MORAKINYO, O. M. Factors contributing to household wealth inequality in under-five deaths in low-and middle-income countries: decomposition analysis. **BMC Public Health**, v. 22, n. 1, p. 769, 2022. <https://doi.org/10.1186/s12889-022-12988-2>

FELD, S. I. **Multidisciplinary approach to address water scarcity in informal settlements in Lima, Peru: Fog water collection, the fog resource and the health context**. 2014. Tese de Doutorado.

FERREIRA, S. *et al.* A decision support tool to place drinking water sources in rural communities. **Science of The Total Environment**, v. 833, p. 155069, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155069>

FIORE, M. M.; MINNINGTS, K.; FIORE, L. D. Assessment of biosand filter performance in rural communities in southern coastal Nicaragua: an evaluation of 199 households. **Rural and Remote Health**, v. 10, n. 3, p. 1-8, 2010.

FOSTER, T. *et al.* Self-supplied drinking water in low-and middle-income countries in the Asia-Pacific. **NPJ Clean Water**, v. 4, n. 1, p. 37, 2021. <https://doi.org/10.1038/s41545-021-00121-6>

FOSTER, T.; WILLETTS, J.; KOTRA, K. K. Faecal contamination of groundwater in rural Vanuatu: prevalence and predictors. **Journal of water and health**, v. 17, n. 5, p. 737-748, 2019. <https://doi.org/10.2166/wh.2019.016>

GALEZZO, M.; RODRÍGUEZ SUSANA, M. The challenges of monitoring and controlling drinking-water quality in dispersed rural areas: a case study based on two settlements in the Colombian Caribbean. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 193, n. 6, p. 373, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10661-021-09138-3>

GALLOTTI, A. M.; MACHADO JÚNIOR, H. F.; GASPAR, A. Evaluation of water quality and sanitation of reservoirs used in field activities of a military unit in the state of Rio de Janeiro. **Revista Ambiente & Água**, v. 15, p. e2573, 2020. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2573>

GARCÍA-ÁVILA, F.; RAMOS-FERNÁNDEZ, L.; ZHINDÓN-ARÉVALO, C. Estimation of corrosive and scaling trend in drinking water systems in the city of Azogues, Ecuador. **Revista Ambiente & Água**, v. 13, p. e2237, 2018. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2237>

GENTER, F.; WILLETTS, J.; FOSTER, T. Faecal contamination of groundwater self-supply in low-and middle income countries: Systematic review and meta-analysis. **Water Research**, v. 201, p. 117350, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2021.117350>

GETACHEW, A. *et al.* Level of faecal coliform contamination of drinking water sources and its associated risk factors in rural settings of north Gondar Zone, Ethiopia: a cross-sectional community based study. **Ethiopian journal of health sciences**, v. 28, n. 2, p. 227-234, 2018. <https://doi.org/10.4314/ejhs.v28i2.14>

GIZAW, Z. *et al.* Childhood intestinal parasitic infection and sanitation predictors in rural Dembiya, northwest Ethiopia. **Environmental health and preventive medicine**, v. 23, p. 1-10, 2018. <https://doi.org/10.1186/s12199-018-0714-3>

GÓMEZ, É. P. C. El agua potable en la agenda pública de las instancias metropolitanas en Guadalajara. **Revista Ciudades, Estados y Política**, v. 9, n. 1, p. 15-34, 2022.

GOMEZ, M.; PERDIGUERO, J.; SANZ, A. Socioeconomic factors affecting water access in rural areas of low- and middle-income countries. **Water**, v. 11, n. 2, p. 202, 2019. <https://doi.org/10.3390/w11020202>

GOODMAN, M. L. *et al.* Water insecurity, food insecurity and social capital associated with a group-led microfinance programme in semi-rural Kenya. **Global public health**, v. 17, n. 12, p. 3399-3411, 2022. <https://doi.org/10.1080/17441692.2022.2095656>

HANRAHAN, M.; MERCER, N. Gender and water insecurity in a subarctic Indigenous community. **The Canadian Geographer/Le Géographe Canadien**, v. 63, n. 2, p. 211-224, 2019. <https://doi.org/10.1111/cag.12508>

HARTINGER, S. M. *et al.* Antimicrobial resistance in humans, animals, water and household environs in rural andean peru: Exploring dissemination pathways through the one health lens. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 9, p. 4604, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18094604>

HEITZINGER, K. *et al.* “Improved” but not necessarily safe: an assessment of fecal contamination of household drinking water in rural Peru. **The American journal of tropical medicine and hygiene**, v. 93, n. 3, p. 501, 2015. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.14-0802>

HENRIQUES, J. J.; LOUIS, G. E. A decision model for selecting sustainable drinking water supply and greywater reuse systems for developing communities with a case study in Cimahi, Indonesia. **Journal of environmental management**, v. 92, n. 1, p. 214-222, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.016>

HOLM, R. H.; KUNKEL, G.; NYIRENDA, L. A thought leadership piece: where are the rural groundwater quality data for the assessment of health risks in northern Malawi?. **Groundwater for Sustainable Development**, v. 7, p. 157-163, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.gsd.2018.05.004>

IJIMA, Y. *et al.* Prevention of bacterial diarrhea by pasteurization of drinking water in Kenya. **Microbiology and immunology**, v. 45, n. 6, p. 413-416, 2001. <https://doi.org/10.1111/j.1348-0421.2001.tb02639.x>

ISLAM, Mahfuza *et al.* Child defecation and feces management practices in rural Bangladesh: Associations with fecal contamination, observed hand cleanliness and child diarrhea. **PloS one**, v. 15, n. 7, p. e0236163, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0236163>

JENSEN, P. K. *et al.* Domestic transmission routes of pathogens: The problem of in-house contamination of drinking water during storage in developing countries. **Tropical Medicine & International Health**, v. 7, n. 7, p. 604-609, 2002. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3156.2002.00901.x>

JESUS, A. C.; MARGRAF, A. F.; RAZABONI JUNIOR, R. B. Sustentabilidade ambiental e a escassez da água potável. **Revista do CNMP**, n. 7, p. 82-94, 2018. <https://doi.org/10.36662/revistadocnmp.i7.103>

JESUS, F. O. de *et al.* Eficácia das medidas domiciliares de desinfecção da água para consumo humano: enfoque para o contexto de Santarém, Pará, Brasil. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 39, p. e00205322, 2023. <https://doi.org/10.1590/0102-311XPT205322>

JIMMY, D. H. *et al.* Water quality associated public health risk in Bo, Sierra Leone. **Environmental monitoring and assessment**, v. 185, p. 241-251, 2013. <https://doi.org/10.1007/s10661-012-2548-6>

JOHNSTON, R. *et al.* Enhancing arsenic mitigation in Bangladesh: Findings from institutional, psychological, and technical investigations. **Science of the Total Environment**, v. 488, p. 477-483, 2014. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.11.143>

JONES, S. A. *et al.* Collecting critical data to assess the sustainability of rural infrastructure in low-income countries. **Sustainability**, v. 5, n. 11, p. 4870-4888, 2013. <https://doi.org/10.3390/su5114870>

KAPWATA, T. *et al.* Diarrhoeal disease in relation to possible household risk factors in South African villages. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 8, p. 1665, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081665>

KASSIM, K. *et al.* Prevalence of active trachoma and associated risk factors among children of the pastoralist population in Madda Walabu rural district, Southeast Ethiopia: a community-based cross-sectional study. **BMC infectious diseases**, v. 19, p. 1-7, 2019. <https://doi.org/10.1186/s12879-019-3992-5>

KAYEMBE, J. M. *et al.* High levels of faecal contamination in drinking groundwater and recreational water due to poor sanitation, in the sub-rural neighbourhoods of Kinshasa, Democratic Republic of the Congo. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 221, n. 3, p. 400-408, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2018.01.003>

KO, S. H.; SAKAI, H. Water sanitation, hygiene and the prevalence of diarrhea in the rural areas of the delta region of Myanmar. **Journal of Water and Health**, v. 20, n. 1, p. 149-156, 2022. <https://doi.org/10.2166/wh.2021.192>

LANS-CEBALLOS, E. *et al.* Improvement to quality of surface waters from rural communities: vegetable extracts as a sustainable and cheap alternative. **Environment, Development and Sustainability**, v. 23, p. 2062-2070, 2021. <https://doi.org/10.1007/s10668-020-00663-8>

LEPORI, E. C. V. Hidro-arsenicismo crônico regional endêmico na Argentina. **Acta bioquím. clín. latinoam.** La Plata, v. 49, n. 1, 2015.

LIBEY, A. K. **The Worth of Water: Evaluating Interventions to Achieve Financially and Operationally Sustainable Urban and Rural Water Systems in Low-Income Settings.** 2022. Tese de Doutorado. University of Colorado at Boulder.

LOBO, M. A. A. *et al.* Avaliação econômica de tecnologias sociais aplicadas à promoção de saúde: abastecimento de água por sistema Sodis em comunidades ribeirinhas da Amazônia. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 18, p. 2119-2127, 2013. <https://doi.org/10.1590/S1413-81232013000700027>

LOYOLA, S. *et al.* Fecal contamination of drinking water was associated with diarrheal pathogen carriage among children younger than 5 years in three Peruvian rural communities. **The American Journal of Tropical Medicine and Hygiene**, v. 102, n. 6, p. 1279, 2020. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.19-0337>

MAJURU, B.; JAGALS, P.; HUNTER, P. R. Assessing rural small community water supply in Limpopo, South Africa: Water service benchmarks and reliability. **Science of the Total Environment**, v. 435, p. 479-486, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.07.024>

MALIK, A. *et al.* Water-borne diseases, cost of illness and willingness to pay for diseases interventions in rural communities of developing countries. **Iranian journal of public health**, v. 41, n. 6, p. 39, 2012.

MARTÍNEZ, A. P. *et al.* Prevalence of hepatitis E virus in children from Northeast of Argentina. **Journal of Medical Virology**, v. 93, n. 6, p. 4015-4017, 2021. <https://doi.org/10.1002/jmv.26274>

MATTESON, A. R. *et al.* Fecal contamination and Microcystis in drinking-water sources of rural Cambodia using PCR and culture-based methods. **Journal of Water, Sanitation and**

Hygiene for Development, v. 6, n. 3, p. 353-361, 2016. <https://doi.org/10.2166/washdev.2016.136>

MCBEAN, E. A.; RAJIB, M. A.; RAHMAN, M. M. Improved sustainability of water supply options in areas with arsenic-impacted groundwater. **Water**, v. 5, n. 4, p. 1941-1951, 2013. <https://doi.org/10.3390/w5041941>

MCBENEDICT, B. *et al.* Seasonal Health Risks Due to Zoonotic Pathogens from Hand-dug Well Water in Ohangwena and Omusati Regions of Namibia. **J. Pure Appl. Microbiol**, v. 13, p. 1583-1593, 2019. <https://doi.org/10.22207/JPAM.13.3.31>

MENDONÇA, M. H. M. *et al.* Análise bacteriológica da água de consumo comercializada por caminhões-pipa. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 3, p. 468-475, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1934>

MITROI, V. *et al.* Can participatory approaches strengthen the monitoring of cyanobacterial blooms in developing countries? Results from a pilot study conducted in the Lagoon Aghien (Ivory Coast). **PLoS One**, v. 15, n. 9, p. e0238832, 2020. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0238832>

MOLINA, J. S. E. Medidas regulatorias en agua potable y saneamiento, expedidas por el Gobierno colombiano en el marco de la emergencia económica, social y ecológica, con ocasión de la pandemia de COVID-19. **Prolegómenos**, v. 24, n. 47, p. 99-116, 2021. <https://doi.org/10.18359/prole.5107>

MOLOMO, R. N. *et al.* Relation between organophosphate pesticide metabolite concentrations with pesticide exposures, socio-economic factors and lifestyles: A cross-sectional study among school boys in the rural Western Cape, South Africa. **Environmental Pollution**, v. 275, p. 116660, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2021.116660>

MORAES, M. S. de *et al.* Avaliação microbiológica de fontes de água de escolas públicas e privadas da cidade de Santa Rita (PB). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 23, p. 431-435, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018159099>

MOSOS-PATÍÑO, F. *et al.* Determinación de la concentración de actividad de ¹³¹I en la cuenca media del río Bogotá. **Revista Logos Ciencia & Tecnología**, v. 13, n. 3, p. 20-29, 2021. <https://doi.org/10.22335/rict.v13i3.1466>

MUGEL, S. G.; CLASEN, T. F.; BAUZA, V. Global practices, geographic variation, and determinants of child feces disposal in 42 low-and middle-income countries: An analysis of standardized cross-sectional national surveys from 2016–2020. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 245, p. 114024, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2022.114024>

NAYEBARE, S. R. *et al.* A review of potable water accessibility and sustainability issues in developing countries—case study of Uganda. **Reviews on environmental health**, v. 29, n. 4, p. 363-378, 2014. <https://doi.org/10.1515/reveh-2013-0019>

NEWCOMER, E. *et al.* Reducing the burden of rural water supply through greywater reuse: a case study from northern Malawi. **Water Science and Technology: Water Supply**, v. 17, n. 4, p. 1088-1096, 2017. <https://doi.org/10.2166/ws.2017.004>

NGUYEN, K. H. *et al.* Seasonality of drinking water sources and the impact of drinking water source on enteric infections among children in Limpopo, South Africa. **International journal**

of hygiene and environmental health, v. 231, p. 113640, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113640>

NHAMO, L. *et al.* Securing land and water for food production through sustainable land reform: a nexus planning perspective. **Land**, v. 11, n. 7, p. 974, 2022. <https://doi.org/10.3390/land11070974>

NJUGUNA, C. *et al.* Enteric pathogens and factors associated with acute bloody diarrhoea, Kenya. **BMC infectious diseases**, v. 16, p. 1-10, 2016. <https://doi.org/10.1186/s12879-016-1814-6>

NOUNKEU, C. D. *et al.* Development of water insecurity scale for rural households in Cameroon-Central Africa. **Global Health Action**, v. 14, n. 1, p. 1927328, 2021. <https://doi.org/10.1080/16549716.2021.1927328>

NOUNKEU, C. D. **Development and validation of an experience-based scale to measure water insecurity at the household level**. The University of North Carolina at Greensboro, 2020.

NOVOTNÝ, J.; HASMAN, J.; LEPIČ, M. Contextual factors and motivations affecting rural community sanitation in low-and middle-income countries: a systematic review. **International journal of hygiene and environmental health**, v. 221, n. 2, p. 121-133, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2017.10.018>

NUÑO, N. *et al.* Effectiveness of a home-environmental intervention package and an early child development intervention on child health and development in high-altitude rural communities in the Peruvian Andes: a cluster-randomised controlled trial. **Infectious Diseases of Poverty**, v. 11, n. 1, p. 66, 2022. <https://doi.org/10.1186/s40249-022-00985-x>

OKECH, B. A.; MWANDAWIRO, C. S. **Malaria, Bilharzia and Geo-Helminth Transmission in Kenya: Environmental Determinants**. p. 568-576, 2011.

OJEDA OLIVARES, E. A. *et al.* A simple method to evaluate groundwater vulnerability in urbanizing agricultural regions. **Journal of Environmental Management**, v. 261, p. 110164, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110164>

OLIVEIRA, C. M. Sustainable access to safe drinking water: fundamental human right in the international and national scene. **Revista Ambiente & Água**, v. 12, n. 6, p. 985-1000, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2037>

OLORUNFEMI, D.; EFECHUKU, U.; ESUANA, J. Toxicological evaluation of drinking water sources in some rural communities in southern nigeria after mycofiltration treatment. **Polish journal of environmental studies**, v. 24, n. 3, p. 1205-1212, 2015. <https://doi.org/10.15244/pjoes/34672>

ONU Brasil. Nações Unidas Brasil. **Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. 2025. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 30 Ago. 2025.

OPARE, Service. Rainwater harvesting: an option for sustainable rural water supply in Ghana. **GeoJournal**, v. 77, p. 695-705, 2012. <https://doi.org/10.1007/s10708-011-9418-6>

PAGE, M. J. *et al.* The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **BMJ**, v. 372, 2021. <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>

- PANDIT, A. B.; KUMAR, J. K. Clean water for developing countries. **Annual review of chemical and biomolecular engineering**, v. 6, n. 1, p. 217-246, 2015. <https://doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-061114-123432>
- PECHULA, L. C. *et al.* Análise do acesso à água potável em comunidades tradicionais. In: **1º Congresso sobre Ambiente, Tecnologia e Educação**. 2018.
- PEREIRA, G. R.; CUELLAR, M. D. Z. Conflitos pela água em tempos de seca no Baixo Jaguaribe, Estado do Ceará. **Estudos avançados**, v. 29, n. 84, p. 115-137, 2015.
- PERES, M. R. *et al.* Potential microbial transmission pathways in rural communities using multiple alternative water sources in semi-arid Brazil. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 224, p. 113431, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.113431>
- PÉREZ, W. *et al.* Progress towards millennium development goal 1 in northern rural Nicaragua: Findings from a health and demographic surveillance site. **International journal for equity in health**, v. 11, p. 1-9, 2012. <https://doi.org/10.1186/1475-9276-11-43>
- PEREZ-PINEDA, F.; QUINTANILLA-ARMIJO, C. Estimating willingness-to-pay and financial feasibility in small water projects in El Salvador. **Journal of Business Research**, v. 66, n. 10, p. 1750-1758, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.jbusres.2013.01.014>
- PETERS, M. D. J.; GODFREY, C.; MCINERNEY, P.; MUNN, Z.; TRICCO, A. C.; KHALIL, H. **CHAPTER 11: Scoping Reviews (2020 version)**. In: Aromataris E, Munn Z (Editors). JBI Manual for Evidence Synthesis, JBI, 2020. Available from <https://synthesismanual.jbi.global>. <https://doi.org/10.46658/JBIMES-20-12>
- PICHEL, N. *et al.* Study of a hybrid photovoltaic-photochemical technology for meeting the needs of safe drinking water and electricity in developing countries: First field trial in rural Mexico. **Journal of Water Process Engineering**, v. 33, p. 101056, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.101056>
- POLIMENI, J. M. *et al.* Assessment of macro-level socioeconomic factors that impact waterborne diseases: the case of Jordan. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 13, n. 12, p. 1181, 2016. <https://doi.org/10.3390/ijerph13121181>
- QUINTSLR, S. As “duas faces” da crise hídrica: escassez e despolitização do acesso À água na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. **Sustainability in Debate**, v. 9, n. 2, p. 88-101, 2018. <https://doi.org/10.18472/SustDeb.v9n2.2018.26702>
- ROCHA, R.; SOARES, R. R. Water scarcity and birth outcomes in the Brazilian semiarid. **Journal of Development Economics**, v. 112, p. 72-91, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2014.10.003>
- ROCHE, R.; BAIN, R.; CUMMING, O. A long way to go—Estimates of combined water, sanitation and hygiene coverage for 25 sub-Saharan African countries. **PloS one**, v. 12, n. 2, p. e0171783, 2017. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171783>
- RODRIGUEZ, C. I. *et al.* Gestión del agua subterránea en el Barrio Cerro Los Leones de Tandil (Argentina). **Ciencia, docencia y tecnología**, n. 41, p. 193-216, 2010.
- ROSINGER, A.; TANNER, S. Water from fruit or the river? Examining hydration strategies and gastrointestinal illness among Tsimane’adults in the Bolivian Amazon. **Public Health Nutrition**, v. 18, n. 6, p. 1098-1108, 2015. <https://doi.org/10.1017/S1368980014002158>

- RUIZ-DÍAZ, M. S. *et al.* Analysis of health indicators in two rural communities on the Colombian Caribbean coast: poor water supply and education level are associated with water-related diseases. **The American journal of tropical medicine and hygiene**, v. 97, n. 5, p. 1378, 2017. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.16-0305>
- SÁ PINHEIRO, A.; CORREA JÚNIOR, A. J. S.; COUTO, M. H. S. H. F. do. **Water insecurity and interfaces with illness in traditional rural communities: A scoping review**. Figshare, 14 fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22096478.v2>. Acesso em: 19 mar. 2025.
- SAKISAKA, K. *et al.* Introduction of a community water supply in rural western Kenya: impact on community wellbeing and child health. **International Health**, v. 7, n. 3, p. 204-211, 2015. <https://doi.org/10.1093/inthealth/ihv015>
- SALAMI, Y. D. Impacts of sustained public education and improvised source protection on sustainable water resources in the developing world. **International Journal of Sustainable Development and Planning**, v. 14, n. 3, p. 226-236, 2019. <https://doi.org/10.2495/SDP-V14-N3-226-236>
- SAXENA, S. *et al.* Bridging the rural–urban divide in sanitation with a cluster-based approach to faecal sludge management: a case study from Dhenkanal district in Odisha, India. **H2Open Journal**, v. 5, n. 4, p. 549-566, 2022. <https://doi.org/10.2166/h2oj.2022.054>
- SCHAETTI, C. *et al.* Social and cultural features of cholera and shigellosis in peri-urban and rural communities of Zanzibar. **BMC infectious diseases**, v. 10, p. 1-14, 2010. <https://doi.org/10.1186/1471-2334-10-339>
- SCHRIEWER, A. *et al.* Human and animal fecal contamination of community water sources, stored drinking water and hands in rural India measured with validated microbial source tracking assays. **The American journal of tropical medicine and hygiene**, v. 93, n. 3, p. 509, 2015. <https://doi.org/10.4269/ajtmh.14-0824>
- SHIELDS, K. F. *et al.* Association of supply type with fecal contamination of source water and household stored drinking water in developing countries: a bivariate meta-analysis. **Environmental health perspectives**, v. 123, n. 12, p. 1222-1231, 2015.
- SHRIVASTAVA, B. K. Policy intervention for arsenic mitigation in drinking water in rural habitations in India: achievements and challenges. **Journal of water and health**, v. 14, n. 5, p. 827-838, 2016. <https://doi.org/10.2166/wh.2016.014>
- SOUZA, E. G. de *et al.* Segurança hídrica do reservatório Castanhão-CE: aplicação da matriz de sistematização institucional. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 877-887, 2017. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017160289>
- STIGLER-GRANADOS, P. *et al.* Comparing health outcomes and point-of-use water quality in two rural indigenous communities of Baja California, Mexico before and after receiving new potable water infrastructure. **Journal of water, sanitation and hygiene for development**, v. 4, n. 4, p. 672-680, 2014. <https://doi.org/10.2166/washdev.2014.141>
- TANTOH, H. B.; MCKAY, T. J. M. Rural self-empowerment: The case of small water supply management in Northwest, Cameroon. **GeoJournal**, v. 85, n. 1, p. 159-171, 2020. <https://doi.org/10.1007/s10708-018-9952-6>

TANTOH, H. B.; SIMATELE, D. Community-based water resource management in Northwest Cameroon: the role of potable water supply in community development. **South African Geographical Journal**, v. 99, n. 2, p. 166-183, 2017.

THOMPSON, M. A critical review of water purification technology appropriate for developing countries: Northern Ghana as a case study. **Desalination and Water Treatment**, v. 54, n. 13, p. 3487-3493, 2015. <https://doi.org/10.1080/19443994.2014.922309>

TOBIÁS, M.; FERNÁNDEZ, L. La circulación del agua en Buenos Aires: resonancias geográficas y desigualdades socioespaciales en el acceso al servicio. **Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía**, v. 28, n. 2, p. 423-441, 2019. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v28n2.73528>

TOMBERGE, V. M. J. *et al.* The physical burden of water carrying and women's psychosocial well-being: Evidence from rural Nepal. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 18, n. 15, p. 7908, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijerph18157908>

TOSI ROBINSON, D. *et al.* Assessing the impact of a risk-based intervention on piped water quality in rural communities: The case of mid-western Nepal. **International journal of environmental research and public health**, v. 15, n. 8, p. 1616, 2018. <https://doi.org/10.3390/ijerph15081616>

TREVETT, A. F.; CARTER, R. C. Targeting appropriate interventions to minimize deterioration of drinking-water quality in developing countries. **Journal of health, population, and nutrition**, v. 26, n. 2, p. 125, 2008.

TRITZ, S. E. *et al.* Evidence of increased Hepatitis E virus exposure in Lao villagers with contact to ruminants. **Zoonoses and public health**, v. 65, n. 6, p. 690-701, 2018. <https://doi.org/10.1111/zph.12483>

TROCHEZ, F. V. B.; BERMÚDEZ, O. B. La gestión del agua potable como hecho metropolitano: el corredor metropolitano Cali-Yumbo (Colombia). **Finisterra**, v. 57, n. 119, p. 129-156, 2022. <https://doi.org/10.18055/Finis24705>

UECHI, D. A.; GABAS, S. G.; LASTORIA, G. Análise de metais pesados no Sistema Aquífero Bauru em Mato Grosso do Sul. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 22, n. 01, p. 155-167, 2016. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522016142430>

UPRETY, S. *et al.* Assessment of microbial risks by characterization of Escherichia coli presence to analyze the public health risks from poor water quality in Nepal. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 226, p. 113484, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2020.113484>

VAN EFFELTERRE, T. *et al.* Modeling the hepatitis A epidemiological transition in Brazil and Mexico. **Human Vaccines & Immunotherapeutics**, v. 13, n. 8, p. 1942-1951, 2017. <https://doi.org/10.1080/21645515.2017.1323158>

VARÓN-HOYOS, M.; RESTREPO-VICTORIA, Á.; GUERRERO-ERAZO, J. Agua potable para uso doméstico: análisis del ciclo de vida y de escenarios hipotéticos de manejo ambiental para la ciudad de Pereira, Colombia. **Revista Ingenierías Universidad de Medellín**, v. 18, n. 35, p. 13-31, 2019.

VENTURA, K. S.; VAZ, P.; NASCIMENTO, S. G. Plano de segurança da água implementado na estação de tratamento de água de Guaraú, em São Paulo. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 24, p. 109-119, 2019. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522019169881>

VERBINNEN, R. T.; NUNES, G. S.; VIEIRA, E. M. Determinação de hormônios estrógenos em água potável usando CLAE-DAD. **Química Nova**, v. 33, p. 1837-1842, 2010. <https://doi.org/10.1590/S0100-40422010000900003>

WEISS, P. *et al.* Well water quality in rural Nicaragua using a low-cost bacterial test and microbial source tracking. **Journal of water and health**, v. 14, n. 2, p. 199-207, 2016. <https://doi.org/10.2166/wh.2015.075>

YASIN, M.; KETEMA, T.; BACHA, K. Physico-chemical and bacteriological quality of drinking water of different sources, Jimma zone, Southwest Ethiopia. **BMC research notes**, v. 8, p. 1-13, 2015. <https://doi.org/10.1186/s13104-015-1376-5>

ZELEKE, G.; TESHOME, M.; AYELE, L. Farmers' livelihood vulnerability to climate-related risks in the North Wello Zone, northern Ethiopia. **Environmental and Sustainability Indicators**, v. 17, p. 100220, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2022.100220>

SANEAMENTO BÁSICO E A INCIDÊNCIA DE DOENÇAS: UMA ANÁLISE COMPARATIVA EM DUAS REGIÕES METROPOLITANAS DA AMAZÔNIA

BASIC SANITATION AND THE INCIDENCE OF DISEASES: A COMPARATIVE ANALYSIS IN TWO METROPOLITAN REGIONS OF THE AMAZON

Daniel Fernandes Rodrigues Barroso¹

Francisco Daniel Mota Lima²

Thais Cristina Flexa Souza Marcelino³

Resumo

Objetivo: comparar as condições de saneamento básico e a incidência de doenças relacionadas à falta de saneamento nas duas maiores aglomerações urbanas do Norte do Brasil: as Regiões Metropolitanas de Belém e de Manaus. A região amazônica é a mais carente do país em serviços básicos de saneamento, o que justifica a análise. **Método:** utilizou-se uma série temporal de 12 anos (2010-2021) do Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico, foram investigados cinco indicadores: população sem água tratada, sem coleta e tratamento de esgoto, razão entre esgoto tratado e água consumida, internações e óbitos por doenças associadas ao saneamento. **Resultados:** indicam que o crescimento urbano impacta diretamente os indicadores. **Conclusão:** Houve avanços graduais, sobretudo na RMB, embora Belém apresente baixa eficiência no tratamento de esgoto. Manaus mostrou maior eficiência em alguns anos. As internações e óbitos por doenças gastrointestinais diminuíram, reforçando a relação entre saneamento, saúde e a necessidade de políticas públicas.

Palavras-chaves: Meio Ambiente; Saúde ambiental; Poluição; Doenças de veiculação hídrica.

Abstract

Objective: compare basic sanitation conditions and the incidence of diseases related to poor sanitation in the two largest urban agglomerations in northern Brazil: the metropolitan regions of Belém and Manaus. The Amazon region has the poorest basic sanitation services in the country, which justifies the analysis. **Method:** Used a 12-year time series (2010-2021) from the National Basic Sanitation Information System, five indicators were investigated: population without treated water, without sewage collection and treatment, ratio between treated sewage and water consumed, hospitalizations, and deaths from sanitation-related diseases. **Results:** The results indicate that urban growth directly impacts the indicators. **Conclusion:** There has been gradual progress, especially in the RMB, although Belém has low sewage treatment efficiency. Manaus showed greater efficiency in some years. Hospitalizations and deaths from gastrointestinal diseases have decreased, reinforcing the relationship between sanitation, health, and the need for public policies.

Keywords: Environment; Environmental health; Pollution; Waterborne diseases

¹ Mestre em Ciências Ambientais. Doutorando em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará. Docente do Instituto Federal do Maranhão, Campus Itapecuru Mirim.

² Mestre em Ciências. Doutorando em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará. Docente do Instituto Federal do Pará, Campus Bragança.

³ Mestra em Enfermagem. Doutoranda em Ciências Ambientais no Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais da Universidade Federal do Pará.

INTRODUÇÃO

De acordo com a Política Nacional de Saneamento Básico, Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007 (Brasil, 2007), atualizada pelo Novo Marco Legal do Saneamento Básico, Lei nº 14.026, de julho de 2020 (Brasil, 2020), entende por saneamento básico o conjunto de serviços públicos, infraestruturas e instalações operacionais de abastecimento de água potável; esgotamento sanitário; limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos; e drenagem e manejo de águas pluviais urbanas. Pode também ser definido como “conjunto de medidas realizadas com o objetivo de preservação das condições ambientais, de modo a melhorar a qualidade de vida da população e facilitar a atividade econômica” (MDR, 2021).

Historicamente, o investimento em saneamento ocorreu de forma pontual no Brasil, sendo predominantemente realizado pelo setor público (Leoneti; Prado; Oliveira, 2011), fazendo com que a realidade atual do país apresentasse situações contrastantes entre as diferentes regiões. Dados de 2022, disponíveis no Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS, dão conta de que a média nacional de atendimento de água é de 84,9%, do esgoto é 56% e de taxa de cobertura de serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliar é de 94%, sendo que algumas regiões apresentam índices bem mais altos do que a média nacional, enquanto outros apresentam índices bem abaixo dos indicadores nacionais.

Dentre as cinco macrorregiões brasileiras, o Norte do Brasil é a região com menores índices de cobertura de saneamento básico no país. Essa região é formada por sete estados: Acre, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia, Roraima e Tocantins e está localizada no bioma amazônico, sendo, portanto, a região do Brasil mais carente no contexto nacional de saneamento ambiental. De acordo com dados disponíveis no SNIS referente ao ano de 2022 para a região, o índice de atendimento de água é de 64,2%, do esgoto é 14,7% e de taxa de cobertura de serviços de coleta de resíduos sólidos domiciliar é de 79,2%. Em 2022, a população atendida com rede pública de água era de 64,2% na região Norte, enquanto que, nas demais regiões esses números eram: 76,9%, 89,8%, 90% e 91,6% no Nordeste, Centro-Oeste, Sudeste e Sul, respectivamente (SNIS, 2023).

Um estudo recente sobre saneamento ambiental e saúde na Amazônia revela avanços significativos na formulação de políticas públicas e na implementação de iniciativas de saneamento ambiental na região, mas desafios ainda precisam ser superados especialmente no que concerne a falta de infraestrutura adequada, a insuficiência de recursos financeiros, a baixa capacidade técnica e gerencial das autoridades locais, além das desigualdades sociais e

econômicas presentes na região (Cardoso; Tavares; Silva, 2023). A Amazônia é abundante em água doce, porém a baixa cobertura de serviços de coleta e tratamento de esgoto traz um alerta tanto do ponto de vista de saúde pública como em relação a degradação dos recursos hídricos, uma vez que, a ausência de tratamento de esgoto reflete em contaminação de mananciais e problemas de saúde da população.

A relação entre a ausência de saneamento básico e os problemas de saúde é amplamente reportada em diversos estudos (Alemu *et al.*, 2024; Paiva *et al.*, 2024; Crispim *et al.*, 2024; Mills; Cumming, 2016), principalmente em países subdesenvolvidos ou em desenvolvimento (Alemu *et al.*, 2023) como o Brasil. Esses países, em especial os localizados na África Subsaariana, concentram a maior parcela da população mundial sem acesso à água potável, apresentando uma proporção significativamente superior à observada em outras regiões (Santos *et al.*, 2017). O trabalho de Moreno, Heinz e Hein (2022) identificou que, no Brasil, o percentual da população atendida por rede de esgoto é o principal item do saneamento básico que impacta na variação das condições de saúde das capitais brasileiras devido ao seu baixo desempenho. Um estudo de revisão realizado por Manetu e Karanja (2021) identificou fatores riscos associados a falta de saneamento e constataram que a ausência de água canalizada, a dependência de águas superficiais e a disposição de resíduos sólidos inadequadamente são fatores que contribuem para as doenças transmitidas por veiculação hídrica.

A ausência de saneamento ambiental é responsável por um grupo de infecções denominadas doenças tropicais negligenciadas, as quais as mais comuns são a lombriga (*Ascaris lumbricoides*), o tricurídeo (*Trichuris trichiura*) e a ancilostomíase humana (*Necator americanus* e *Ancylostoma duodenale*). Estas infecções são transmitidas através dos ovos presentes nas fezes humanas, que contaminam solo em zonas onde o saneamento é deficiente (Mills; Cumming, 2016). A falta de água potável está relacionada aos riscos de diarreias (Asriani *et al.*, 2024). Essa doença causa a morte de milhões de crianças em idade de até cinco anos em países pobres como os do continente africano (Mills; Cumming, 2016).

A proliferação dessa doença está relacionada à falta de higiene, a ausência de água tratada e ao contato com fontes de água contaminadas. A disposição inadequada de resíduos sólidos contamina mananciais de água superficiais e subterrâneos, provoca proliferação de animais e de vetores de doenças como mosquitos, baratas, ratos, dentre outros. O trabalho de Sobral e Sobral (2017) relacionou os casos de dengue com a coleta de resíduos urbanos em Recife, capital de Pernambuco, Brasil e seus resultados demonstram que a coleta de resíduos possui um forte impacto negativo nos casos de dengue e podem ser adotados como estratégia

de prevenção pelos governos municipais. Este estudo evidencia a importância da gestão dos resíduos para o controle de diversas doenças provocadas pelo mosquito *Aedes aegypti*.

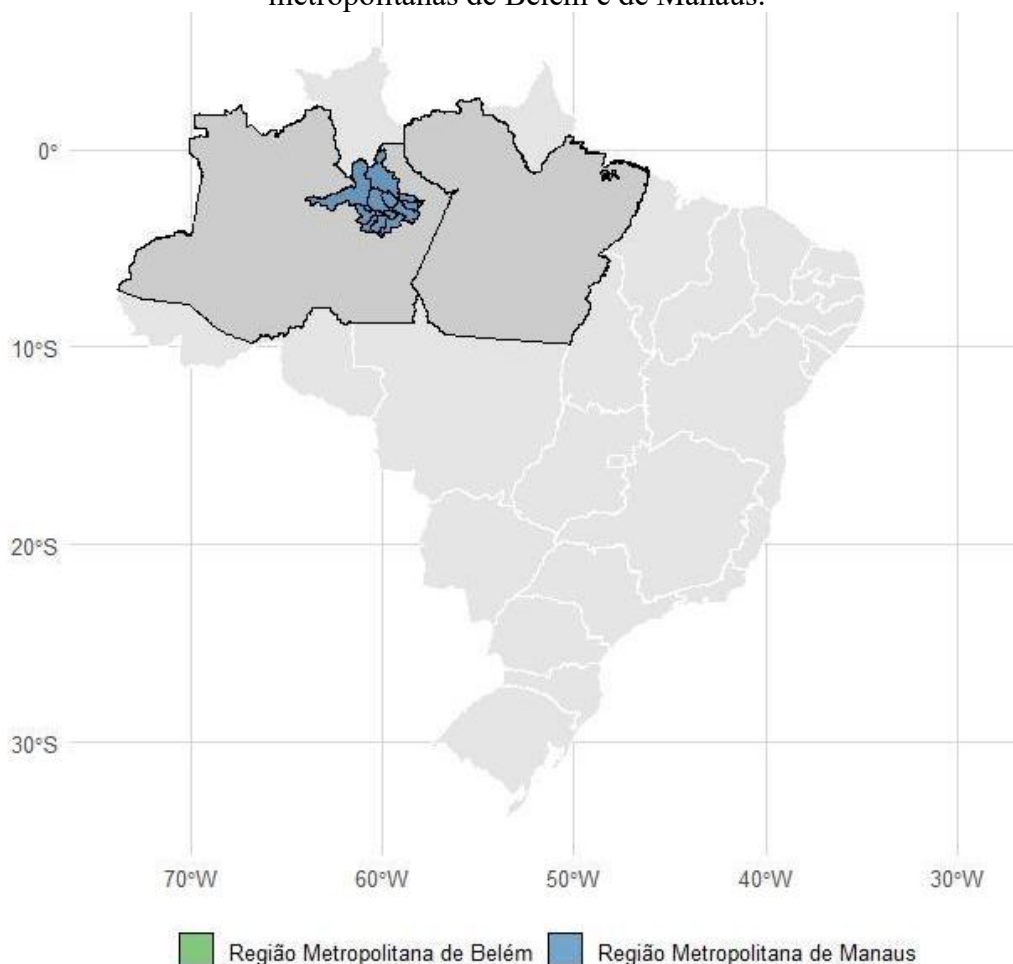
O trabalho centra seu objetivo na comparação entre as condições de saneamento básico e a incidência de doenças relacionadas com a falta de saneamento nas duas maiores aglomerações urbanas do Norte do Brasil, tendo em vista que, essa região brasileira é a mais carente de serviços básicos de saneamento do país, trazendo assim elementos científicos que reforçam a carência de serviços de saneamento e a importância de investimentos regionais nesse setor. Além disso, o trabalho contribui para a discutir o Objetivo 6 do Desenvolvimento Sustentável – ODS 6, à medida que se discute, ao nível regional, a deficiência no sistema de abastecimento de água e coleta de tratamento de esgoto nas duas regiões metropolitanas do norte do Brasil.

METODOLOGIA

O estudo foi realizado nas duas maiores aglomerações urbanas da Região Norte do país: a Região Metropolitana de Belém - RMB e de Manaus - RMM, situadas nos estados do Amazonas e do Pará, respectivamente (Figura 1). A RMB é composta pelos municípios: Ananindeua, Belém, Benevides, Castanhal, Marituba, Santa Bárbara, Santa Izabel do Pará e mais recentemente por Barcarena. A RMM é composta por treze municípios, sendo eles: Autazes, Careiro, Careiro da Várzea, Iranduba, Itacoatiara, Itapiranga, Manacapuru, Manaquiri, Manaus, Novo Airão, Presidente Figueiredo, Rio Preto da Eva e Silves. As duas regiões metropolitanas abrigam cerca de 4,6 milhões de habitantes, conforme estimativa populacional do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (IBGE, 2024).

O estudo é do tipo descritivo e comparativo, utilizando banco de dados de fontes secundárias. Os dados de saneamento básico têm como fonte o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico – SINISA, do Ministério das Cidades, enquanto que os dados sobre as doenças e óbitos foram adquiridos no DataSus, do Ministério da Saúde (Quadro 1) e ambos estão disponíveis na página do Instituto Trata Brasil. Além desses, dados demográficos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE foram apresentados para comparar a evolução do crescimento populacional nas duas regiões metropolitanas ao longo do período analisado.

Figura 1 – Localização dos estados do Amazonas e do Pará, com destaques para as regiões metropolitanas de Belém e de Manaus.



Fonte: IBGE / geobr (2018, 2020)

Fonte: Autoria Própria.

Quadro 1 – Indicadores analisados nas regiões metropolitanas de Belém e de Manaus.

Indicadores	Descrição	Fonte
A1	Parcela da população total que mora em domicílios sem acesso à água tratada (%)	SINISA
A2	Parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto (%)	SINISA
A3	Razão entre volume de esgoto tratado e volume de água consumida (%)	SINISA
A4	Internações por doenças associadas à falta de saneamento (Nº de internações)	DATASUS
A5	Óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas na população total (Nº de óbitos)	DATASUS

Fonte: Autoria Própria.

O conjunto de dados analisados contempla informações sobre população, saneamento básico e saúde para as Regiões Metropolitanas de Belém (RMB) e Manaus (RMM) no período de 2010 a 2021. Para a RMB, os dados não contemplaram o município de Barcarena, isto porque, esse município foi incorporado à RMB somente no ano de 2023, através da Lei Complementar nº 164, de 05 de abril de 2023.

Utilizou uma série temporal de 12 anos (2010-2021) de cinco indicadores descritos no Quadro 1, os quais foram apresentados em forma de tabela para fins de comparação entre as duas regiões metropolitanas analisadas; os dados populacionais foram apresentados em forma de gráficos para fins de comparações. Além disso, os dados com os cinco indicadores foram submetidos ao teste de *Shapiro-Wilk* para verificar a normalidade da série temporal e posteriormente foi feita uma análise de correlação de *Spearman* com a finalidade de avaliar a relação entre as variáveis para cada região metropolitana separadamente. A força da correlação foi classificada de acordo com Xiao *et al.* (2016) como forte (p-valor entre -1,0 a -0,5 e 1,0 a 0,5), moderada (p-valor entre -0,5 a -0,3 e 0,5 a 0,3), fraca (p-valor entre -0,3 a -0,1 e 0,3 a 0,1) e muito fraca ou inexistente (p-valor entre -0,1 a 0,1). Utilizou-se o software R *Statistical* (R Core Team, 2022) versão 4.2.1 tanto a análise estatística como para composição dos gráficos, utilizando neste último caso, o pacote *ggplot2* (Wickham, 2016).

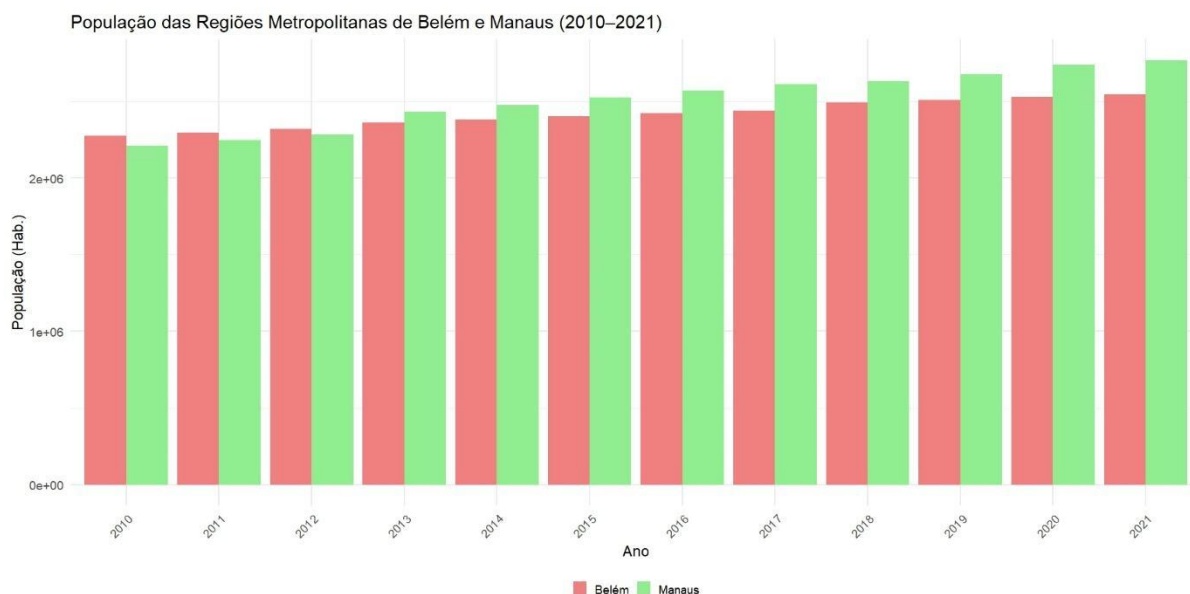
RESULTADOS

Neste tópico apresenta-se e interpreta-se os resultados obtidos a partir da análise dos indicadores selecionados, buscando compreender suas implicações para a realidade estudada. Os achados são discutidos à luz da literatura especializada, de forma a estabelecer relações entre os dados empíricos, o contexto socioeconômico e ambiental das regiões analisadas e os marcos teóricos que orientam esta pesquisa. Dessa forma, procura-se não apenas descrever os resultados, mas também avaliar criticamente seus significados, destacando padrões, diferenças regionais e possíveis fatores explicativos que subsidiam reflexões para políticas públicas em saneamento básico.

A Figura 2 apresenta o crescimento populacional das duas regiões metropolitanas: baseado no censo demográfico do IBGE de 2010, a população da RMB era de 2.275.302 habitantes, enquanto que a RMM era de 2.210.647 habitantes. A partir das estimativas populacionais, nota-se uma evolução da população da RMM, ultrapassando a RMB no ano de

2013, alcançando, em 2021, 2.766.492 habitantes, enquanto que a RMB alcançou 2.547.756 habitantes no mesmo ano, uma diferença de 218,7 mil habitantes.

Figura 2 – Evolução da população das regiões metropolitanas de Belém – RMB e de Manaus – RMM no período amostral (2010 a 2021).



Fonte: Elaborado pelos autores, baseados no censo demográfico do IBGE de 2010 e nas estimativas populacionais do IBGE (2011-2021).

Dentre os indicadores de saneamento básico, os dados apresentados na Tabela 1 apresentam situações contrastes entre as duas regiões metropolitanas. Em 2010, a parcela da população sem atendimento a água tratada (A1) era de 30% na RMB e 10,9% na RMM. Para a RMB é possível observar que esse indicador piorou ao longo dos anos, chegando a alcançar 45,6% em 2016 e fechando em 35,4% no último ano do período analisado. Comparando esse indicador no ano de 2021 a nível regional e estadual, nota-se que a RMB apresenta desempenho próximo ao regional (40%) e bem melhor que o estadual (51.5%). Na RMM, observa-se a mesma tendência até o ano de 2018, com queda substancial a partir de 2019, chegando em 2021 com apenas 6.4% da população sem acesso atendimento a água tratada. Essa porcentagem é inferior ao indicador regional e estadual (51.5%, 16.5%, respectivamente).

Tabela 1 – Comparação dos indicadores de desempenho de serviços de água e esgoto e incidência de doenças e mortes por veiculação hídrica nas regiões metropolitanas de Belém e Manaus, no período de 2010 a 2021.

Ano	Pop. ¹	RMB					Pop. ¹	RMM				
		A1 ²	A2 ²	A3 ²	A4 ³	A5 ³		A1 ²	A2 ²	A3 ²	A4 ³	A5 ³
2010	2275032	30	94.9	1.8	19602	28	2210647	10.9	81.4	58	3489	19
2011	2298198	41	94.7	1.6	12124	30	2247908	10	77	22.9	5162	14
2012	2320604	43.9	95	2.2	10835	28	2283906	7.2	75.8	24	3330	14
2013	2360250	45.1	95.4	1.9	8075	28	2431406	28	92.2	24.4	2814	11
2014	2381661	33.7	91.7	2.3	7738	36	2478088	24.2	91.3	24.4	2455	13
2015	2402527	28.7	91.2	2.2	5446	18	2523901	22.9	90.9	23.5	2445	14
2016	2422481	45.6	91.6	2.4	6142	11	2568817	20.3	91.3	23.8	2641	18
2017	2441488	44.6	91.4	0.8	5596	25	2612747	19.5	88.9	45	2213	30
2018	2491052	39.8	90.1	2.5	5242	31	2631239	21.1	89.4	31.1	1999	22
2019	2510274	39.7	88.4	3.4	5149	30	2676936	3.8	80.5	31.1	1984	13
2020	2529178	37.7	81.4	3.7	3562	24	2740014	7.3	80.6	20.5	1834	14
2021	2547756	35.4	81.2	6.5	2757	14	2766492	6.4	78	17.6	2542	19

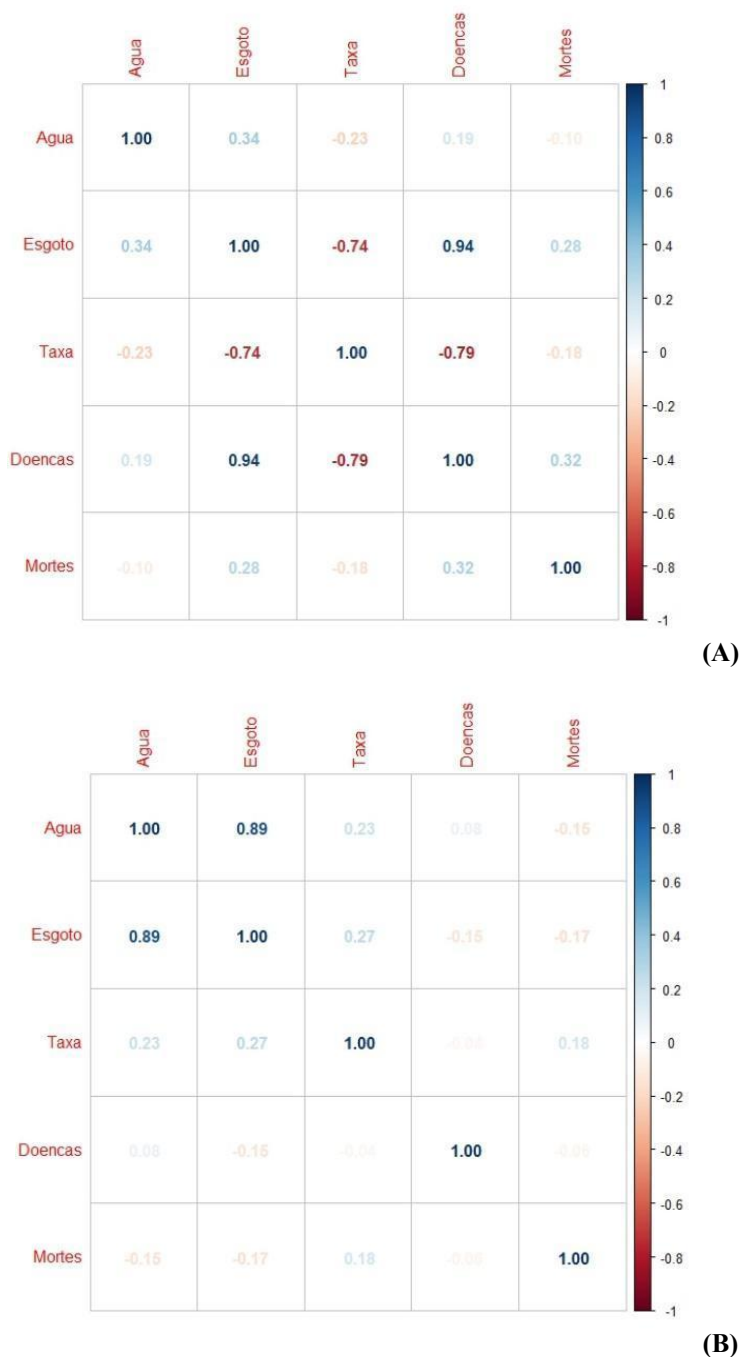
Legenda: A1: Parcela da população total que mora em domicílios sem acesso à água tratada (%); A2: Parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto (%); A3: Razão entre volume de esgoto tratado e volume de água consumida (%); A4: Número de Internações por doenças associadas à falta de saneamento; A5: Número de óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas na população total.

Fonte: ¹IBGE; ²SINISA; ³DATASUS

Quanto ao indicador A2, referente a parcela da população não atendida com serviço de coleta de esgoto, nota-se uma redução tanto na RMB como na RMM. Em 2010, 94,9% da população da RMB não era atendida com esse serviço, de modo que em 2021, houve uma queda para 81,2%, inferior ao indicador regional (86%) e estadual (91.6%). Já na RMM, eram 81,4% em 2010, caindo para 78% em 2021. No que diz respeito à taxa entre o volume de esgoto tratado e volume de água consumida (A3), observa-se que há um crescimento na RMB, onde a taxa de 2010 é de apenas 1,8%, aumentando para 6,5% em 2021. Na RMM, essa taxa era de 58% em 2010 com redução para 17.6% em 2021.

Em relação ao número de internações por doenças associadas a falta de saneamento (A4), é possível observar que, na RMB esse número foi reduzindo ao longo do tempo, passando de 19.602 em 2010 para 2.757 internações em 2021. É possível observar queda nessas internações também na RMM, embora não de forma constante. Quanto ao número de óbitos relacionados as doenças gastrointestinais, a Tabela 1 mostra oscilações ao longo do tempo tanto na região metropolitana do Amazonas como do Pará. A Figura 3 apresenta o resultado do teste de correlação entre as variáveis analisadas.

Figura 3 – Matriz de correlação de *Spearman* entre as variáveis: parcela da população total que mora em domicílios sem acesso à água tratada (Água); parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto (Esgoto); razão entre volume de esgoto tratado e volume de água consumida (Taxa); Número de Internações por doenças associadas à falta de saneamento (Doenças); número de óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas na população total (Mortes): a) Região Metropolitana de Belém – RMB; e b) Região Metropolitana de Manaus.



Fonte: SINISA; DATASUS.

Na RMB houve correlação forte e inversa e significativa entre a A2 - parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto e A3 - Razão entre volume de esgoto tratado e volume de água consumida ($r = -0.74$ e $p < 0.01$) e entre A2 e A4 - números de Internações por doenças associadas à falta de saneamento foi forte e direta ($r = 0.94$ e $p < 0.01$). Na RMM, as duas variáveis que apresentaram correlação significativa foram A1 e A4 ($r = 0.89$ e $p < 0.001$).

DISCUSSÃO

Os resultados apontam diferenças significativas no crescimento populacional e na cobertura de saneamento básico entre a RMB e a RMM. Primeiramente, observa-se que a RMM apresentou crescimento populacional mais acelerado a partir de 2013, ultrapassando a RMB. Esse fenômeno pode estar relacionado ao desenvolvimento econômico e à urbanização da região amazônica, impulsionado por atividades industriais, logísticas e de serviços, especialmente em Manaus, que abriga a Zona Franca de Manaus. Por outro lado, o crescimento mais moderado da RMB pode refletir limitações territoriais, políticas urbanas e fatores socioeconômicos que impactam a expansão demográfica.

As mudanças demográficas impactam o abastecimento de água de forma que vai além do simples aumento do número de habitantes, refletindo não apenas no crescimento absoluto da demanda volumétrica, mas também em desafios estruturais e de gestão (Santos *et al.*, 2017), isto porque, esse crescimento, em muitos casos, reflete em novas demandas em investimentos em infraestrutura de saneamento de água e esgoto.

Nesse contexto, torna-se evidente que a expansão demográfica desordenada, quando não acompanhada por investimentos proporcionais em infraestrutura, resulta em pressões adicionais sobre os serviços de saneamento, comprometendo tanto a saúde da população quanto a sustentabilidade ambiental. De acordo com Heller e Castro (2007), o crescimento urbano sem planejamento adequado tende a ampliar a exclusão socioespacial, reproduzindo desigualdades no acesso à água tratada e à coleta de esgoto.

Além disso, a Organização Mundial da Saúde - OMS (WHO, 2018) enfatiza que a urbanização acelerada em países em desenvolvimento constitui um dos principais desafios para garantir saúde ambiental, pois aumenta a vulnerabilidade a doenças de veiculação hídrica e a impactos relacionados à degradação da qualidade dos recursos hídricos. Assim, a análise comparativa entre RMB e RMM evidencia que as dinâmicas demográficas precisam ser

acompanhadas de políticas públicas robustas de saneamento e planejamento territorial integrado, a fim de mitigar os efeitos negativos do crescimento urbano desigual.

Em relação aos indicadores de saneamento, a RMB apresenta desafios mais persistentes, com parcela significativa da população sem acesso à água tratada e à coleta de esgoto. O aumento do indicador A1 até 2016 sugere que a expansão urbana ocorreu de forma desordenada, dificultando a universalização dos serviços de água e esgoto. A leve melhora observada nos últimos anos indica avanços pontuais, mas ainda insuficientes para atender à população total. Essa realidade reflete um padrão recorrente em grandes centros urbanos da Amazônia, onde a rápida expansão demográfica e territorial não foi acompanhada pela infraestrutura de saneamento.

Estudos apontam que a ausência ou precariedade desses serviços intensifica desigualdades socioespaciais e aumenta a vulnerabilidade da população a doenças de veiculação hídrica (Heller; Castro, 2007). Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2022), a Região Norte apresenta os piores índices de cobertura de água e esgotamento sanitário do país, revelando a necessidade urgente de políticas públicas que priorizem investimentos estruturais e o fortalecimento da gestão integrada do saneamento.

Já a RMM, apesar de iniciar com melhores condições de saneamento, apresenta queda na taxa de esgoto tratado em relação ao volume de água consumida (A3), sugerindo que o aumento populacional pode estar superando a capacidade de tratamento disponível, ou que investimentos em infraestrutura não acompanharam a demanda. A redução da população sem acesso à água e coleta de esgoto (A1 e A2) nos últimos anos indica que políticas públicas de saneamento básico começaram a surtir efeito, mas a disparidade em relação à RMB evidencia desigualdade regional.

O investimento em sistema de abastecimento de água tratada e coleta e tratamento de esgoto é evidenciado pela correlação direta e significativa entre essas duas variáveis ($r=0.89$ e $p<0,001$) na RMM. Esse cenário reforça a importância do saneamento como determinante fundamental da saúde e da qualidade de vida urbana. De acordo com Heller (1998), a universalização do acesso à água e ao esgotamento sanitário está diretamente associada à redução de doenças de veiculação hídrica e à promoção da equidade social. No entanto, a persistência de desigualdades regionais, como observado entre RMB e RMM, reflete não apenas limitações de infraestrutura, mas também fragilidades na gestão integrada e no planejamento territorial do saneamento básico no Brasil (IBGE, 2022).

Essa situação evidencia que o saneamento deve ser compreendido também como um componente essencial da saúde ambiental, uma vez que a deficiência no acesso à água potável e ao tratamento de esgoto compromete a qualidade dos ecossistemas urbanos e a saúde coletiva. Segundo a OMS (WHO, 2018), o saneamento inadequado é um dos principais fatores de risco ambientais, contribuindo para a disseminação de doenças infecciosas e para a degradação da qualidade da água. No Brasil, autores como Heller (1997) ressaltam que a integração entre saneamento e saúde ambiental é indispensável para reduzir desigualdades e promover cidades mais sustentáveis.

Os impactos desses déficits de saneamento sobre a saúde da população são evidentes nos indicadores de internações por doenças relacionadas à falta de saneamento (A4) e nos óbitos por doenças gastrointestinais (A5). A RMB registrou uma redução significativa de internações entre 2010 e 2021, indicando avanços pontuais em políticas de saneamento e saúde, evidenciado pela relação direta entre essas duas variáveis, ou seja, quanto menos elevada é a parcela de domicílios não atendidos por sistema de coleta de esgoto, menor é a incidência de doenças gastrointestinais, enquanto a RMM apresentou redução menos homogênea, refletindo os desafios de crescimento populacional rápido aliado à necessidade de expansão da infraestrutura.

As oscilações no número de óbitos em ambas as regiões destacam que, embora haja progresso, ainda existem lacunas que exigem atenção contínua, especialmente na prevenção de doenças veiculadas por água e esgoto. A relação estatística entre as variáveis A2 e A4 para Belém concordam com diversos estudos que relacionam a falta de saneamento a incidência de doenças de veiculação hídrica (Barros *et al.*, 2024; Alemu *et al.*, 2024; Paiva *et al.*, 2024; Crispim *et al.*, 2024; Mills; Cumming, 2016).

A correlação direta entre a parcela da população total que mora em domicílios sem acesso ao serviço de coleta de esgoto e o número de Internações por doenças associadas à falta de saneamento destaca a importância de continuar a expandir a infraestrutura desses serviços para melhorar a saúde pública na RMB. Esse achado confirma que a melhoria do saneamento básico é um dos principais determinantes para a redução da carga de doenças, sobretudo as de veiculação hídrica. Como destacam Prüss-Ustün *et al.* (2019), deficiências em abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto estão associadas a milhões de casos anuais de doenças diarreicas no mundo, impactando de forma desproporcional regiões em desenvolvimento.

No contexto brasileiro, Heller e Castro (2007) ressaltam que a universalização do saneamento é condição essencial não apenas para a promoção da saúde, mas também para a

redução das desigualdades sociais. Assim, os resultados observados na RMB e na RMM evidenciam que a expansão da infraestrutura de saneamento permanece como política estratégica para diminuir a morbimortalidade por doenças infecciosas associadas à água e ao esgoto.

CONCLUSÃO

Os resultados mostram que o crescimento populacional e a expansão urbana impactam diretamente os indicadores de saneamento. Regiões metropolitanas com rápido crescimento populacional demandam planejamento urbano e investimentos contínuos em infraestrutura, caso contrário, a população sofre com deficiências no acesso à serviços essenciais. Esses dados reforçam a importância de políticas integradas de saneamento, que considerem não apenas a ampliação do acesso, mas também a manutenção da qualidade dos serviços prestados.

Entre os indicadores de saneamento, destaca-se a parcela da população que reside em domicílios sem acesso à água tratada (A1) e à coleta de esgoto (A2), que mostrou uma redução gradual, especialmente na RMB, indicando melhorias graduais nas condições de saneamento. A razão entre o volume de esgoto tratado e o volume de água consumida (A3) permaneceu relativamente baixa em Belém, sugerindo a necessidade de investimentos adicionais no tratamento de esgoto, enquanto em Manaus essa razão apresentou valores mais elevados em alguns anos, refletindo maior eficiência no tratamento.

Os indicadores de saúde relacionados à falta de saneamento, como o número de internações por doenças associadas à ausência de saneamento (A4) e o número de óbitos por doenças gastrointestinais infecciosas (A5), apresentaram tendência geral de diminuição, embora com oscilações em Manaus, evidenciando impactos diretos das condições de saneamento na saúde da população. Esses dados permitem comparar as condições sanitárias entre as duas maiores aglomerações urbanas da Amazônia e identificar padrões de vulnerabilidade, oferecendo subsídios importantes para o planejamento de políticas públicas voltadas à melhoria do saneamento e à prevenção de doenças.

REFERÊNCIAS

- ALEMU, Z. A. *et al.* Households' access to basic sanitation services and associated factors in Geshiyaro project study sites in Ethiopia. **Discover Sustainability**, v. 5, n. 1, p. 200, 2024. <https://doi.org/10.1007/s43621-024-00420-1>
- ALEMU, Z. A. *et al.* Trends and impacts of demographic disparity on JMP ladders for drinking water and sanitation services: further analysis of the Ethiopian demographic and health surveys. **Discover Water**, v. 3, n. 1, p. 4, 2023. <https://doi.org/10.1007/s43832-023-00028-y>
- ASRIANI, A. *et al.* Analisis Hubungan Sanitasi Dasar Rumah dengan Resiko Kejadian Diare pada Balita. **Jurnal Syntax Admiration**, v. 5, n. 7, p. 2541-2548, 2024. <https://doi.org/10.46799/jsa.v5i7.1242>
- BARROS, E. E. F. *et al.* Índices de distribuição de água e esgoto e sua relação com as doenças de veiculação hídrica: um estudo de caso no município de Russas. **Revista Observatorio de la Economía Latinoamericana**, Curitiba, v. 22, n. 12, p. 01-20, 2024.
- CARDOSO, V. M.; TAVARES, B. de S. C.; SILVA, A. S. Saneamento Ambiental e Saúde na Amazônia Brasileira. **Rebena-Revista Brasileira de Ensino e Aprendizagem**, v. 6, p. 312-323, 2023.
- CRISPIM, D. L. *et al.* Indicadores de saúde em cidades amazônicas: estudo de caso no Estado do Pará, Brasil. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, e635973531, 2020.
- HELLER, L. Relação entre saúde e saneamento na perspectiva do desenvolvimento. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 3, n. 2, p. 73-84, 1998.
- HELLER, L. **Saneamento e Saúde**. Brasília: Organização Pan-Americana da Saúde/Organização Mundial da Saúde, 1997.
- HELLER, L.; CASTRO, J. E. Política pública de saneamento: apontamentos teórico-conceituais. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 284-295, 2007.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Estimativas da população residente no Brasil e unidades da federação com data de referência em 1º de julho de 2024**. Diretoria de Pesquisas - DPE - Coordenação de População e Indicadores Sociais, 2024.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2022**. Rio de Janeiro: IBGE, 2022.
- LEONETI, A. B.; PRADO, E. L.; OLIVEIRA, S. V. W. B. Saneamento básico no Brasil: considerações sobre investimentos e sustentabilidade para o século XXI. **Revista de Administração Pública**, v. 45, n. 2, p. 331-348, mar. 2011. <https://doi.org/10.1590/S0034-76122011000200003>
- MANETU, W. M; KARANJA, A. M. Waterborne Disease Risk Factors and Intervention Practices: a review. **Open Access Library Journal**, v. 8, 2021.
- MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil 2021**. Secretaria Nacional de Saneamento do Ministério do Desenvolvimento Regional. – Brasília/ DF, 2021.

MILLS, J. E; CUMMING, O. **The impact of water, sanitation and hygiene on key health and social outcomes: review of evidence.** Unicef, 2016.

MORENO, G. C. L.; HEINZ, D.; HEIN, N. Investimento em saneamento básico e a melhoria das condições de saúde das capitais estaduais brasileiras. **Revista de Políticas Públicas**, 2021. <http://dx.doi.org/10.18764/2178-2865.v25n2p.908-920>

PAIVA, A. R. *et al.* Relação do saneamento básico com a incidência de doenças infecciosas nas macrorregiões de saúde do estado do Maranhão. **Revista Aracê: São José dos Pinhais, [S. l.]**, v. 6, n. 2, p. 3456–3467, 2024. <https://doi.org/10.56238/arev6n2-180>

PRÜSS-USTÜN, A. *et al.* Burden of disease from inadequate water, sanitation and hygiene for selected adverse health outcomes: An updated analysis with a focus on low- and middle-income countries. **International Journal of Hygiene and Environmental Health**, v. 222, n. 5, p. 765–777, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2019.05.004>

R CORE TEAM. **R: a language and environment for statistical computing.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2022. Disponível em: <https://www.Rproject.org/>.

SANTOS, S. *et al.* Urban growth and water access in sub-Saharan Africa: Progress, challenges, and emerging research directions. **Science of the Total Environment**, v. 607, p. 497-508, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.157>

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico Temático de Serviço de Água e Esgoto: visão geral ano de referência 2022.** Brasília, Ministério das Cidades: Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, 2023.

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos serviços de água e esgoto – 2022.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2022.

WHO – World Health Organization. **Guidelines on sanitation and health.** Geneva: World Health Organization, 2018.

WICKHAM, H. **ggplot2: elegant Graphics for Data Analysis.** Springer-Verlag New York, 2016. ISBN 978-3-319-24277-4. Disponível em: <https://ggplot2.tidyverse.org>.

XIAO, C. W. *et al.* Using Spearman's correlation coefficients for exploratory data analysis on big dataset. **Concurrency and Computation: Practice and Experience**, 28(14), 3866-3878, 2016.

RELAÇÕES ENTRE VARIÁVEIS CLIMÁTICAS E DISSEMINAÇÃO DA COVID-19: UMA REVISÃO NARRATIVA DE LITERATURA

RELATIONS BETWEEN CLIMATE VARIABLES AND THE SPREAD OF COVID-19: A NARRATIVE LITERATURE REVIEW

Thais Cristina Flexa Souza Marcelino¹

Keila Régio Mendes²

Fábio da Silva Nascimento³

Cláudio Moisés Santos e Silva⁴

Resumo

Objetivo: Investigar a relação entre variáveis climáticas e disseminação da COVID-19 de acordo com a literatura científica. **Método:** Trata-se de uma revisão narrativa da literatura. **Resultados:** Elementos como temperatura, umidade relativa, radiação solar e precipitação têm sido analisados quanto à sua influência na sobrevivência viral em superfícies e aerossóis, bem como na dinâmica de transmissão comunitária. Observou-se que, em climas frios e secos, a persistência do vírus tende a ser maior, favorecendo surtos sazonais, enquanto regiões quentes e úmidas, embora apresentem menor estabilidade viral, não estão imunes a grandes ondas de contágio, devido a fatores comportamentais, densidade populacional e mobilidade humana. **Conclusão:** A pandemia de COVID-19 evidenciou interações complexas entre fatores epidemiológicos, socioeconômicos e ambientais. Embora o clima desempenhe papel relevante na ecologia viral, ele não é determinante único na evolução de pandemias, devendo ser considerado em conjunto com medidas de controle, capacidade hospitalar e comportamento coletivo.

Palavras-chaves: Pandemia; Clima; Saúde.

Abstract

Objective: Investigate the relationship between climate variables and the spread of COVID-19, based on scientific literature. **Method:** This is a narrative review of the literature. **Results:** Elements such as temperature, relative humidity, solar radiation, and precipitation have been analyzed for their influence on viral survival on surfaces and aerosols, as well as on the dynamics of community transmission. It was observed that, in cold and dry climates, viral persistence tends to be greater, favoring seasonal outbreaks, while hot and humid regions, despite presenting less viral stability, are not immune to large waves of contagion, due to behavioral factors, population density, and human mobility. **Conclusion:** The COVID-19 pandemic has highlighted complex interactions between epidemiological, socioeconomic, and environmental factors. Although climate plays a relevant role in viral ecology, it is not the sole determinant of pandemic evolution and should be considered in conjunction with control measures, hospital capacity, and collective behavior.

Key-words: Pandemia; Climate; Health.

¹ Mestra em Enfermagem. Doutoranda em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPB).

² Doutora em Ciências Biológicas pelo INPA. Pós-doutorado em Ciências Climáticas (UFRN).

³ Bacharelado em Ciências Climáticas. Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

⁴ Doutor em Meteorologia. Membro do corpo docente do Programa de Pós-graduação em Ciências Climáticas e Programa de Pós-graduação em Ciências Ambientais.

INTRODUÇÃO

No primeiro relatório de Wuhan, província de Hubei, China, a doença do coronavírus (COVID-19) se disseminou em mais de 150 países. Os países que eram conhecidos por terem bons sistemas de saúde, enfrentaram vários obstáculos, não apenas na contenção da doença, mas também nos tratamentos da sequela desta patologia. Além disso, a COVID-19 também causou profundos impactos sociais, econômicos e ambientais (Hariharan *et al.*, 2021).

Os sintomas comuns da COVID-19 podem variar de leves a moderado ou graves, incluindo febre, mialgia, tosse, dor de garganta, dificuldade para respirar e perda do paladar/olfato. Entre eles, a febre é o mais frequente, seguida da tosse. O período de incubação aproximado do COVID-19 varia de 2 a 14 dias, porém é comumente em torno de três a cinco dias. Nos casos mais graves, a infecção pode evoluir para pneumonia, síndrome respiratória aguda grave, insuficiência renal e, em alguns casos, levar a óbito (Fiocruz, 2020).

Avaliar evidências de sazonalidade na COVID-19 e seus possíveis vínculos com variáveis climáticas é essencial para prever dinâmicas de transmissão associadas ao clima, tanto em curto quanto em longo prazo. Na maioria das doenças respiratórias, temperaturas baixas e clima seco favorecem a sobrevivência e proliferação de patógenos acelerando a transmissão da doença (Metelmann *et al.*, 2021; Davis *et al.*, 2016; Mäkinen *et al.*, 2009; Yang; Marr, 2012). Diante o exposto, o objetivo deste estudo foi investigar a relação entre variáveis climáticas e disseminação da COVID-19 de acordo com a literatura científica.

MÉTODO

Trata-se de uma revisão narrativa da literatura. Os artigos de revisão narrativa são publicações amplas, apropriadas para descrever e discutir o desenvolvimento ou o "estado da arte" de um determinado assunto, sob ponto de vista teórico ou contextual (Baethge; Goldbeck-Wood; Mertens, 2019). A questão de pesquisa da pesquisa foi: Como ocorreu a relação entre variáveis climáticas e disseminação da COVID-19 de acordo com a literatura científica? As fontes foram artigos, documentos, relatórios que tratassem sobre a referida temática nas bases da *Science Direct* e biblioteca virtual da *SciELO*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Aspectos biológicos e transmissibilidade do COVID-19

SARS-CoV-2 ou COVID-19 pertence ao gênero *Betacoronavirus*, com alta homologia de sequência a um coronavírus de morcego selvagem, apontando os morcegos como um provável reservatório natural, possui diâmetro de 60-100 nanômetros (nm). A designação como SARS-CoV-2 (*Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*), foi atribuída pelo Comitê Internacional de Taxonomia de Vírus (ICTV). Os coronavírus são vírus envelopados e têm RNA de banda como material genético, polaridade simples e positiva ((+) ssRNA). Essa polaridade é designada com base nos grupos de fosfato livres que vão de 5' a 3', semelhante ao do RNA mensageiro da célula hospedeira humana madura, que facilita a tradução das proteínas virais (Gorbalenya *et al.*, 2020).

Nas últimas décadas, o planeta experimentou um aumento nas emissões de gases de efeito estufa devido à queima sem precedentes de combustíveis fósseis, o que faz com que a temperatura média global aumente a uma taxa de 0,2 °C/década e chegue a 4 °C no final do século XXI. Posteriormente, aumenta a frequência e a intensidade das ondas de calor e do estresse térmico, podendo perturbar o metabolismo, aumentar o estresse oxidativo e suprimir o sistema imunológico, causando infecções e liberação de vírus para o meio ambiente (Nath *et al.*, 2021).

No Brasil, em clima quente e úmido, foi palco de um dos maiores colapsos mundiais de COVID-19, exatamente pelas pessoas não terem seguido as restrições e medidas protetivas de transmissão do vírus no período pandêmico. Em dezembro de 2020 e janeiro de 2021, os sistemas de saúde público (SUS) e privado de Manaus entraram em colapso. Enquanto, no período de abril até dezembro de 2020 (270 dias), foram notificadas 3.380 mortes por COVID-19 em residentes em Manaus, no mês de janeiro de 2021 (31 dias), foram notificados 2.195 óbitos, evidenciando novo e evitável pico acentuado da mortalidade por COVID-19. Em 14 de janeiro, dezenas de pacientes morreram asfixiados devido à falta de oxigênio na rede pública hospitalar de Manaus, evento que chocou a população brasileira e toda a humanidade (Barreto *et al.*, 2021).

Estudos de Lowen *et al.* (2007) relatam que em regiões temperadas, as epidemias de influenza se repetem com marcada sazonalidade: no hemisfério norte, a temporada de influenza se estende de novembro a março, enquanto no hemisfério sul, as epidemias duram de maio a setembro. Desta forma, baixas umidades relativas de 20% a 35% eram mais favoráveis à

disseminação do vírus, enquanto a transmissão era completamente bloqueada em alta umidade relativa de 80%.

No estudo de Shaman e Kohn (2009) foi observado que 50% da variabilidade da transmissibilidade da Influenza e 90% da variabilidade da sobrevivência da Influenza são explicados pela umidade absoluta, enquanto, respectivamente, apenas 12% e 36% são explicados pela umidade relativa. Em regiões temperadas, tanto a umidade absoluta externa quanto o interno possuem um forte ciclo sazonal que minimiza no inverno. Este ciclo sazonal é consistente com um aumento de inverno em sobrevivência e transmissibilidade do vírus influenza, explicando a sazonalidade da gripe e por esse motivo, a umidade absoluta e relativa pode modular a sobrevivência do vírus influenza e sua transmissão, apesar de não ser o mesmo vírus, apresentam similaridades biológicas, de disseminação e transmissão.

COVID-19 e fatores climáticos: evidências comparativas entre Regiões do Mundo

No início da pandemia, as pesquisas caminhavam com muitas incertezas. Naquele momento a pandemia iniciou no hemisfério Norte e em condições de inverno. À medida que o tempo passou e a pandemia se alastrou para todo o planeta, inclusive em regiões nas quais estava terminando o verão, outras dúvidas surgiram, principalmente em função da sua disseminação em países e cidades de clima quente e úmido (Lipsitch, 2020). Segundo Sajadi *et al.* (2020), a COVID-19 inicialmente se disseminou por uma faixa de latitude entre 30° e 50° de latitude norte, em condições de temperatura entre 05°C e 11°C, no entanto, ainda era o início da pandemia.

Estudos com outros coronavírus fornecem pistas importantes sobre a influência do clima na viabilidade viral. Um estudo ambiental conduzido na Nova Zelândia sobre o SARS-CoV-1 verificou que temperaturas e umidades relativas mais elevadas reduzem significativamente a sobrevivência do vírus. Os autores observaram que temperaturas de 38 °C associadas a umidade relativa superior a 95% têm efeito sinérgico na inativação viral. Por outro lado, temperaturas mais baixas (22 °C a 25 °C) combinadas a umidade relativa de 40% a 50% prolongam a persistência do vírus em superfícies contaminadas. Com base nesses resultados, concluiu-se que as condições ambientais predominantes em países como Malásia, Indonésia e Tailândia não favorecem a sobrevivência prolongada do SARS-CoV (Chan *et al.*, 2011; Davis *et al.*, 2016).

Embora o SARS-CoV-2 apresente particularidades próprias, evidências preliminares sugerem que ele compartilha tendências semelhantes de sensibilidade a variações de

temperatura e umidade. Em países como Cingapura e Hong Kong, onde houve uso intensivo de ar-condicionado, a transmissão ocorreu principalmente em ambientes climatizados, como hospitais ou hotéis (Chan *et al.*, 2011). Em um estudo do Reino Unido com análises de vários coronavírus humanos (HCoV-HKU1, HCoV-OC43 etc.), verificou-se também uma forte sazonalidade, com maior ocorrência nos meses de inverno e se tornam indetectáveis nos meses de verão em regiões temperadas, igualmente como acontece na Influenza (Gaunt *et al.*, 2010). Dada a semelhança entre o SARS-CoV-1 e outros coronavírus (SARS-CoV-2 ou COVID-19, HCoV-HKU1, HCoV-OC43 etc.), a disseminação do COVID-19 também pode ser influenciada pelas condições climáticas.

Devido à alta fração de infecções não detectadas pelo sistema de saúde e às diferenças nas políticas de testagem, diferentes proporções de infecções foram detectadas e relatadas ao longo do tempo e dos países. Por isso, o número diário relatado de mortes provavelmente é mais confiável do que o número de infecções e é afetado apenas por fatores limitados, como a qualidade dos cuidados de saúde em diferentes países (Flaxman *et al.*, 2020).

De acordo com Hariharan *et al.* (2021), a variabilidade climática tem uma associação significativa com a transmissão e mortalidade por COVID-19, entretanto a temperatura do ar à superfície e a umidade não têm qualquer associação estatisticamente significativa com a transmissão da COVID-19, embora exista uma relação fraca entre a temperatura e a mortalidade pela pandemia. Portanto, é essencial investigar qualquer possível associação do COVID-19 com fatores ambientais, incluindo a variabilidade climática, para trazer respostas para a saúde pública e sociedade.

Uma associação positiva significativa entre aumento de casos diários de COVID-19 e temperatura, de modo que a temperatura mais alta resultou em um maior número de casos de COVID-19, com diferença de 4°C entre as temperaturas mínimas e máximas (Sangkhom; Thongtip; Vongruang, 2021). Hassan *et al.* (2021) relataram de forma semelhante uma correlação significativa entre a taxa de infecção por COVID-19 e o vapor de água, ozônio (O₃), temperatura da superfície terrestre, precipitação, pressão do vento e velocidade do vento.

No estudo de Sera *et al.* (2021) verificou-se uma associação não linear entre a transmissão do COVID-19 e os padrões climáticos (temperatura, umidade, radiação solar, velocidade do vento e precipitação) em um estudo realizado em 409 cidades e 26 países, os resultados apresentaram as temperaturas médias (entre janeiro e abril de 2020) do final do inverno/início da primavera em 381 cidades situadas no hemisfério Norte e as estações do verão/início do outono em 28 cidades do hemisfério Sul. Das 136 cidades classificadas no

estudo, 35 cidades apresentaram temperaturas baixas (até 13°C), 64 temperaturas médias (13°C a 29°C) e 34 temperaturas altas (acima de 29° C). Ao visualizar a associação da temperatura média, umidade relativa, umidade absoluta, radiação solar na superfície e estratificada por zona climática, não foi encontrado um padrão claro.

Por outro lado, uma associação positiva entre poluentes atmosféricos ambientais e aumento da incidência de casos diários de COVID-19 e mortes foi relatada em Londres (Ayoub *et al.*, 2021). Um aumento na taxa de hospitalização de pessoas afetadas por COVID-19 com mais de 50 anos de idade e a alta concentração média de PM_{2,5} (*Particulate Matter*) foram encontrados na Itália. A contribuição da exposição global ao PM transportado pelo ar para o risco de mortalidade por COVID-19 foi estimada em 15% (Pozzer *et al.*, 2020).

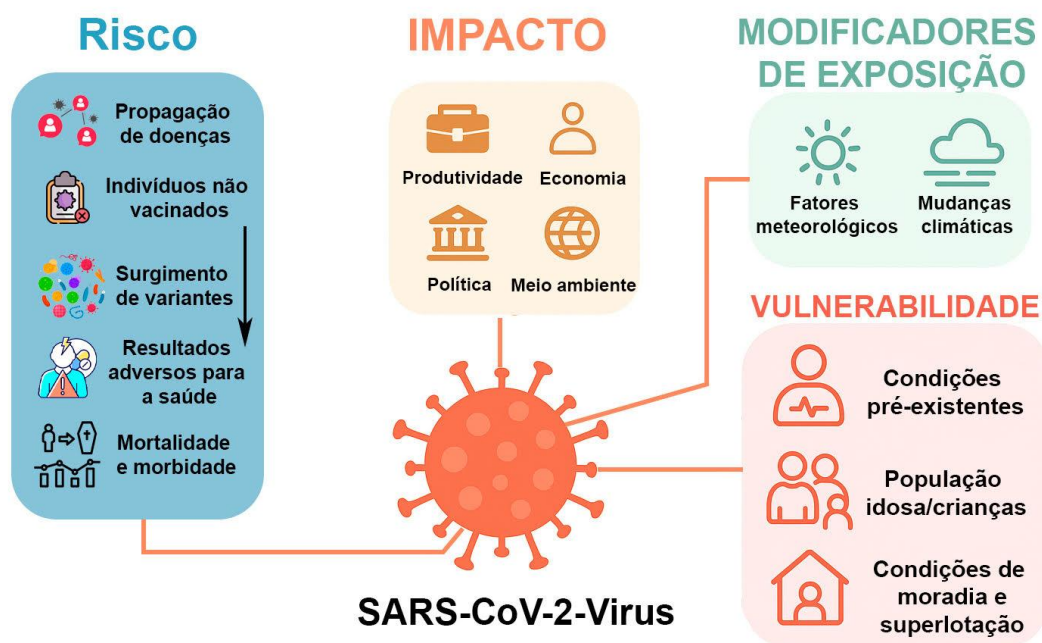
Na Figura 1, adaptada do estudo de Juarez *et al.* (2022), demonstra-se como os fatores meteorológicos, como temperatura, velocidade do vento, umidade e precipitação, individualmente e em combinação com os poluentes atmosféricos (PM_{2,5}, PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ e O₃) influenciam a disseminação do COVID e contribuem para a mortalidade. E ainda mostra como as mudanças climáticas desorganizam as interações atmosfera-biosfera e afetam indiretamente alguns animais selvagens que podem ser vetores de coronavírus. Além dos fatores externos, internos (relacionados ao hospedeiro), os fatores de comorbidade (problemas pulmonares, metabólicos e cardíacos) e surgimento de variantes do coronavírus influenciam a disseminação do COVID-19.

As partículas finas, como PM_{2,5}, têm um tempo de permanência na atmosfera maior do que as partículas grossas e podem ser transportadas por grandes distâncias, o que aumenta sua capacidade de dispersão e, conseqüentemente, o seu impacto em escala espacial, podendo chegar às áreas urbanas (Hacon *et al.*, 2020). O aumento de apenas 1 µg/m³ de PM_{2,5} no ar está associado a um aumento de 8% na taxa de mortalidade por COVID-19 (Wu *et al.*, 2020).

O PM também foi identificado anteriormente como portador de vários componentes do bioaerossol, incluindo bactérias, fungos, esporos e vários vírus, e foi implicado na disseminação do COVID. A deposição diferencial de material particulado em condições secas e úmidas que controla o destino das gotículas carregadas de vírus, e também a radiação ultravioleta (UV) parece desempenhar um papel na transmissão sazonal do COVID-19 (Choi; Tuel; Eltahir, 2021). Esta análise corrobora as observações da WMO (2021), que indicaram que a radiação UV pode afetar a transmissão do SARS-CoV-2 por meio de impactos no vírus e na função imunológica. Foi demonstrado que níveis mais altos de radiação UV, particularmente radiação

ultravioleta-C (luz UV com comprimento de onda entre 200 e 280 nm), podem inativar vírus de RNA.

Figura 1 – Esquema da interação entre os riscos, impactos, modificadores de exposição e vulnerabilidade relacionados ao SARS-CoV-2-Virus (COVID-19).



Fonte: Autoria Própria.

Estudos conduzidos na China relataram que em comparação com a temperatura ótima (31,23 °C), uma temperatura de 20 °C foi associada a um aumento de 5,15% no aumento de casos de COVID-19 e os fatores meteorológicos influenciam a transmissão e disseminação do COVID-19, potencialmente com um efeito interativo entre a temperatura diária e a umidade relativa na incidência do COVID-19, em que altas temperaturas e umidade estavam associadas a taxas mais baixas de COVID-19 (Ma *et al.*, 2021; Qi *et al.*, 2020). Enquanto isso, análises de infecções virais na Inglaterra revelaram que a transmissibilidade do coronavírus depende da estação do ano, atingindo um pico no inverno (temperatura média diária abaixo de 10 °C, insolação menor que 5 h/dia e umidade relativa acima de 84%), o que implica um aumento sazonal de infecções pelo COVID-19 em países com climas semelhantes (Nichols *et al.*, 2021).

Um estudo conduzido por Christophi *et al.* (2021) relatou que um aumento de 10 °C na temperatura ambiente resultou em taxas de mortalidade por COVID-19 aproximadamente 6% menores, 30 dias após a primeira morte registrada nos países da Organização para Cooperação

e Desenvolvimento Econômico (OCDE) e nos Estados Unidos. De forma complementar, uma análise realizada em 2.669 condados dos EUA identificou que temperaturas mais baixas, umidade específica reduzida e baixos níveis de radiação UV estavam significativamente associados a valores mais altos do número de reprodução (R) do SARS-CoV-2. Nesse estudo, o clima frio e seco, aliado à baixa radiação UV, esteve moderadamente associado à maior transmissibilidade do coronavírus, sendo que a umidade desempenhou papel de destaque nesse efeito (Ma *et al.*, 2021).

Apesar dessas evidências, a literatura apresenta resultados heterogêneos. Enquanto alguns estudos apontam correlação significativa entre variáveis meteorológicas e incidência de COVID-19, outros não identificaram essa relação. Por exemplo, Briz-Redón e Serrano-Aroca (2020) observaram associação positiva entre temperatura e novos casos confirmados apenas para valores abaixo de 3 °C, não sendo detectada relação significativa para temperaturas acima desse limiar, faixa próxima da temperatura média registrada na Espanha durante o período do estudo (5 °C a 18 °C). Outras análises sugerem que a sobrevivência e o crescimento do SARS-CoV-2 têm uma associação mais estreita com a temperatura ambiente e a umidade relativa (Nath *et al.*, 2021). A atividade do SARS-CoV-2 é maior em faixas de temperatura entre 0 °C e 10 °C e umidade acima de 70%, que se devem à proximidade dos epicentros mais próximos aos corpos d'água, ou seja, regiões com maior umidade relativa. No entanto, o SARS-CoV-2 tem a capacidade de se adaptar a diversas condições ambientais, por exemplo, países mais frios (-15 °C) como Rússia e Canadá e países mais quentes (25 °C) como Cingapura e Brasil.

COVID-19 no contexto da América do Sul: ênfase no Brasil e Região Amazônica

A América Latina é caracterizada por sistemas de saúde com capacidade limitada e desigual e uma fração importante de sua população vive na pobreza e foi severamente afetada pela pandemia de coronavírus. Os sistemas de saúde em toda a região atingiram níveis críticos e os hospitais ficaram sem capacidade durante os períodos de pico. Apesar desses esforços, a região experimentou uma das taxas de mortalidade mais altas do mundo. De fato, enquanto a população total da América Latina representa apenas 8,4% da população global, o número total de mortes por COVID-19 é de aproximadamente 1,3 milhão, o que equivale a quase 30% das mortes em todo o mundo. A extensão em que esses resultados mortais foram afetados pelos níveis historicamente elevados de poluição do ar na região ainda é desconhecida (Bonilla *et al.*, 2023).

Na América do Sul, o Brasil foi o primeiro território a relatar pacientes com diagnóstico de COVID-19 em 26 de fevereiro de 2020, e a falta de esforços coordenados nos níveis regional e estadual resultou em um surto generalizado com a América do Sul tendo o segundo maior número de pessoas infectadas e mortes. Brasil, Peru, Chile, Colômbia e Argentina foram os estados com mais casos e mortes por COVID-19. No entanto, a região da América do Sul e especialmente o Brasil foram os epicentros da COVID-19 no mundo devido ao maior número de casos e mortes (Bilal *et al.*, 2020).

À medida que a COVID-19 foi evoluindo mundialmente, essa chegou nos países tropicais e subtropicais no hemisfério sul no período do verão, em cidades com temperaturas ainda elevadas à época, como no caso de São Paulo, e em cidades de clima quente e superúmido, como Manaus e Belém, na região Norte do país. Observou-se, portanto, que a disseminação ocorreu em regiões com temperaturas médias de 27,5°C e umidade relativa próximo a 80% (Prata; Rodrigues; Bermejo, 2020; Auler *et al.*, 2020).

Constatou-se que as condições frias e secas influenciam a transmissão do COVID-19 em regiões temperadas, onde os invernos são frios, mas relativamente amenos, e os verões são quentes, úmidos e tempestuosos (região sudeste dos EUA e grandes porções da China, Brasil e Argentina), enquanto as condições quentes e úmidas predominantes nas regiões tropicais têm efeito na transmissão do COVID-19 (Choi; Tuel; Eltahir, 2021). Em contraste, uma revisão realizada por Mecnas *et al.* (2020) descobriu que climas quentes e úmidos reduziram a propagação do COVID-19.

No Sul do Brasil, na cidade de Ponta Grossa-PR, foram realizadas análises a partir de imagens de satélite e de cartas sinóticas para compreender as quedas de temperatura e de radiação solar na região. Identificou-se que sistemas meteorológicos, especialmente as frentes frias, provocaram quedas de temperatura e aumento de nebulosidade, a qual podem refletir parte da radiação solar, diminuindo seus valores e, por conseguinte, criando condições mais adequadas para a disseminação da COVID-19 (Cruz *et al.*, 2022). As medidas de isolamento e distanciamento social foram relevantes para conter o avanço da pandemia em Ponta Grossa (PR), em especial nos primeiros meses, mas a medida em que foi se aproximando o inverno com quedas de temperatura e aumento de nebulosidade em maio, mês atípico ainda no outono, o maior número de dias com baixas temperaturas somado ao aumento de nebulosidade, criaram as condições adequadas para aumento da pandemia, somado à reabertura do comércio no final de maio e começo de junho.

No Brasil, esse aumento de temperatura foi associado a uma queda de -4,90% no número de casos diários de COVID-19 (Prata; Rodrigues; Bermejo, 2020). Em geral, o aumento da temperatura, velocidade do vento e radiação solar são potenciais fatores climáticos que reduziram gradativamente os efeitos da pandemia no Rio de Janeiro (Rosário *et al.*, 2020), pois as altas temperaturas danificam a camada lipídica do vírus diminuindo sua estabilidade e potencial de infecção e podem até causar a inativação do vírus, diminuindo, assim, a taxa de transmissão (Moriyama; Hugentobler; Iwasaki, 2020).

No Estado do Pará, o primeiro caso da COVID-19 foi registrado no dia 18 de março de 2020, um homem de 37 anos que havia viajado para o Rio de Janeiro (Pará, 2020). No mês seguinte, dia 02 de abril, o Governo do Estado decretou ocorrência de transmissão comunitária, ou seja, quando não é mais possível rastrear qual a origem da infecção, indicando que o vírus circulava entre as pessoas, independente de terem viajado (Pará, 2020).

A Região Amazônica tem grande ocorrência de queimadas, que vem alcançando números recordes no ano de 2020, aliada à baixa umidade na região Amazônica e no Pantanal, pode agravar o impacto da epidemia de COVID-19. O material particulado possui um grande potencial inflamatório, aumentando o risco de infecção por vírus que atingem o trato respiratório, que pode agravar os casos de COVID-19, sendo também porta de entrada para infecções respiratórias (Sousa, 2020).

Têm-se observado uma forte tendência de aumento da incidência de doenças respiratórias durante o período em que coincidem a diminuição das chuvas na região, a queda dos índices de umidade, a ocorrência de queimadas e a contaminação atmosférica pelos diversos tipos de poluentes. As regiões mais afetadas são aquelas que tem fortes incêndios florestais e que tem precárias condições de saúde: Amazônia Ocidental, que não possui redes de estradas e infraestrutura de saúde adequadas; o arco do desmatamento, principalmente o norte do Mato Grosso e sudeste do Pará, e o Pantanal, que apresentam altas taxas de incidência de COVID-19 (Sousa, 2020).

É necessário compreender que em cidades amazônicas, o índice de contágio e mortalidade pela COVID-19 trouxe sobrecarga ao sistema público de saúde. Com relação a habitação, a cidade de Belém apresenta bons indicadores no número médio de moradores por domicílios (2,9 pessoas por residência), mas que em aglomerados subnormais, estes valores talvez sejam maiores. Dessa maneira, as recomendações de distanciamento entre pessoas para evitar a disseminação de COVID-19 só serão eficientes se, a curto prazo, os gestores municipais, estaduais e federal providenciarem programas sociais de moradia e habitação para

as populações vulneráveis, seja com modificações estruturais nas residências, como também de renda (Tavares; França, 2020).

No município de Belém, o planejamento das ações em saúde durante a pandemia de COVID-19 não considerou de forma adequada os determinantes sociais que envolvem o cenário de adoecimento, o que dificultou o controle da disseminação do vírus. Ao longo de décadas, a ausência de efetivação de políticas públicas nas periferias belenenses tornou-se ainda mais evidente no contexto pandêmico, refletindo-se em maiores taxas de infecção e mortalidade entre as populações em situação de vulnerabilidade social (Affonso *et al.*, 2021).

CONCLUSÃO

A pandemia de COVID-19 foi um evento global, causada pelo SARS-CoV-2, evidenciou interações complexas entre fatores epidemiológicos, socioeconômicos e ambientais. Desde o início da disseminação global, estudos têm investigado o papel das variáveis climáticas na transmissão do vírus em diferentes regiões do mundo.

Elementos como temperatura, umidade relativa, radiação solar e precipitação têm sido analisados quanto à sua influência na sobrevivência viral em superfícies e aerossóis, bem como na dinâmica de transmissão comunitária. Observou-se que, em climas frios e secos, a persistência do vírus tende a ser maior, favorecendo surtos sazonais, enquanto regiões quentes e úmidas, embora apresentem menor estabilidade viral, não estão imunes a grandes ondas de contágio, devido a fatores comportamentais, densidade populacional e mobilidade humana.

Pesquisas comparativas indicam que a sazonalidade da COVID-19 é modulada por múltiplos fatores, incluindo imunidade populacional, políticas de saúde pública e variantes virais, o que dificulta estabelecer relações causais diretas apenas com o clima. Modelos epidemiológicos sugerem que a radiação ultravioleta pode reduzir a viabilidade viral no ar, enquanto a umidade pode afetar o tamanho e a evaporação de gotículas respiratórias, influenciando o alcance da transmissão.

No entanto, a heterogeneidade de resultados entre regiões tropicais, temperadas e áridas aponta para a necessidade de abordagens integrativas que considerem também determinantes sociais e estruturais. A análise global das interações entre clima e COVID-19 contribui para prever possíveis padrões de sazonalidade e aprimorar estratégias de vigilância e prevenção, especialmente em cenários de emergência sanitária.

Embora fatores climáticos desempenhem papel relevante na ecologia viral, ele não é determinante único na evolução de pandemias, devendo ser considerado em conjunto com medidas de controle, capacidade dos sistemas de saúde e comportamento coletivo. Assim, o entendimento dessas interações fornece subsídios para respostas mais eficazes em crises futuras, integrando ciência climática e saúde pública.

REFERÊNCIAS

- AFFONSO, M. G. V. *et al.* O papel dos Determinantes Sociais da Saúde e da Atenção Primária à Saúde no controle da COVID-19 em Belém, Pará. **Physis: Revista de Saúde Coletiva**, v.31, n.2, e310207, 2021. <https://doi.org/10.1590/S0103-73312021310207>
- AULER, A. C. *et al.* Evidence that high temperatures and intermediate relative humidity might favor the spread of COVID-19 in tropical climate: A case study for the most affected Brazilian cities. **Science of the Total Environment**, v.729, p.139090, 2020.
- AYOUB, M. S. *et al.* Effect of environmental pollution PM2.5, carbon monoxide, and ozone on the incidence and mortality due to SARS-CoV-2 infection in London, United Kingdom. **J. King. Saud. Univ. Sci.**, v.33, n.3, 101373, 2021.
- BAETHGE, C.; GOLDBECK-WOOD, S.; MERTENS S. SANRA—a scale for the quality assessment of narrative review articles. **Research Integrity and Peer Review**. v.4, n.5, 2019. <https://doi.org/10.1186/s41073-019-0064-8>
- 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 Debate**. v. 45, n. 131, p. 1126-1139, 2021.
- BILAL, M. F. B. *et al.* Nexus Between the COVID-19 Dynamics and Environmental Pollution Indicators in South America. **Risk Management and Health Care Policy**, v. 14, p.67-74, 2021.
- BONILLA, J. A. *et al.* Association between prolonged exposure to air pollution and COVID-19 mortality in Latin America. **PLOS One**. v.18, n.1, e0280355, 2023.
- BRIZ-REDÓN, A.; SERRANO-AROCA, A. A spatio-temporal analysis for exploring the effect of temperature on COVID-19 early evolution in Spain. **Sci. Total Environ.**, v. 728, 138811, 2020.
- CHAN, K. H. *et al.* The effects of temperature and relative humidity on the viability of the SARS coronavirus. **Advances in Virology**, p. 734690–734697, 2011.
- CHOI, Y. W.; TUEL, A.; ELTHAIR, E. A. B. On the environmental determinants of COVID-19 seasonality. **Geohealth**, v. 5, n. 6, e2021GH000413, 2021.
- CRUZ, G. C. F. *et al.* Clima e COVID 19: as relações entre a temperatura do ar, radiação solar e os novos casos diários em Ponta Grossa, PR. **Terr@Plural**, Ponta Grossa, v.16, p. 1-15, e2217446, 2022.
- DAVIS, R. E. *et al.* Cold, dry air is associated with influenza and pneumonia mortality in Auckland, New Zealand. **Influenza and Other Respiratory Viruses**, v. 10, n. 4, p. 310–313, 2016.

FIOCRUZ. **O que é período de incubação e qual o período de incubação do novo coronavírus?** 2020. Disponível em: <https://portal.fiocruz.br/pergunta/o-que-e-periodo-de-incubacao-e-qual-o-periodo-de-incubacao-do-novo-coronavirus> Acesso em: 24 mai. 2023.

FLAXMAN, S. *et al.* Estimating the effects of non-pharmaceutical interventions on COVID-19 in Europe. **Nature**, v. 584, n. 7820, p. 257–261, 2020.

GAUNT, E. R. *et al.* Epidemiology and clinical presentations of the four human coronaviruses 229E, HKU1, NL63, and OC43 detected over 3 years using a novel multiplex real-time PCR method. **Journal of Clinical Microbiology**, v. 48, n. 8, p. 2940–2947, 2010.

GORBALENYA, A. E. *et al.* Severe acute respiratory syndrome-related coronavirus: the species and its viruses- a statement of the coronavirus study group. *BioRxiv*, 20200207, 937862, 2020.

HACON, S. S. *et al.* **Nota técnica sobre Amazônia Brasileira: potenciais impactos das queimadas sobre a saúde humana no contexto da expansão da COVID-19.** Ministério da Saúde. FIOCRUZ (Fundação Oswaldo Cruz). 2020.

HARIHARAN, H. T. *et al.* Global COVID-19 transmission and mortality—influence of human development, climate, and climate variability on early phase of the pandemic. **GeoHealth**, v.5, e2020GH000378, 2021.

HASSAN, M. S. *et al.* Relationship between COVID-19 infection rates and air pollution, geo-meteorological, and social parameters. **Environ. Monit. Assess.**, v. 193, n.29, p.1-20, 2021.

JUAREZ, P. D. *et al.* The effects of air pollution, meteorological parameters, and climate change on COVID-19 comorbidity and health disparities: A systematic review. **Environmental Chemistry and Ecotoxicology**, v.4, p.194–210, 2022.

LIPSITCH, M. Seasonality of SARS-CoV-2: Will COVID-19 go away on its own in warmer weather? **Center for Communicable Disease Dynamics**. 2020.

LOWEN, A. C. *et al.* Influenza virus transmission is dependent on relative humidity and temperature. **PLoS Pathogens**, v.3, n.10, p. 1470–1476, 2007.

MA, Y. *et al.* Role of meteorological factors in the transmission of SARS-CoV-2 in the United States. **Nat. Commun.**, n.12, p. 3602, 2021.

MÄKINEN, T. M. *et al.* Cold temperature and low humidity are associated with increased occurrence of respiratory tract infections. **Respiratory Medicine**, v. 103, n.3, p. 456–462, 2009.

METELMANN, S. *et al.* Impact of climatic, demographic and disease control factors on the transmission dynamics of COVID-19 in large cities worldwide. **One Health**, v.12, 100221, 2021.

MORIYAMA, M.; HUGENTOBLE, W.J.; IWASAKI, A. Seasonality of respiratory viral infections. **Annu. Rev. Virol.**, v.7, n.1, p. 83-101, 2020.

NATH, D. *et al.* Factors Affecting COVID-19 Outbreaks across the Globe: role of extreme climate change. **Sustainability**, v.13, n.6, 3029, 2021.

NICHOLS, G. L. *et al.* Coronavirus seasonality, respiratory infections and weather. **BMC Infect. Dis.**, v. 21, p. 1101, 2021.

PARÁ. Secretaria de Estado de Saúde Pública (SESPA). **Coronavírus no Estado do Pará**. 2023. Acesso em: 01 mar. 2024. Disponível em: <https://www.covid-19.pa.gov.br/public/dashboard/41777953-93bf-4a46-b9c2-3cf4ccefb3c9>

POZZER, A. *et al.* J. Regional and global contributions of air pollution to risk of death from COVID-19. **Cardiovasc. Res.**, v.116, n.14, p. 2247–2253, 2020. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvaa288>

PRATA, D. N.; RODRIGUES, W.; BERMEJO, P. H. Temperature significantly changes COVID-19 transmission in (sub) tropical cities of Brazil. **Science of the Total Environment**, v.729, 138862, 2020.

QI, H. *et al.* COVID-19 transmission in Mainland China is associated with temperature and humidity: a time-series analysis. **Sci. Total Environ.**, n.728, 138778, 2020.

ROSÁRIO, D. K. A. *et al.* Relationship between COVID-19 and weather: Case study in a tropical country. **International Journal of Hygiene and Environmental Health.**, v.229, 113587, 2020.

SAJADI, M. M. *et al.* Temperature, Humidity, and Latitude Analysis to Predict Potential Spread and Seasonality for COVID-19. **SSRN**. Preprint. 2020. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3550308> Acesso em: 21 mai.2023.

SANGKHAM, S.; THONGTIP, S.; VONGRUANG, P. Influence of air pollution and meteorological factors on the spread of COVID-19 in the Bangkok Metropolitan Region and air quality during the outbreak. **Environmental Research**, v. 197, p. 111104, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111104>

SERA, F. *et al.* A cross-sectional analysis of meteorological factors and SARS-CoV-2 transmission in 409 cities across 26 countries. **Nature Communication**, v.12, n.5968, 2021.

SHAMAN, J.; KOHN, M. Absolute humidity modulates influenza survival, transmission, and seasonality. **Proceedings of the National Academy of Sciences**, v.106, n. 9, p. 3243–3248, 2009. <https://doi.org/10.1073/pnas.0806852106>

SOUSA, T. C. M. *et al.* **Covid-19 e queimadas na Amazônia Legal e no Pantanal: aspectos cumulativos e vulnerabilidades**. Observatório de Clima e Saúde. FIOCRUZ. 2020. Disponível em: <https://climaesaude.icict.fiocruz.br/publicacao/covid-19-e-queimadas-na-amazonia-legal-e-no-pantanal-aspectos-cumulativos-e> Acesso em: 21 mai. 2025.

TAVARES, A. C. P. T.; FRANÇA, S. A. S. A COVID-19 e os desafios da urbanização e habitabilidade nas cidades amazônicas: estudo de caso em Belém do Pará. **Paper do NAEA.**, v. 29, nº 1 (dossiê crise e pandemia), p.120-141, 2020. <http://dx.doi.org/10.18542/papersnaea.v29i1.8861>

WU, X. *et al.* Exposure to air pollution and COVID-19 mortality in the United States. **Science Advances**, v.6, n.45, eabd4049, 2020.

YANG, W.; MARR, L. C. Mechanisms by which ambient humidity may affect viruses in aerosols. **Applied and Environmental Micro-biology**, v. 78, n. 19, p. 6781–6788, 2012. <https://doi.org/10.1128/AEM.01658-12>

ORGANIZADORES

Thais Cristina Flexa Souza Marcelino

Enfermeira. Doutoranda em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA). Mestre em Enfermagem (PPGENF/UFPA). Especialista em Enfermagem Obstétrica (REO/UFPA). Especialista em Enfermagem Pediátrica e Neonatal (ESAMAZ). Especialista em Auditoria em Enfermagem. Servidora Pública na Secretaria de Saúde do Estado do Pará (SESPA).

Daniel Fernandes Rodrigues Barroso

Engenheiro Ambiental. Doutorando em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA). Mestre em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA). Especialista em Educação Ambiental e Sustentabilidade (NUMA/UFPA). Docente efetivo do Instituto Federal do Maranhão - IFMA, Campus Itapecuru Mirim.

Antonio Jorge Silva Correa Júnior

Enfermeiro. Mestre em Enfermagem (PPGENF/ICS/UFPA). Doutorando em Ciências (EERP/USP). Membro dos grupos: Intervenções de Enfermagem no Processo Saúde Doença (IENPSAD) e Estudo de Políticas de Saúde e Cuidado de Enfermagem Amazônico (EPOTENA).

Francisco Daniel Mota Lima

Gestor Ambiental (EACH/USP). Doutorando em Ciências Ambientais (PPGCA) pela Universidade Federal do Pará (UFPA), com estágio doutoral (IMT Nord Europe, Universidade de Lille, França). Graduando em Engenharia Ambiental (Universidade Cruzeiro do Sul). Mestre em Ciências (EACH/USP). Licenciado em Biologia e Pedagogia (Centro Universitário Claretiano). Especialista em Educação. Docente efetivo do Instituto Federal do Pará (IFPA) – Campus Bragança.

Luis Waldyr Rodrigues Sadeck

Geógrafo. Doutorando em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA). Mestre em Ciências Ambientais (PPGCA/UFPA). Especialista em Geotecnologias (IESAM).

