



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE BIOCÊNCIAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO EM CIÊNCIAS BIOLÓGICAS

MATEUS MORAIS DA ROSA

IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS NA PROPAGAÇÃO DE DOENÇAS
TRANSMITIDAS PELA ÁGUA:
Uma Revisão

PORTO ALEGRE 2024

MATEUS MORAIS DA ROSA

**Impacto das Mudanças Climáticas na Propagação de Doenças Transmitidas
pela Água:
Uma Revisão**

Trabalho de Conclusão de Curso em
Bacharelado em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Orientadora: Prof^a Dr^a Luciane Oliveira Crossetti

PORTO ALEGRE

2024

CIP - Catalogação na Publicação

da Rosa, Mateus Morais

Impacto das Mudanças Climáticas na Propagação de Doenças Transmitidas pela Água: Uma Revisão / Mateus Morais da Rosa. -- 2024.

61 f.

Orientadora: Luciane Oliveira Crossetti.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) --
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Biociências, Bacharelado em Ciências Biológicas, Porto Alegre, BR-RS, 2024.

1. Mudança Climática. 2. Doenças Transmitidas pela Água. 3. Fenômenos Climáticos. I. Crossetti, Luciane Oliveira, orient. II. Título.

Elaborada pelo Sistema de Geração Automática de Ficha Catalográfica da UFRGS com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

MATEUS MORAIS DA ROSA

**Impacto das Mudanças Climáticas na Propagação de Doenças Transmitidas
pela Água:
Uma Revisão**

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado
adequado para a obtenção do Título de
Bacharel em Ciências Biológicas pela
Universidade Federal do Rio Grande do Sul, obtendo conceito A.

Porto Alegre, 13 de agosto de 2024

Orientadora: Profª Drª Luciane Oliveira Crossetti

BANCA EXAMINADORA

Profª Drª Luciane Oliveira Crossetti
Instituto de Biociências – UFRGS

Profª Drª Marla Sonaira Lima
Instituto de Pesquisas Hidráulicas – UFRGS

Profª Drª Andressa da Rosa Wieliczko
Instituto de Pesquisas Hidráulicas - UFRGS

AGRADECIMENTOS

Começo expressando minha profunda gratidão à minha mãe, Simone, por, primeiramente, ter me dado a vida, mas também por facilitar meu caminho todos os dias com carinho, amor, suporte e tudo que um filho precisa, além de ser a minha maior inspiração como pessoa. Serei eternamente grato por tudo.

Agradeço ao meu pai, Paulo, por acreditar que o caminho da educação era o correto e que era isso que eu deveria buscar na minha vida.

Agradeço à minha avó, Maria de Lourdes, por ser uma mulher guerreira e inspiradora, que sempre deu grande suporte na minha vida.

Agradeço também a toda a minha família, incluindo meu irmão, tias, tios, primos e primas, e todos que, de alguma forma, me ajudaram a alcançar este objetivo com sucesso.

Agradeço à minha colega e amiga Maria Eduarda, por ter enfrentado comigo todos os altos e baixos da graduação com muito companheirismo.

Agradeço também à minha amiga de longa data e futura colega de profissão, Mônica, por todo o apoio constante e pela incrível amizade que pretendo manter para sempre.

Agradeço aos professores da graduação e a todos os educadores que já passaram pela minha vida e que, de alguma forma, contribuíram para este momento de conclusão.

Um agradecimento especial à minha orientadora, Prof^a Dr^a Luciane Crossetti, pelo seu incansável apoio e orientação.

Ao realizar este trabalho e observar de perto o atual cenário climático, com tantas tragédias no Rio Grande do Sul, não há um momento em que eu não lamente a tristeza dessa situação e o quanto sinto pelas pessoas que, de alguma forma, foram e continuam sendo atingidas por essas tragédias. Espero que este trabalho possa trazer mais luz a esse assunto e que as ações necessárias sejam tomadas para que tais tragédias não ocorram mais.

SUMÁRIO

Resumo	8
Abstract	9
Introdução	10
Objetivo	12
Objetivos específicos	12
Metodologia	12
Resultados e Discussão	13
1. Fenômenos Climáticos mencionados nas publicações	29
1.1 Variação de Temperatura	29
1.2 Precipitação	30
1.3 Inundação	31
1.4 Seca	32
1.5 Outros fenômenos climáticos relacionados	32
2. Patógenos e/ou Doenças	33
2.1 Bactérias	36
2.1.1 <i>Vibrio</i> spp.	36
2.1.2 Campilobacteriose (<i>Campylobacter</i> spp.)	37
2.1.3 <i>Salmonella</i> spp.	37
2.1.4 Leptospirose (<i>Leptospira</i> spp.)	38
2.1.5 Outras Doenças Transmitidas pela Água Através de Bactérias	39
2.2 Vírus	40
2.2.1 Norovírus	40
2.2.2 Vírus da Dengue	40
2.2.3 Outras Doenças Transmitidas pela Água Através de Vírus	41
2.3 Protozoários	42
2.3.1 Criptosporidiose (<i>Cryptosporidium</i> spp.)	42
2.3.2 Malária (<i>Plasmodium</i>)	42
2.3.3 Giardíase (<i>Giardia lamblia</i>)	43
2.3.3 Outras Doenças Transmitidas pela Água Através de Protozoários	43

2.4	Helmintos	44
2.5	Algas e Cianobactérias	44
2.6	Doenças Diarreicas, Gastrointestinais e Condições Médicas	45
3.	Problemas Gerais Mencionados nas Publicações Revisadas	46
4.	Cenários Futuros Mencionados nas Publicações Revisadas	47
5.	Soluções Mencionadas pelas Publicações Revisadas	48
6.	Impacto das Mudanças Climáticas na Transmissão de Doenças	
	Transmitidas pela Água no Brasil	50
6.1	No Rio Grande do Sul	51
	Conclusão	53
	Referências	55

Impacto das Mudanças Climáticas na Propagação de Doenças Transmitidas pela Água: Uma Revisão

Resumo: O aumento de gases de efeito estufa na atmosfera, causado por ações antropogênicas, tem provocado mudanças climáticas. Isso é evidenciado pelo aumento das temperaturas, pelas mudanças nos padrões de precipitação, pelo aumento do nível do mar, entre outros fatores. Essas alterações aumentam a incidência de doenças transmitidas pela água, seja diretamente ou indiretamente, impactando a saúde pública global. Este trabalho teve como objetivo revisar a literatura científica sobre o assunto, visando identificar informações acerca das doenças transmitidas pela água e a possível influência das mudanças climáticas na disseminação e propagação dessas doenças. A revisão englobou artigos de 2009 a 2023, no indexador Web of Science, com as seguintes palavras-chave: “waterborne disease AND climate change”. Após aplicar o filtro do ano das publicações, a busca resultou em 280 artigos, dos quais 50 foram selecionados por ordem de relevância e de acordo com os objetivos da pesquisa. Foram identificados 16 diferentes fenômenos climáticos, sendo a precipitação a principal entre eles, presente em 88% das publicações. Setenta patógenos e/ou doenças foram identificados, sendo a cólera, causada pelo *Vibrio cholerae*, a doença mais citada (44% das publicações). Poucas publicações citaram a situação no Brasil, então, através do último relatório do IPCC, foi analisado o que já se sabe sobre a perspectiva das mudanças climáticas no Brasil e, mais especificamente, no Estado do Rio Grande do Sul. Foi visto que períodos de longas secas são previstos principalmente nas regiões Sudeste e Nordeste do país, onde há muitos problemas de infraestrutura inadequada e saneamento deficiente, contribuindo para o aumento de doenças transmitidas pela água. Já no Rio Grande do Sul, o relatório relata o aumento da frequência e intensidade das chuvas, o que de fato foi observado principalmente no último ano, onde diversas tragédias ocorreram pelo estado devido à forte precipitação. De forma geral, foi percebido que as mudanças climáticas de fato irão promover o crescimento e expansão desses patógenos, porém, ainda são necessários mais estudos para verificar o efeito individual desses fenômenos em cada um desses patógenos.

Palavras-chave: doenças transmitidas pela água; fenômenos climáticos; mudança climática.

Impact of Climate Change on the Spread of Waterborne Diseases: A Review

Abstract: The increase in greenhouse gases in the atmosphere, caused by anthropogenic activities, has led to climate change. This is evidenced by rising temperatures, changes in precipitation patterns, rising sea levels, and other factors. These alterations increase the incidence of waterborne diseases, either directly or indirectly, impacting global public health. This study aimed to review the scientific literature on the subject, seeking to identify information about waterborne diseases and the possible influence of climate change on their spread and propagation. The review included articles from 2009 to 2023, indexed in the Web of Science, with the following keywords: “waterborne disease AND climate change”. After applying the publication year filter, the search resulted in 280 articles, of which 50 were selected based on relevance and alignment with the research objectives. Sixteen different climatic phenomena were identified, with precipitation being the most prominent, present in 88% of the publications. Seventy pathogens and/or diseases were identified, with cholera, caused by *Vibrio cholerae*, being the most cited disease (44% of the publications). Few publications mentioned the situation in Brazil, so using the latest IPCC report, an analysis was conducted on the current understanding of climate change in Brazil, specifically in the state of Rio Grande do Sul. It was observed that long periods of drought are expected mainly in the Southeast and Northeast regions of the country, where there are significant issues with inadequate infrastructure and poor sanitation, contributing to the increase in waterborne diseases. In Rio Grande do Sul, the report notes an increase in the frequency and intensity of rainfall, which was indeed observed particularly in the last year, where several tragedies occurred throughout the state due to heavy precipitation. Overall, it was found that climate change will indeed promote the growth and spread of these pathogens; however, more studies are needed to verify the individual effect of these phenomena on each of these pathogens.

Keywords: waterborne diseases; climatic phenomena; climate change.

Impacto das Mudanças Climáticas na Propagação de Doenças Transmitidas pela Água: Uma Revisão

Introdução

O aquecimento da Terra está acontecendo rapidamente devido ao aumento das concentrações de dióxido de carbono (CO₂) e outros gases de efeito estufa na atmosfera, como óxido nitroso (NO₂) e metano (CH₄), resultantes principalmente da combustão de combustíveis fósseis e desmatamento [1] [2]. Desde o século XIX, com a Revolução Industrial, as atividades antropogênicas elevaram significativamente os níveis desses gases na atmosfera, com a concentração média mensal de CO₂ na atmosfera subindo de 280 partes por milhão (ppm) antes de 1750 para quase 400 ppm em junho de 2013 [3] [4].

Segundo a definição da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (UNFCCC), a mudança climática refere-se às alterações no clima que podem ser atribuídas direta ou indiretamente às atividades humanas que modificam a composição da atmosfera global, além da variabilidade climática natural [3]. As projeções indicam que, sem reduções significativas nas emissões de gases de efeito estufa, a temperatura global pode aumentar adicionalmente entre 1,5°C e 2°C até 2100 [5].

As mudanças climáticas globais se evidenciam por meio de aumentos graduais nas temperaturas do ar e dos oceanos, alterações na precipitação média anual e na sazonalidade, além de eventos extremos como secas prolongadas e chuvas intensas. Essas mudanças impactam o ciclo hidrológico, resultando no aumento do nível do mar e em inundações [6] [7] [8] [9].

Esses impactos serão significativos em todo o mundo, gerando mudanças nos padrões de transmissão de doenças infecciosas, incluindo aquelas transmitidas pela água. O aquecimento global e os fenômenos climáticos citados, podem exacerbar a propagação dessas doenças [10].

As doenças transmitidas pela água representam uma grande preocupação para a saúde pública. A Organização Mundial da Saúde (OMS) estima que 1,1 bilhão de pessoas consomem água contaminada por fezes, e cerca de 1,8 bilhão de pessoas morrem anualmente de diarreia [11]. Essas doenças são causadas por patógenos como bactérias, vírus, protozoários, helmintos e algas presentes em água contaminada [12] [13], levando a complicações que variam de sintomas

semelhantes aos da gripe a doenças graves, causando danos em órgãos, e até mesmo morte [9].

Alterações nos ecossistemas, desencadeadas por períodos de seca, enchentes, incêndios e outras condições climáticas extremas, podem levar à uma proximidade não desejada entre espécies animais e humanas. Essa proximidade pode antecipar mudanças na prevalência de doenças tanto em humanos quanto em animais [1]. Não só grandes animais serão impactados, mas também pequenos insetos e roedores, tendo em vista que eles podem ser vetores de doenças transmitidas pela água, seja de forma direta ou indireta [1] [11]. Esses organismos podem alterar o tempo, intensidade e distribuição de doenças infecciosas em resposta às variações de temperatura, precipitação e umidade [11].

Compreender as vias de infecção e o destino dos patógenos microbianos associados a fenômenos climáticos é crucial para prever os riscos [14]. As crianças, em particular, são mais vulneráveis a essas doenças, tendo mais causas de mortes por doenças transmitidas pela água do que por violência direta, segundo dados da UNICEF [15].

A relação entre clima e infecções transmitidas pela água é uma questão prioritária de pesquisa em saúde pública [16]. As mudanças climáticas representam uma grande ameaça à humanidade, especialmente em nações de renda baixa e média [3]. Segundo a OMS, as mudanças climáticas são responsáveis por aproximadamente 150.000 mortes anuais, com projeções indicando um aumento de 250.000 mortes adicionais por ano entre 2030 e 2050, devido a condições como fome, doenças infecciosas e estresse causado pelas variações de temperatura [2]. Portanto, a compreensão da relação entre as mudanças climáticas, os fenômenos climáticos e a disseminação de doenças pela água torna-se uma prioridade essencial para a saúde global.

Objetivo

O objetivo geral desta pesquisa abrange uma análise das doenças transmitidas pela água e a possível influência das mudanças climáticas para a disseminação e propagação destas.

Objetivos específicos

- 1) Revisar as doenças transmitidas pela água, direta ou indiretamente.
- 2) Compreender as características destas doenças, causas e impactos na saúde pública, identificando os vetores e também aquelas associadas a contaminações diretas da água.
- 3) Estabelecer possíveis relações entre as mudanças climáticas e sua influência sobre o surgimento, disseminação e intensificação das doenças transmitidas pela água, considerando as alterações nos padrões climáticos e sua ligação com a ecologia dessas doenças, identificando os mecanismos (ex. ciclones, secas, inundações e variações de temperatura, etc), considerando seus impactos nas populações de vetores e na disseminação dos patógenos.
- 4) Elaborar considerações específicas sobre os cenários previstos para o Brasil, e em específico para o Rio Grande do Sul, em relação às doenças transmitidas pela água. Serão abordados possíveis riscos, locais mais suscetíveis, com intuito de pensar estratégias de adaptação e mitigação que podem ser pensadas e adotadas para enfrentar esses desafios de saúde pública.

Metodologia

Para a revisão sobre doenças transmitidas pela água, foi realizada uma busca bibliográfica no indexador científico Web of Science utilizando as palavras-chave "waterborne disease" e "climate change", que traduzindo são "doenças transmitidas pela água" e "mudança climática". A busca ocorreu no dia 3 de março de 2024.

Este estudo baseou-se em uma abordagem de revisão bibliográfica ampla, cobrindo publicações de 2009 a 2023. Os artigos foram selecionados com base na relevância, que classifica os registros em ordem decrescente com base em um sistema de classificação que considera quantos termos de pesquisa são

encontrados em cada registro (os registros com a classificação mais alta aparecem no topo da lista), levando em conta, principalmente, o título, o resumo e as palavras-chave. Considerando-se os objetivos do presente estudo, não foi aplicado filtro geográfico específico, permitindo a inclusão de estudos de diversas localidades ao redor do mundo. A revisão englobou uma variedade de tipos de documentos, tais como artigos, revisões e outros materiais científicos encontrados na busca.

Um total de 280 publicações científicas foram indicados pela busca e, então, foram selecionadas as primeiras 50 publicações científicas por ordem de relevância. A partir delas foi criado um quadro compilando algumas informações-chave, tais como referências bibliográficas, regiões geográficas abordadas, tipos de fenômenos climáticos mais frequentemente relacionados, doenças e patógenos correlacionados e métodos de pesquisa empregados. A escolha de 50 publicações foi feita levando em consideração que a busca foi abrangente e as informações começaram a se repetir ao longo da revisão, indicando que a seleção foi suficiente para capturar todas as informações necessárias e relevantes para os objetivos da pesquisa, conseguindo captar tendências. As publicações que não se encaixavam na proposta do estudo foram excluídas.

Resultados e Discussão

Foram identificados 16 diferentes fenômenos climáticos e 70 patógenos e/ou doenças nas 50 publicações analisadas. A seleção incluiu 58% de artigos originais, 40% de revisões e 2% de material editorial. A maior parte (66%) consistiu em revisões bibliográficas que abordavam especificamente as doenças transmitidas pela água em relação aos efeitos das mudanças climáticas, ou incluíam esse tópico entre os principais assuntos discutidos (Quadro 1).

A maioria das publicações revisadas (38%) realizou uma revisão geral sem se concentrar em uma única região de estudo, abrangendo diversos locais ao redor do mundo. Dentre aquelas que indicaram a localidade, a Ásia foi o continente com maior percentual de estudos (26%), seguida da Europa (14%) e América do Norte (12%). Tanto a África quanto a América Central representaram 4% dos estudos cada, enquanto a Oceania e a América do Sul tiveram apenas 2% de foco, correspondendo a apenas um estudo para cada continente (Quadro 1).

Quadro 1. Trabalhos selecionados pela busca bibliográfica e as respectivas regiões geográficas abordadas, tipos de fenômenos climáticos relacionados, patógenos e/ou doenças correlacionadas e métodos de pesquisa empregados.

Nº	Referência	Região Geográfica Abordada	Tipos de Fenômenos Climáticos Relacionados	Patógenos e/ou Doenças Correlacionadas	Métodos de Pesquisa Empregados
1	Funari, E.; Manganeli, M. & Sinisi. 2012. Impact of climate change on waterborne diseases. <i>Ann Ist Super Sanità</i> 48 (4): 473-487. doi.org/10.4415/ann_12_04_13	Geral	Inundação, seca, tempestade, precipitação, variação de temperatura, enchente e aumento do nível do mar	<i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Legionella pneumophila</i> (Doença dos Legionários), Amebas, <i>Cryptosporidium</i> (Criptosporidiose), Giardíase, <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Campylobacter</i> (Campilobacteriose), Norovírus, <i>Salmonella enterica</i> serovar Typhi (Febre Tifoide), <i>Salmonella enterica</i> serovar Paratyphi (Febre Paratifoide), <i>Streptobacillus moniliformis</i> , <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), Hepatite A, <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (Vibriose Não Colérica), Gastroenterite, Diarreia e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
2	Jung, Y.-J.; Khant, N. A.; Kim, H. & Namkoong, S. 2023. Impact of Climate Change on Waterborne Diseases: Directions towards Sustainability. <i>Water</i> 15, 1298. doi.org/10.3390/w15071298	Sudeste Asiático (Myanmar, Filipinas, Tailândia e Vietnã)	Inundação, seca, umidade, aumento do nível do mar, ciclone e tufão	<i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), <i>S. Typhi</i> (Febre Tifoide), <i>S. Paratyphi</i> (Febre Paratifoide) e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
3	Semenza, J. C.; Herbst, S.; Rechenburg, A.; Suk, J. E.; Höser, C.; Schreiber, C. & Kistemann, T. 2012. Climate Change Impact	Europa	Variação de temperatura, umidade, precipitação, inundação e seca	<i>Campylobacter</i> sp. (Campilobacteriose), <i>Cryptosporidium</i> sp. (Criptosporidiose), <i>Listeria</i> sp. (Listeriose), Norovirus, <i>Salmonella</i> sp. (Salmonelose) e <i>Vibrio</i> sp. (Vibriose Não Colérica)	Revisão Bibliográfica

	Assessment of Food- and Waterborne Diseases. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 42(8), 857–890. doi.org/10.1080/10643389.2010.534706				
4	Levy, K.; Smith, S. M. & Carlton, E. J. 2018. Climate Change Impacts on Waterborne Diseases: Moving Toward Designing Interventions. Curr Envir Health Rpt 5, 272–282. doi.org/10.1007/s40572-018-0199-7	Geral	Variação de temperatura, precipitação, inundações, seca e El Niño Oscilação Sul	Doenças Diarreicas	Revisão Bibliográfica
5	Semenza, J. C.; Höser, C.; Herbst, S.; Rechenburg, A.; Suk, J. E.; Frechen, T. & Kistemann, T. 2012. Knowledge Mapping for Climate Change and Food- and Waterborne Diseases. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 42(4), 378–411. doi.org/10.1080/10643389.2010.518520	Europa	Variação de temperatura, umidade, precipitação, inundações e seca	<i>Campylobacter</i> sp. (Campilobacteriose), <i>Cryptosporidium</i> sp. (Criptosporidiose), <i>Listeria</i> sp. (Listeriose), Norovírus, <i>Salmonella</i> sp. e <i>Vibrio</i> sp. (Vibriose Não Colérica)	Revisão Bibliográfica
6	Walker, J. 2018. The influence of climate change on waterborne disease and Legionella: a review. Perspectives in Public Health., 138(5):282-286. doi.org/10.1177/175791391879119	Geral	Variação de temperatura, seca, precipitação, furacão, aumento do nível do mar e inundações	<i>Vibrio</i> sp. (Cólera), Doenças Diarreicas, Micobactérias não tuberculosas (MNT), <i>Legionella pneumophila</i> (Doença dos Legionários), Malária, <i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter</i> (Campilobacteriose), Norovírus, Hepatite A, <i>Cryptosporidium</i> (Criptosporidiose), <i>Giardia</i> (Giardíase), <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Pseudomonas</i>	Revisão Bibliográfica

	8			<i>aeruginosa</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp. (Shigelose), <i>Staphylococcus aureus</i> e <i>Yersinia</i> spp. (Yersiniose)	
7	Chhetri, B. K.; Galanis, E.; Sobie, S.; Brubacher, J.; Balshaw, R.; Otterstatter, M.; Mak, S.; Lem, M.; Lysyshyn, M.; Murdock, T.; Fleury, M.; Zickfeld, K.; Zubel, M.; Clarkson, L. & Takaro, T. K. 2019. Projected local rain events due to climate change and the impacts on waterborne diseases in Vancouver, British Columbia, Canada. <i>Environmental Health</i> 18 (1): 116. doi.org/10.1186/s12940-019-0550-y	Vancouver (Canadá)	Precipitação e seca	Criptosporidiose e Giardíase	Uso de modelos climáticos regionais para realização de projeções climáticas para explorar mudanças da incidência local de criptosporidiose e giardíase.
8	Nichols, G.; Lake, I. & Heaviside, C. 2018. Climate Change and Water-Related Infectious Diseases. <i>Atmosphere</i> , 9, 385. doi.org/10.3390/atmos9100385	Geral	Variação de temperatura, tempestade, furacão, aumento do nível do mar, umidade, El Niño Oscilação Sul, inundações, precipitação e seca	<i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), Febre Tifoide, Doenças Diarreicas, Proliferação de algas nocivas (HABS), Amebas, Cianobactérias, <i>Pseudomona aeruginosa</i> , <i>Trichobilharzia</i> spp., <i>Schistosoma</i> spp. (Esquistossomose), Dinoflagelados, Diatomáceas, Algas marinhas tóxicas, <i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose), <i>Mycobacterium</i> spp., <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Burkholderia pseudomallei</i> (Melioidose), <i>Vibrio vulnificus</i> (Vibriose Não Colérica), <i>Legionella</i> spp. (Doença dos Legionários), <i>Ascaris lumbricoides</i> , <i>Cyclospora cayetanensis</i> , <i>Bacillus anthracis</i> (Antraz), Norovírus, <i>Vibrio parahaemolyticus</i> (Vibriose Não Colérica), <i>Shigella</i> (Shigelose), Febre Paratifoide, Vírus da Dengue, Malária, <i>Campylobacter</i> , Hepatite A, <i>Giardia</i> (giardíase), <i>Dracunculus medinensis</i> (Verme da Guiné), Nematóides (<i>Ascaris</i> , <i>Trichuris</i> e Ancilostomídeos), <i>Naegleria fowleri</i> , <i>Leptospira</i> spp. (Leptospirose), <i>Escherichia coli</i> produtora de toxina Shiga (STEC)/ <i>E. coli</i>	Revisão Bibliográfica

				O157 e Condições Médicas	
9	Semenza, J. C. 2020. Cascading risks of waterborne diseases from climate change. <i>Nat Immunol</i> 21, 484–487. doi.org/10.1038/s41590-020-0631-7	Geral	Varição de temperatura, seca, aumento do nível do mar, precipitação, incêndio florestal e inundação.	<i>Cryptosporidium</i> (Criptosporidiose), Leptospirose, Doenças Diarreicas, <i>Escherichia coli</i> O157, <i>Shigella</i> (Shigelose), <i>Salmonella</i> , <i>Campylobacter</i> (Campilobacteriose) e <i>Vibrio</i> spp. (Vibriose Não Colérica)	Revisão Bibliográfica
10	Coffey, R.; Benham, B.; Krometis, L. A.; Wolfe, M. L. & Cummins, E. 2014. Assessing the Effects of Climate Change on Waterborne Microorganisms: Implications for EU and U.S. Water Policy. <i>Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal</i> , 20(3), 724–742. doi.org/10.1080/10807039.2013.802583	Estados Unidos e a União Europeia	Varição de temperatura, precipitação, inundação e seca	<i>Escherichia coli</i>	Revisão da legislação regulatória existente sobre qualidade da água nos EUA e na UE.
11	Schijven, J.; Bouwknegt, M.; de Roda Husman, A. M.; Rutjes, S.; Sudre, B.; Suk, J. E. & Semenza, J. C. 2013. A Decision Support Tool to Compare Waterborne and Foodborne Infection and/or Illness Risks Associated with Climate Change. <i>Risk Analysis</i> , 33: 2154-2167. doi.org/10.1111/risa.12077	Arizona, Estados Unidos	Varição de temperatura, seca, precipitação e tempestade	Norovírus, <i>Campylobacter</i> (Campilobacteriose), <i>Cryptosporidium</i> (Criptosporidiose) e Vibriose Não Colérica	Foi utilizada a ferramenta matemática para Avaliação Quantitativa do Risco Microbiano das Alterações Climáticas.
12	Moors, E.; Singh, T.; Siderius, C.; Balakrishnan S. & Mishra A. 2013. Climate change and waterborne diarrhoea in northern India: Impacts and adaptation strategies.	Bacia do Ganges, no norte da Índia	Varição de temperatura, precipitação, seca e umidade	Diarreia e Rotavírus	Foi utilizado um conjunto de simulações de modelos climáticos

	Science of The Total Environment, 468–469, S139-S151. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.021.				regionais (RCM). Além disso, houve consulta à literatura.
13	Semenza, J. C. & Ko A. I. 2023. Waterborne Diseases That Are Sensitive to Climate Variability and Climate Change. N Engl J Med. 389(23):2175-2187. doi.org/10.1056/NEJMra2300794	Geral	Varição de temperatura, precipitação, umidade, inundação, seca, aumento do nível do mar, enchente e tempestade	Salmonelose, Campilobacteriose, Rotavírus, Vibriose Não Colérica, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), <i>Cryptosporidium</i> (Criptosporidiose), Diarreia, Leptospirose, Legionelose e <i>Giardia</i> (Giardíase)	Revisão Bibliográfica
14	Gill G. 2022. Eco-epidemiology of infectious diseases and climate change. Health Problems of Civilization;16(1):15-40. doi.org/10.5114/hpc.2022.112782	Geral	Varição de temperatura, precipitação, furacão, seca, umidade e inundação	Vírus da Dengue, Doenças Diarreicas, <i>Cryptosporidium hominis</i> (Criptosporidiose), <i>Escherichia coli</i> , <i>Campylobacter jejuni</i> (Campilobacteriose), <i>Giardia lamblia</i> (Giardíase), <i>Aeromonas hydrophila</i> , <i>Pseudomonas aeruginosa</i> , <i>Salmonella</i> spp., <i>Shigella</i> spp. (Shigelose), <i>Staphylococcus aureus</i> , <i>Yersinia</i> spp., Antraz e <i>Legionella pneumophila</i> (Doença dos Legionários)	Revisão Bibliográfica
15	Herrador, B. R. G.; de Blasio, B. F.; MacDonald, E. et al. 2015. Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review. Environ Health 14, 29. doi.org/10.1186/s12940-015-0014-y	Geral	Precipitação e variação de temperatura	Doenças Gastrointestinais, Cólera, Campilobacteriose, Febre Tifoide, Shigelose, Criptosporidiose, Giardíase, Hepatite A e Febre Paratifoide	Revisão Bibliográfica
16	Edelson, P. J.; Harold, R.; Ackelsberg, J.; Duchin, J. S.; Lawrence, S. J.; Manabe, Y. C.; Zahn, M.; LaRocque, R. C. 2023. Climate Change and the	América do Norte, com foco nos Estados Unidos	Varição de temperatura, precipitação, inundação, seca e tempestade	Malária, <i>Vibrio</i> spp., Salmonelose, Shigelose, <i>Campylobacter</i> spp. (Campilobacteriose), <i>Escherichia coli</i> diarreio-gênica, Yersiniose, Norovírus, Rotavírus, Giardíase, Criptosporidiose, <i>Escherichia coli</i> , Doenças Gastrointestinais e Vibriose Não Colérica	Revisão Bibliográfica

	Epidemiology of Infectious Diseases in the United States. Clinical Infectious Diseases. 76 (950–956). doi.org/10.1093/cid/ciac697				
17	Semenza, J. C., Rocklöv, J. & Ebi, K. L. 2022. Climate Change and Cascading Risks from Infectious Disease. Infect Dis Ther 11, 1371–1390. doi.org/10.1007/s40121-022-00647-3	Geral	Varição de temperatura, furacão, precipitação, inundação, seca e enchente	Vírus da Dengue, Malária, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), Vibriose Não Colérica, <i>Leptospira</i> spp. (Leptospirose), <i>Schistosoma</i> spp. (Esquistossomose) e Doenças Diarreicas	Revisão Bibliográfica
18	Hodges, M.; Belle, J.; Carlton, E. et al. 2014. Delays in reducing waterborne and water-related infectious diseases in China under climate change. Nature Clim Change 4, 1109–1115. doi.org/10.1038/nclimate2428	China	Varição de temperatura	Doenças Diarreicas, Malária, Vírus da Dengue e Vírus da Encefalite Japonesa	Projeção dos impactos das mudanças climáticas nas doenças atribuíveis à água, saneamento e higiene, explorando a sensibilidade à temperatura das doenças diarreicas, vetores, modelos climáticos globais, infraestruturas e alterações demográficas.

19	Abedin, M. A.; Collins, A. E.; Habiba, U. et al. 2019. Climate Change, Water Scarcity, and Health Adaptation in Southwestern Coastal Bangladesh. <i>Int J Disaster Risk Sci</i> 10, 28–42. doi.org/10.1007/s13753-018-0211-8	Sudoeste de Bangladesh	Precipitação, variação de temperatura, aumento do nível do mar, inundação, seca, ciclone, tempestade e salinização	Diarreia, Cólera, Condições Médicas e Doenças Gastrointestinais	Questionário de acordo com os objetivos do estudo que foi entregue para a população responder além de revisar a literatura.
20	Singh B. B.; Sharma R; Gill J. P.; Aulakh R. S. & Banga H. S. 2011. Climate change, zoonoses and India. <i>Rev Sci Tech</i> . 30(3):779-788. doi.org/10.20506/rst.30.3.2073	Índia	Variação de temperatura, precipitação, seca e inundação.	Vírus da Dengue, Vírus da Encefalite Japonesa, Equinococose, Teníase, Toxoplasmose, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), Melioidose, Leptospirose, Hepatite E (HEV), Criptosporidiose, Entamoeba histolítica, Giardíase, Paragonimíase, Gnatostomíase, Esquistossomose, Dracunculose, Fasciolopsíase, Difilobotriasis e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
21	Na W.; Lee K. E.; Myung H. N.; Jo S. N. & Jang J. Y. 2016. Incidences of Waterborne and Foodborne Diseases After Meteorologic Disasters in South Korea. <i>Ann Glob Health</i> . 82(5):848-857. doi.org/10.1016/j.aogh.2016.10.007	Coréia do Sul	Precipitação, tufão, enchente e inundação	<i>Vibrio vulnificus</i> (Vibriose Não Colérica), Cólera, Norovírus, Shigelose, Febre Tifoide e Febre Paratifoide	Avaliação das mudanças nacionais de curto prazo na incidência de doenças transmitidas pela água e pelos alimentos após desastres meteorológicos locais (inundações e tufões).
22	Hofstra N. 2011. Quantifying the impact of climate change on enteric waterborne pathogen	Geral	Variação de temperatura e precipitação	Diarreia	Revisão Bibliográfica

	concentrations in surface water. Current Opinion in Environmental Sustainability. 3 (6):471-479. doi.org/10.1016/j.cosust.2011.10.006				
23	Trájer, A. J.; Sebestyén, V.; Domokos, E. & Abonyi, J. 2022. Indicators for climate change-driven urban health impact assessment. Journal of Environmental Management. 323. doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116165	Veszprém, Hungria	Variação de temperatura	Salmonelose, Campilobacteriose, Vírus Chikungunya, Malária e Leishmaniose	Uso de indicadores relacionados à saúde; Seleção de doenças mais prevalentes (doenças transmitidas por alimentos, doenças transmitidas por vetores e doenças transmitidas pelo ar); Criação de modelo multivariado baseado no Modelo de Sistema Climático Comunitário.
24	Mousavi, A.; Ardalán, A.; Takian, A. et al. 2020. Climate change and health in Iran: a narrative review. J Environ Health Sci Engineer 18, 367-378.	Irã	Variação de temperatura, precipitação, inundação, seca, enchente e tempestade.	Malária, Leishmaniose, Diarreia, Cólera, Shigella, Diarreia, Febre Tifoide, Vírus da Dengue e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica

	doi.org/10.1007/s40201-020-00462-3				
25	Kim C. L.; Agampodi S.; Marks F.; Kim J. H. & Excler J. L. 2023. Mitigating the effects of climate change on human health with vaccines and vaccinations. 11:1252910. doi.org/10.3389/fpubh.2023.1252910	Geral	Variação de temperatura, seca, inundação, precipitação, aumento do nível do mar e tufão	Cólera, Leptospirose, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), <i>S. typhi</i> (Febre Tifoide), <i>Escherichia coli</i> , Rotavírus, <i>Salmonella</i> spp., Esquistossomose, Ancilostomíase, Malária, Vírus da Dengue, Vírus Zika, Vírus Chikungunya, Vírus da Febre Amarela, Leishmaniose e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
26	Nag R. 2023. A methodological framework for ranking communicable and non-communicable diseases due to climate change – A focus on Ireland. Science of The Total Environment. 880:163296. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163296	Irlanda	Variação de temperatura e a umidade	Malária, Leishmaniose, Vírus da Dengue, Vírus da Febre Amarela, Cólera, Vibriose Não Colérica, Cianobactérias, Diarreia, Rotavírus, Esquistossomose e Condições Médicas	Desenvolvimento de um método de modelagem.
27	Schnitter, R.; Verret, M.; Berry, P.; Fook, T. C. T.; Hales, S.; Lal, A. & Edwards, S. 2019. An Assessment of Climate Change and Health Vulnerability and Adaptation in Dominica. Int. J. Environ. Res. Public Health, 16, 70. doi.org/10.3390/ijerph16010070	Dominica	Tempestade, inundação, deslizamento de terra, furacão, seca, variação de temperatura e precipitação	Doenças Gastrointestinais, Leptospirose, Malária, Vírus Chikungunya e Vírus da Dengue	Explora visão geral da Avaliação de Vulnerabilidade e Adaptação local.
28	Harper, S. L.; Edge, V. L.; Schuster-Wallace, C. J. et al. 2011. Weather, Water Quality and Infectious Gastrointestinal Illness in Two Inuit Communities in Nunatsiavut, Canada: Potential	Nunatsiavut, Canadá	Precipitação	Doenças Gastrointestinais	Análise integrada de dados meteorológicos e de água superficial para explorar

	Implications for Climate Change. <i>EcoHealth</i> 8, 93–108. doi.org/10.1007/s10393-011-0690-1				associações entre clima, qualidade da água e ocorrência de doenças gastrointestinais infecciosas.
29	Zeb, H.; Yaqub, A.; Ajab, H.; Zeb, I.; Khan, I. 2023. Effect of Climate Change and Human Activities on Surface and Ground Water Quality in Major Cities of Pakistan. <i>Water</i> , 15, 2693. doi.org/10.3390/w15152693	Paquistão (incluindo Karachi, Lahore, Peshawar, Abbottabad e Gilgit)	Precipitação, inundação, tempestade, variação de temperatura, seca, aumento do nível do mar e umidade	Vírus da Dengue, Malária, Diarreia, Febre Tifoide, Doenças Gastrointestinais, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), <i>Escherichia coli</i> , Hepatite A, Poliomielite e Condições Médicas	Análise de parâmetros biológicos e físico-químicos extraídos de relatórios locais. Determinação da realidade do estado da qualidade da água potável nas cinco principais cidades urbanas.
30	Levy, K.; Woster, A. P.; Goldstein, R. S. & Carlton, E. J. 2016. Untangling the Impacts of Climate Change on Waterborne Diseases: a Systematic Review of Relationships between Diarrheal Diseases and Temperature, Rainfall, Flooding, and Drought. <i>Environ Sci Technol.</i> 50(10):4905-4922. doi.org/10.1021/acs.est.5b06186	Geral	Variação de temperatura, precipitação, seca e inundação	Doenças Diarreicas, <i>Escherichia coli</i> patogênica, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), Rotavírus, <i>Escherichia coli</i> enterotoxigênica (ETEC) e Norovírus	Revisão Bibliográfica

31	Blázquez, M. C. T. 2010. Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010 [Climate change and health. SESPAS report 2010]. Gac Sanit. 24 Suppl 1:78-84. doi.org/10.1016/j.gaceta.2010.10.004	Espanha	Varição de temperatura, precipitação, inundação, seca e incêndio florestal	<i>Vibrio parahaemolyticus</i> (Vibriose Não Colérica), Criptosporidiose, Giardíase, <i>Salmonella</i> spp., <i>Escherichia coli</i> O157, Antraz, <i>Clostridium</i> spp., <i>Yersinia</i> spp. (Yersiniose), <i>Listeria monocytogenes</i> (Listeriose), Rotavírus, Hepatite E e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
32	Ikiroma, I. A. & Pollock, K. G. 2021. Influence of weather and climate on cryptosporidiosis-A review. Zoonoses Public Health. 68(4):285-298. doi.org/10.1111/zph.12785	Geral	Varição de temperatura, precipitação, seca, umidade e El Niño Oscilação Sul	<i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose)	Revisão Bibliográfica
33	Bush, K. F.; Luber, G.; Kotha, S. R.; Dhaliwal, R. S.; Kapil, V.; et al. 2011. Impacts of Climate Change on Public Health in India: Future Research Directions. Environmental Health Perspectives, 119(6), 765-770. doi.org/10.1289/ehp.1003000	Índia	Inundação, variação de temperatura e precipitação	Vírus da Dengue, Vírus da Febre Amarela, Cólera, Vírus Chikungunya, Febre Tifoide, Malária e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
34	Cann K. F.; Thomas D. R.; Salmon R. L., Wyn-Jones A. P. & Kay D. 2013. Extreme water-related weather events and waterborne disease. Epidemiology and Infection. 141(4):671-686. doi.org/10.1017/S0950268812001653	Geral	Precipitação, inundação, seca, tempestade, El Niño Oscilação Sul, furacão e ciclone	Cólera, <i>Leptospira</i> spp. (Leptospirose), Doenças Gastrointestinais, <i>Campylobacter</i> spp. (Campilobacteriose), <i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose), Norovírus e <i>Vibrio vulnificus</i> (Vibriose Não Colérica)	Revisão Bibliográfica
35	Siwak, A. M.; Baker, P. G.; Admire Dube. 2023. Biosensors as early warning detection systems for waterborne Cryptosporidium.	Geral	Não cita	<i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose)	Revisão Bibliográfica

	Water Sci Technol. 88 (3): 615–630. doi.org/10.2166/wst.2023.229				
36	Levy, B. S., & Patz, J. A. 2015. Climate Change, Human Rights, and Social Justice. <i>Ann Glob Health</i> . 81(3):310-322. doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.008	Geral	Variação de temperatura, precipitação e seca, aumento do nível do mar, ciclone, derretimento de geleiras e El Niño Oscilação Sul	Diarreia, Malária e Doenças Gastrointestinais	Revisão Bibliográfica
37	Teymouri, P., & Dehghanzadeh, R. 2022. Climate change and water-related diseases in developing countries of Western Asia: a systematic literature review. <i>Climate and Development</i> , 14(3), 222–238. doi.org/10.1080/17565529.2021.1911773	Oeste da Ásia	Variação de temperatura, precipitação, umidade, seca e inundação	Malária, Vírus da Dengue, <i>Vibrio cholerae</i> (Cólera), <i>Shigella sonnei</i> (Shigelose), Entamoeba histolítica, Brucelose, Febre Tifoide, Hepatite A e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
38	Young, I.; Sanchez, J. J. & Tustin, J. 2022. Recreational water illness in Canada: a changing risk landscape in the context of climate change. <i>Can J Public Health</i> 113, 940–943. doi.org/10.17269/s41997-022-00688-8	Canadá	Variação de temperatura e precipitação	Doenças Gastrointestinais, Norovírus, Proliferação de algas nocivas (HABs), <i>Naegleria fowleri</i> , Esquistossomose e Condições Médicas	Revisão Bibliográfica
39	Chersich, M. F.; Wright, C. Y.; Venter, F.; Rees, H.; Scorgie, F. & Erasmus, B. 2018. Impacts of Climate Change on Health and Wellbeing in South Africa. <i>Int. J. Environ. Res. Public Health</i> , 15, 1884.	África do Sul	Variação de temperatura, tempestade, inundação, El Niño Oscilação Sul, seca e precipitação	Malária, Vírus da Dengue, Vírus Zika, Diarreia e Esquistossomose	Revisão Bibliográfica

	doi.org/10.3390/ijerph15091884				
40	Mpindou, G.O.M.K.; Bueno, I. E.; Ramón, E. C. 2021. Review on Emerging Waterborne Pathogens in Africa: The Case of <i>Cryptosporidium</i> . <i>Water</i> , 13, 2966. doi.org/10.3390/w13212966	África do Sul	Variação de temperatura e precipitação	<i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose)	Revisão Bibliográfica
41	Levy K. 2017. Reducing Health Regrets in a Changing Climate. <i>The Journal of Infectious Diseases</i> . 215 (1):14–16. doi.org/10.1093/infdis/jiw522	Geral	Variação de temperatura, precipitação, inundações, seca e incêndio florestal	Malária, Diarreia, <i>Escherichia coli</i> diarreio gênica e <i>Escherichia coli</i> enterotoxigênica	Revisão Bibliográfica
42	Ashrafuzzaman, M.; Gomes, C. & Guerra, J. 2023. The Changing Climate Is Changing Safe Drinking Water, Impacting Health: A Case in the Southwestern Coastal Region of Bangladesh (SWCRB). <i>Climate</i> , 11, 146. doi.org/10.3390/cli11070146	Região Costeira Sudoeste de Bangladesh	Aumento do nível do mar, inundações, seca, tempestade, erosão, furacão, ciclone, maremoto, dilúvio, acidificação e salinização	Cólera, Febre Tifoide, Febre Paratifoide, Hepatite A, Hepatite E, Vírus da Dengue, Vírus da Febre Amarela, Febre Negra, Doenças Diarreicas, Doenças Gastrointestinais, Vírus Chikungunya, Malária, Vírus da Encefalite Japonesa, Vírus Ross River e Condições Médicas	A pesquisa empregou uma combinação de métodos qualitativos (estudos de caso, workshops, discussões em grupo (FGDs), entrevistas) e quantitativos (pesquisa de questionário de resposta fechada).
43	Phung, D., Huang, C., Rutherford, S. et al. 2015. Association between climate factors and diarrhoea in a Mekong Delta area. <i>Int J Biometeorol</i> 59, 1321–1331. doi.org/10.1007/s00484-014-0942-	Delta do Mekong no Vietnã	Variação de temperatura, aumento do nível do mar, precipitação e umidade	Diarreia, <i>Campylobacter</i> spp. (Campilobacteriose), <i>Salmonella</i> spp. e <i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose)	Análises explorando a relação entre fatores climáticos e diarreia a partir de dados locais.

	1				
44	Nusrat, F.; Haque, M.; Rollend, D.; Christie, G. & Akanda, A. S. 2022. A High-Resolution Earth Observations and Machine Learning-Based Approach to Forecast Waterborne Disease Risk in Post-Disaster Settings. <i>Climate</i> , 10, 48. doi.org/10.3390/cli10040048	Haiti	Variação de temperatura, precipitação, inundação, seca, furacão, ciclone e salinização	<i>Vibrio cholerae</i> (Cólera)	Desenvolvimento de modelos para identificar e determinar o impacto das variáveis ambientais e sociais que desempenham um papel significativo em surtos de cólera pós-desastre.
45	Rupasinghe, R.; Chomel, B. B. & Martínez-López B. 2022. Climate change and zoonoses: A review of the current status, knowledge gaps, and future trends. <i>Acta Trop</i> ; 226:106225. doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106225	Geral	Derretimento de geleiras, aumento do nível do mar, inundação, acidificação, precipitação, seca, tempestade, El Niño Oscilação Sul, tornado, furacão, tufão e ciclone	Malária, Cólera, Hantavírus, Leishmaniose, Vírus Zika, Vírus da Dengue, Vírus Chikungunya, <i>Campylobacter</i> spp. (Campilobacteriose), <i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Cryptosporidium</i> spp. (Criptosporidiose), <i>Leptospira</i> spp. (Leptospirose), Giardíase, Esquistossomose e Norovírus	Revisão Bibliográfica
46	Khedun, C. P.; Singh, V. P. 2014. Climate Change, Water, and Health: A Review of Regional Challenges. <i>Water Qual Expo Health</i> 6, 7–17. doi.org/10.1007/s12403-013-0107-1	Geral	Variação de temperatura, precipitação, seca, inundação, aumento do nível do mar, El Niño Oscilação Sul, tornado, ciclone e furacão	Malária, Vírus da Dengue e Hantavírus.	Revisão Bibliográfica
47	Douchet L.; Goarant C.; Mangeas M.; Menkes C.; Hinjoy S. & Herbreteau V. 2022. Unraveling the invisible leptospirosis in	Sudeste asiático	Precipitação, inundação, variação de temperatura e El Niño Oscilação Sul	Leptospirose	Utilização de dados históricos locais de leptospirose em

	mainland Southeast Asia and its fate under climate change. <i>Sci Total Environ</i> ; 832:155018. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155018				modelagem para identificar espacialmente os determinantes climáticos e ambientais da incidência da doença.
48	Herrador B. G., de Blasio B. F., Carlander A., et al. 2016. Association between heavy precipitation events and waterborne outbreaks in four Nordic countries, 1992-2012. <i>J Water Health</i> ;14(6):1019-1027. doi.org/10.2166/wh.2016.071;	Países Nórdicos (Dinamarca, Finlândia, Noruega e Suécia)	Precipitação	Doenças Gastrointestinais	Revisão Bibliográfica, distribuição de questionário online e uso de regressão logística
49	Rodríguez-Pacheco, F. L.; Jiménez-Villamizar, M. P.; & Pedraza-Álvarez, L. P. 2019. Efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana. <i>Duazary, Santa Marta</i> ,16: 319-331. doi.org/10.21676/2389783X.3186	Colômbia	Precipitação, seca e variação de temperatura	Vírus da Dengue, Vírus Zika e a Vírus Chikungunya	Revisão Bibliográfica
50	Mclver, L.; Woodward, A.; Davies, S.; Tibwe, T. & Iddings, S. 2014. Assessment of the Health Impacts of Climate Change in Kiribati. <i>Int. J. Environ. Res. Public Health</i> 11, 5224-5240. doi.org/10.3390/ijerph110505224	Kiribati	Seca e precipitação	Doenças Diarreicas, Vírus da Dengue, Cólera e Febre Tifoide	Elaboração de um plano de adaptação às mudanças climáticas

1. Fenômenos Climáticos mencionados nas publicações

Diversos fenômenos climáticos estão se intensificando globalmente e estão impactando os componentes da água e aumentando o risco de doenças transmitidas por ela [17]. A tabela 1 mostra os resultados relacionados aos fenômenos climáticos encontrados nas publicações revisadas.

Tabela 1. Fenômenos climáticos mencionados nas publicações analisadas.

Fenômeno Climático	%
Precipitação	88%
Variação de Temperatura	80%
Seca	72%
Inundação	64%
Aumento do Nível do Mar	28%
Tempestade	26%
Umidade	24%
Furacão	20%
El Niño-Oscilação Sul (ENSO)	18%
Ciclone	16%
Enchente	10%
Tufão	8%
Incêndio Florestal	6%
Acidificação do Oceano	4%
Tornado	4%
Deslizamento de Terra	2%

1.1 Variação de Temperatura

A temperatura desempenha um papel crucial na dinâmica de patógenos transmitidos pela água e na saúde pública em geral. Diferentes vírus exibem variações significativas em sua sensibilidade à temperatura, com algumas cepas sendo mais resistentes ao calor do que outras. Por exemplo, o vírus da hepatite A (HAV) não é facilmente afetado por mudanças de temperatura e alguns vírus só começam a ser inativados após um período de 10 dias de exposição a temperaturas elevadas, indicando que o aumento da temperatura não tem um efeito imediato sobre todos os vírus [17].

Além dos vírus, temperaturas mais altas não afetam todas as bactérias ambientais de maneira uniforme. No Mar Báltico, pequenas mudanças na temperatura podem resultar em um aumento significativo nas populações de

bactérias do gênero *Vibrio*, sugerindo que certas bactérias respondem de forma mais intensa e rápida às variações de temperatura [17].

Temperaturas mais altas ou mais baixas podem diretamente afetar a taxa de crescimento e reprodução dos patógenos aquáticos e, indiretamente, alterar as condições ambientais de maneiras que afetam os modos de transmissão dessas doenças, como a alteração dos habitats dos organismos vetores ou a mudança no comportamento humano em relação ao uso da água [6]. Além disso, temperaturas mais altas no ambiente podem ativar a expressão de genes de virulência em bactérias, que são responsáveis por conferir a capacidade de causar doenças. Já em ambientes mais frios, esses genes tendem a ficar inativos ou menos expressos [7].

Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC), há alta confiança de que as temperaturas tanto terrestres quanto oceânicas estão subindo. A frequência, duração e intensidade das ondas de calor estão aumentando em muitas regiões do mundo. Este aumento nas temperaturas e ondas de calor eleva a demanda e o consumo de água, criando condições propícias para o desenvolvimento e proliferação de patógenos oportunistas, aumentando a frequência de doenças transmitidas pela água [7].

Em geral, temperaturas muito altas da água aumentam a inativação de vírus, bactérias e parasitas, significando que patógenos podem ser eliminados mais rapidamente em água mais quente. Contudo, essa inativação não é uniforme para todos os tipos de patógenos [18]. Portanto, a temperatura tem um efeito complexo e multifacetado sobre a saúde pública e os ecossistemas aquáticos.

Todos os termos encontrados relacionados à temperatura, como 'aumento de temperatura', 'diminuição de temperatura', etc., foram agrupados sob 'variação de temperatura' e estão presentes em 80% das publicações revisadas.

1.2 Precipitação

A precipitação é um elemento essencial do ciclo hidrológico e um fator significativo na disseminação de patógenos transmitidos pela água. Eventos de chuvas intensas frequentemente precedem surtos de doenças transmitidas pela água. [19]. A precipitação influencia o transporte, a sobrevivência e a transmissão de diversos patógenos [6]. Mudanças climáticas aumentam a frequência, intensidade, duração e variabilidade desses eventos, acelerando a evaporação e

elevando o teor de água na atmosfera, o que resulta em um aumento global da precipitação [7].

Eventos de chuvas intensas podem mobilizar matéria fecal de animais selvagens ou domésticos, sobrecarregando estações de tratamento de água. Patógenos de origem fecal, animal ou humana, podem infiltrar-se no sistema de distribuição de água, causando surtos de doenças [7]. O aumento da precipitação também provoca turbulências e ressuspensão de sedimentos, espalhando os patógenos acumulados [20]. Chuvas fortes também podem transportar patógenos de excrementos humanos e animais presentes no solo para águas superficiais, expondo os indivíduos a esses agentes [21]. Eventos de precipitação excessiva podem aumentar a turbidez da água, mobilizando patógenos e aumentando o escoamento para rios, águas costeiras e poços, exacerbando a contaminação da água [22].

Por outro lado, quando há pouca chuva, os rios podem ter uma maior concentração de efluentes de esgoto, pois há menos água para diluí-los, aumentando o risco de infecções transmitidas pela água. A queda do lençol freático devido à falta de chuva pode aumentar o risco de contaminação das águas subterrâneas, pois a água contaminada pode infiltrar-se mais facilmente [16].

Todos os termos encontrados relacionados à precipitação, como 'chuva', 'chuva intensa', 'chuva extrema', etc., foram agrupados sob 'precipitação' e estão presentes em 88% das publicações revisadas.

1.3 Inundação

As inundações aumentam significativamente o risco de transmissão de doenças transmitidas pela água de forma direta e, indiretamente, por vetores [23]. Elas ocorrem com um aviso relativamente curto, gerando grandes perdas de vidas e propriedades [4]. As inundações espalham patógenos, transformando-se rapidamente em emergências de saúde pública. Elas podem atingir terrenos agrícolas, dispersando resíduos e contaminantes, além de gerar problemas de drenagem e bloqueios nos sistemas de esgoto, piorando a situação. Isso permite a acumulação de água contaminada que pode infiltrar-se em poços e sistemas de distribuição de água, aumentando o risco de surtos de doenças [7]. Além disso, as inundações podem atingir infraestruturas essenciais, como hospitais, comprometendo a prestação de serviços médicos, como ocorreu durante o furacão

Sandy em 2012 [24]. A contaminação de fontes naturais de água doce é ainda mais preocupante para populações que dependem de águas superficiais e subterrâneas para beber, resultando em um aumento de doenças transmitidas pela água [25].

O termo 'inundação' foi encontrado em 64% das publicações revisadas.

1.4 Seca

A seca pode ser um perigo oculto com potencial para causar um desastre de saúde pública [12]. Estima-se que as secas se tornem mais prolongadas e severas, especialmente em áreas suscetíveis a esse fenômeno [19]. Quando a água é escassa, as pessoas tendem a usar menos água para higiene pessoal e limpeza, o que pode aumentar a propagação de patógenos. Além disso, a diminuição da pressão no sistema de distribuição de água, causada pela escassez, pode permitir a infiltração de material orgânico contaminado, levando a uma maior contaminação microbiana da água. A falta de água também pode resultar na reutilização de águas residuais na agricultura, contaminando vegetais frescos e no uso inseguro de água não tratada [17].

Os impactos na saúde devido à seca variam amplamente, dependendo da gravidade da seca, da vulnerabilidade da população, das infraestruturas de saúde e saneamento, e dos recursos disponíveis para mitigar esses impactos [12]. A seca pode aumentar a probabilidade de múltiplos usos de um mesmo corpo d'água (como para limpeza, banho e consumo), elevando o risco de contaminação microbiana e exposição a patógenos [17]. Períodos de seca seguidos por fortes chuvas podem levar a picos de contaminação da água superficial, já que os sedimentos dos leitos dos rios atuam como reservatórios de microrganismos em regiões secas. As comunidades afetadas pela seca muitas vezes precisam coletar e armazenar água da chuva, o que eleva os riscos de contaminação. O termo 'seca' foi encontrado em 72% das publicações revisadas [17].

1.5 Outros fenômenos climáticos relacionados

Outros fenômenos climáticos menos mencionados nas publicações científicas revisadas também desempenham um papel significativo nas doenças transmitidas pela água. O aumento do nível do mar, citado em 28% das publicações, é um fenômeno que pode intensificar a erosão das áreas costeiras, agravar as marés de tempestade e provocar inundações em regiões baixas. Além disso, esse aumento

contribui para a salinização dos aquíferos costeiros, prejudicando a qualidade da água doce destinada ao consumo e à irrigação. Com o aumento do nível do mar, a contaminação da água potável se torna um risco significativo, elevando a vulnerabilidade das comunidades costeiras a doenças transmitidas pela água [26].

Tempestades intensas, citadas em 26% das publicações, podem levar ao transbordamento dos sistemas de esgoto, comprometendo o abastecimento de água potável e facilitando a disseminação de patógenos [1]. Apesar das previsões climáticas sugerirem uma redução global no número de tempestades, a intensidade das tempestades mais severas pode aumentar, causando impactos ainda mais devastadores [6]. Esses eventos não apenas danificam as infraestruturas de água, mas também favorecem a propagação de doenças ao criar condições ideais para a multiplicação de patógenos.

A umidade, citada em 24% das publicações, quando elevada pode intensificar os riscos associados às doenças transmitidas pela água ao promover a sobrevivência e disseminação de patógenos [12] [27].

A intensidade crescente de fenômenos como ciclones (16%), furacões (20%) e tufões (8%) pode resultar em maior destruição das infraestruturas hídricas e aumento da contaminação da água potável.

O El Niño-Oscilação Sul (ENSO), citado em 18% das publicações, é uma flutuação periódica na temperatura da superfície do Oceano Pacífico e na pressão atmosférica que causa eventos climáticos extremos. Durante as fases de aquecimento (El Niño) e resfriamento (La Niña), há uma frequência aumentada de fenômenos climáticos adversos que impactam significativamente a disponibilidade e a qualidade da água, desencadeando surtos de doenças transmitidas pela água ao alterar drasticamente os padrões de precipitação e temperatura [28].

Nas publicações revisadas também foram citadas enchentes em 10% das publicações, incêndios florestais em 6%, deslizamentos de terra em 2%, acidificação do oceano em 4% e tornados em 4%.

2. Patógenos e/ou Doenças

Conforme observado pela Safe Drinking Water Foundation em 2018, 80% das doenças nos países em desenvolvimento são causadas pela inadequada qualidade da água potável e pela propagação de doenças transmitidas pela água [25]. Para apresentar os resultados relacionados aos patógenos e/ou doenças transmitidas

direta ou indiretamente pela água em decorrência das mudanças climáticas, a análise foi dividida em categorias: bactérias, vírus, protozoários, helmintos e algas, destacando os mais citados e o que se sabe sobre cada um deles. Além disso, devido à constante presença de doenças diarreicas, gastrointestinais e outras que podem ser classificadas como sintomas clínicos, esses temas também foram abordados. A tabela 2 sintetiza as doenças e ou patógenos mencionados nos trabalhos analisados.

Tabela 2. Doenças e/ou patógenos referidos nos trabalhos analisados e respectivos percentuais de citação.

Doença e/ou Patógeno	%
Cólera (<i>Vibrio cholerae</i>)	44%
Diarreia/Doenças Diarreicas	40%
Criptosporidiose (<i>Cryptosporidium</i> spp.)	40%
Malária (<i>Plasmodium</i>)	38%
Vírus da Dengue	36%
Campilobacteriose (<i>Campylobacter</i> spp.)	30%
Condições Médicas Relacionadas à Qualidade da Água*	28%
Doenças Gastrointestinais	26%
Norovírus	24%
Giardíase (<i>Giardia lamblia</i>)	24%
Vibriose Não Colérica (<i>Vibrio parahaemolyticus/Vibrio vulnificus</i>)	24%
Febre Tifoide (<i>S. typhi</i>)	22%
Leptospirose (<i>Leptospira</i> spp.)	20%
Shigelose (<i>Shigella</i> spp.)	20%
Esquistossomose (<i>Schistosoma</i> spp.)	16%
Vírus Chikungunya	14%
<i>Salmonella</i> spp.	14%
<i>Escherichia coli</i>	14%
Rotavírus	12%
Febre Paratifoide (<i>S. paratyphi</i>)	12%
Hepatite A	12%
Legionelose/Doença dos Legionários (<i>Legionella pneumophila</i>)	10%
Leishmaniose (<i>Leishmania</i> spp.)	10%
<i>Escherichia coli</i> O157:H7/ <i>E. coli</i> produtora de toxina Shiga (STEC)	10%
Salmonelose (<i>Salmonella</i> spp.)	8%
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	8%
Yersiniose (<i>Yersinia</i> spp.)	8%
Vírus da Febre Amarela	8%
Vírus Zika	8%
Vírus da Encefalite Japonesa	6%

Hepatite E (HEV)	6%
Listeriose (<i>Listeria</i> spp.)	6%
<i>Vibrio</i> spp.	4%
<i>Aeromonas hydrophila</i>	4%
<i>Staphylococcus aureus</i>	4%
Cianobactérias	4%
Proliferação de Algas Nocivas (HABS)	4%
Entamoeba Histolítica	4%
Amebas	4%
Hantavirus	4%
Antraz (<i>Bacillus anthracis</i>)	4%
Dracunculose (Verme da Guiné/ <i>Dracunculus medinensis</i>)	4%
Ancilostomíase (Ancilostomídeos)	4%
Melioidose (<i>Burkholderia pseudomallei</i>)	4%
<i>Escherichia coli</i> diarreogênica	4%
<i>Escherichia coli</i> enterotoxigênica (ETEC)	4%
<i>Acanthamoeba</i>	2%
<i>Streptobacillus moniliformis</i>	2%
Micobactérias não tuberculosas (MNT)	2%
<i>Mycobacterium</i> spp.	2%
<i>Trichobilharzia</i> spp.	2%
Dinoflagelados	2%
Diatomáceas	2%
Algas Marinhas Tóxicas	2%
<i>Ascaris lumbricoides</i>	2%
<i>Cyclospora cayetanensis</i>	2%
<i>Trichuris trichiura</i>	2%
<i>Naegleria fowleri</i>	2%
Equinococose (<i>Echinococcus</i> spp.)	2%
Teníase (<i>Taenia</i> spp.)	2%
Toxoplasmose (<i>Toxoplasma gondii</i>)	2%
Paragonimíase (<i>Paragonimus</i> spp.)	2%
Gnatostomíase (<i>Gnathostoma</i> spp.)	2%
Fasciolopsíase (<i>Fasciolopsis buski</i>)	2%
Difilobotriasis (<i>Diphyllobothrium</i> spp.)	2%
Poliomielite (Poliovírus)	2%
Brucelose (<i>Brucella</i> spp.)	2%
<i>Clostridium</i> spp.	2%
Febre Negra (<i>Leishmania</i> spp.)	2%
Vírus Ross River	2%

*Termos mais gerais que se enquadram como sintomas ou consequências de uma infecção por uma ou mais das doenças mencionadas nesta revisão.

2.1 Bactérias

2.1.1 *Vibrio* spp.

As mudanças climáticas causadas pela atividade humana têm contribuído para o aumento de infecções por *Vibrio* [7]. Por exemplo, eventos extremos como o furacão Katrina em 2005 e o ciclone Idai em 2019 foram associados a um aumento nas infecções por *Vibrio* devido à exposição às águas das enchentes [24]. Além disso, essas bactérias se espalham com o aumento da temperatura da água, especialmente durante os verões [19]. As bactérias do gênero *Vibrio* incluem os agentes causadores da cólera (*Vibrio cholerae*) e das infecções não coléricas, como *Vibrio parahaemolyticus* e *Vibrio vulnificus*. Em alguns estudos, não há especificação da espécie e a menção é mais genérica, referindo-se ao gênero como um todo. Isso ocorre em 6% dos estudos analisados.

A cólera é uma doença transmitida principalmente pelo consumo de água e alimentos contaminados com a bactéria *Vibrio cholerae* [23]. Os surtos de cólera estão ligados a fatores climáticos, como a precipitação e a temperatura, exibindo padrões sazonais. Além disso, o aumento da temperatura da superfície do mar favorece surtos de cólera, e a salinidade é um fator ambiental chave que afeta o crescimento das bactérias, tornando as áreas costeiras mais suscetíveis, especialmente após ciclones e furacões [23] [28]. Esses desastres naturais podem contaminar a água e interromper os sistemas de distribuição, criando condições para a propagação da cólera. Além disso, práticas anti-higiênicas, como a defecação ao ar livre e a vida em abrigos temporários lotados após desastres, aumentam o risco de infecção [23]. Crianças menores de 5 anos são mais vulneráveis porque não têm imunidade natural contra a cólera. Anualmente, há cerca de 2,9 milhões de casos e 95.000 mortes por cólera, principalmente em comunidades de baixa renda sem saneamento adequado e acesso a cuidados médicos [24]. A vacinação é uma medida importante para prevenir a cólera, especialmente à medida que as mudanças climáticas agravam o problema [28].

As vibrioses causadas por espécies de *Vibrio* que não produzem toxinas causadoras de cólera, geralmente são encontradas em águas costeiras quentes [1]. Essas infecções podem causar uma variedade de doenças, incluindo gastroenterite, infecções de feridas e septicemia [27]. *Vibrio parahaemolyticus* e *Vibrio vulnificus* são exemplos de tais espécies e apareceram em 24% das publicações revisadas.

De forma geral, doenças causadas por bactérias *Vibrio* tendem a aumentar com o aumento da temperatura, precipitação e eventos extremos como tufões e furacões. Essas bactérias prosperam em águas quentes, e o aumento da temperatura favorece seu crescimento e sobrevivência. Além disso, precipitações intensas e desastres naturais podem causar inundações e contaminação da água, facilitando a disseminação dessas bactérias e aumentando o risco de infecções.

2.1.2 Campilobacteriose (*Campylobacter* spp.)

Campilobacteriose, uma infecção causada por bactérias do gênero *Campylobacter*, apareceu em 30% das publicações revisadas. Nesta revisão, foi observado que a relação da doença com a temperatura pode variar entre diferentes regiões e países. Isso pode ser devido a uma série de fatores, incluindo diferenças nos comportamentos humanos, práticas de higiene, padrões de consumo de alimentos, entre outros, que podem influenciar indiretamente a transmissão da infecção [7]. Em relação a precipitação, sabe-se que chuvas fortes podem desencadear surtos de campilobacteriose, principalmente se forem precedidas por períodos de seca [19]. A campilobacteriose representa um significativo impacto na saúde pública devido à sua alta incidência e à gravidade dos sintomas, como diarreia.

2.1.3 *Salmonella* spp.

Salmonella spp. é um dos exemplos mais comuns de patógenos entéricos, sendo responsável por infecções alimentares e transmitidas pela água em humanos. No entanto, a predominância de algumas espécies de *Salmonella* em infecções alimentares pode obscurecer sua contribuição nos estudos de doenças transmitidas pela água, como pode ser observado no estudo nº 5 do Quadro 1. Entre as publicações revisadas, foram identificadas três doenças causadas por *Salmonella* spp.: Febre Tifoide (*S. typhi*), Febre Paratifoide (*S. paratyphi*) e Salmonelose (*Salmonella* spp.). Além disso, o termo *Salmonella* spp., não associado a nenhuma doença específica, foi mencionado em 14% das publicações analisadas. A prevalência e a gravidade dessas infecções apontam o significativo impacto na saúde pública, com surtos frequentemente resultando em hospitalizações e, em casos severos, mortes.

A febre tifoide, causada pela bactéria *Salmonella enterica* serovar Typhi, foi citada em 22% das publicações. Já a febre paratifoide, causada pela *Salmonella enterica* serovar Paratyphi A, B e C, foi citada em 12% das publicações. A transmissão pela água ocorre pela ingestão de água contaminada com fezes humanas contendo a bactéria. Em algumas regiões do Sudeste Asiático, por exemplo, crianças que defecam em áreas públicas rurais próximas a riachos ou lagos aumentam o risco de infecções por febre tifoide e paratifoide, especialmente durante a estação das monções, com forte precipitação e inundações. O risco de desenvolver infecções por *Salmonella* aumenta de 5 a 10% a cada aumento de 1°C na temperatura global [11]. Por meio da análise de estudos realizados na Inglaterra e no País de Gales, foi identificado que surtos desse tipo de doença se tornavam mais comuns quando ocorriam precipitações intensas após longos períodos de seca [17].

A Salmonelose tem uma relação semelhante com fenômenos climáticos, porém, diferente das febres tifoide e paratifoide, é mais frequentemente associada ao consumo de alimentos contaminados, especialmente produtos de origem animal [6]. No entanto, a água contaminada com fezes de animais infectados também pode ser uma fonte de infecção. A salmonelose, causada por diversos sorotipos de *Salmonella enterica* não tifoides, foi citada em 8% das publicações.

2.1.4 Leptospirose (*Leptospira* spp.)

A leptospirose, causada pela bactéria *Leptospira*, é uma doença zoonótica global que afeta mais de 1 milhão de pessoas e causa cerca de 58.900 mortes anualmente [29]. A bactéria se espalha pela urina de animais infectados e pode sobreviver por meses na água ou no solo. Em áreas urbanas com infraestrutura inadequada, a transmissão por ratos é um problema grave de saúde pública [24].

A leptospirose está fortemente associada a fatores climáticos, com surtos ocorrendo frequentemente após inundações. Aumentos nas chuvas alteram as condições ambientais das populações de roedores, afetando a dinâmica de transmissão [28]. A doença é menos comum em climas temperados e mais preocupante em áreas tropicais e subtropicais, especialmente em países em desenvolvimento, onde as condições favorecem a persistência da bactéria e o contato com humanos [29].

A leptospirose foi citada em 20% das publicações revisadas.

2.1.5 Outras Doenças Transmitidas pela Água Através de Bactérias

Além das bactérias mais frequentemente mencionadas, é importante considerar outras bactérias que, embora menos citadas, também representam riscos significativos no contexto das mudanças climáticas.

A shigelose, causada pela bactéria *Shigella* spp., apareceu em 20% das publicações. Estudos documentaram que o risco de infecção por *Shigella* está associado à sazonalidade, altas temperaturas e precipitação [10]. Em um estudo na Coreia do Sul, as incidências de shigelose aumentaram significativamente após desastres climáticos, indicando uma forte ligação entre eventos extremos e surtos da doença [30].

A Legionelose, ou Doença dos Legionários, causada pela bactéria *Legionella pneumophila*, apareceu em 10% das publicações. Essa doença já apresenta um padrão sazonal em regiões temperadas, com picos durante o verão [10]. Devido à relação entre a temperatura e a ocorrência de *Legionella* na água, é esperado um aumento nos casos ou surtos em resposta às mudanças climáticas, especialmente durante períodos de altas temperaturas [12].

Escherichia coli (*E. coli*) é uma bactéria comum que pode causar doenças como diarreia [10]. Ela pode se proliferar sob condições de altas temperaturas e precipitação e apareceu em 14% das publicações revisadas. Variantes específicas da *Escherichia coli* também foram mencionadas: *Escherichia coli* O157/*E. coli* produtora de toxina Shiga (STEC), conhecida por causar surtos graves de intoxicação alimentar e diarreia hemorrágica, apareceu em 10% dos artigos [12]; *Escherichia coli* diarreio gênica, forma de *Escherichia coli* que inclui várias cepas causadoras de diarreia, foi encontrada em 4% das publicações [1]; *Escherichia coli* enterotoxigênica (ETEC), responsável por causar a diarreia do viajante, apareceu em 4% dos artigos revisados [21].

Outras bactérias mencionadas com menor frequência incluem *Pseudomonas aeruginosa* (8%), *Yersinia* spp. (Yersiniose) (8%), *Listeria* sp. (Listeriose) (6%), *Aeromonas hydrophila* (4%), *Staphylococcus aureus* (4%), cianobactérias (4%), *Burkholderia pseudomallei* (Melioidose) (4%), *Bacillus anthracis* (Antraz) (4%), *Streptobacillus moniliformis* (2%), micobactérias não tuberculosas (MNT) (2%), *Mycobacterium* spp. (2%), *Chlamydia trachomatis* (2%), *Clostridium* spp. (2%) e *Brucella* spp. (Brucelose) (2%). Embora menos mencionadas, estas bactérias

podem causar sérias infecções e suas incidências podem ser afetadas por mudanças climáticas.

2.2 Vírus

2.2.1 Norovírus

Os surtos de norovírus, um vírus que pode causar doenças gastrointestinais, têm sido frequentemente ligados a eventos climáticos extremos, como fortes chuvas e inundações. Esses eventos podem provocar o transbordamento de sistemas de esgoto, resultando na contaminação de fontes de água doce e marinha. Com o aumento previsto de precipitações intensas devido às mudanças climáticas, espera-se um incremento nos casos de infecções por norovírus [31].

Vírus entéricos, como o norovírus, são frequentemente encontrados em esgotos humanos contaminados e são os agentes patogênicos mais comuns responsáveis por doenças associadas à recreação aquática [32]. Estudos sobre as rotas de transmissão do norovírus indicam que a contaminação por alimentos é mais comum do que pela água. Além disso, as taxas de infecção são mais elevadas em águas superficiais comparadas às subterrâneas [12].

O termo 'norovírus' foi encontrado em 24% das publicações revisadas.

2.2.2 Vírus da Dengue

A dengue é uma doença viral transmitida por mosquitos, especificamente pelas espécies *Aedes aegypti* e *Aedes albopictus*. Os sintomas comuns incluem febre, dor de cabeça e dor musculoesquelética, mas a infecção pode evoluir para formas graves, como febre hemorrágica e síndrome de choque da dengue. A dengue é endêmica e epidêmica em mais de 100 países, com partes da Ásia sendo as mais gravemente afetadas. Globalmente, mais da metade da população mundial está em risco, e a taxa de ocorrência de infecções aumentou 30 vezes nos últimos 50 anos, destacando a dengue como uma das ameaças mais significativas à saúde global [9].

As mudanças climáticas influenciam diretamente a propagação da dengue. Temperaturas mais altas reduzem o período de incubação extrínseco do vírus nos mosquitos, enquanto o aumento da precipitação resulta em mais água parada, que é o ambiente ideal para os mosquitos *Aedes* depositarem seus ovos. Isso leva a um

aumento na população de mosquitos, elevando as chances de transmissão do vírus da dengue [2].

Projeções indicam que até 2050, as condições climáticas mais favoráveis podem aumentar a aptidão para a dengue em regiões como o sul e oeste da África, sudeste dos EUA, centro do México, norte da Argentina e áreas interiores da Austrália [27]. Em dezembro de 2019, o Paquistão relatou 52.877 casos de dengue, ilustrando a gravidade da situação [15].

Foram encontradas citações ao vírus da dengue em 36% das publicações revisadas.

2.2.3 Outras Doenças Transmitidas pela Água Através de Vírus

Entre os vírus menos citados, destacam-se aqueles que têm transmissão por vetores, sendo a água um meio indireto de transmissão. As mudanças climáticas, com suas alterações nos padrões de temperatura e precipitação, estão afetando significativamente a ecologia de várias doenças transmitidas por vetores [33].

Os vírus Chikungunya e Zika, que apareceram em 14% e 8% das publicações, respectivamente, são transmitidos pelo mosquito *Aedes* e têm a maior carga na região das Américas. As mudanças climáticas aumentaram seu número básico de reprodução em cerca de 12% e o período durante o qual os mosquitos podem transmitir os vírus aumentou aproximadamente 6% desde a década de 1950 [28].

A Febre Amarela, citada em 8% das publicações, é transmitida pelos mosquitos *Aedes* e *Haemagogus*. Este vírus é endêmico em regiões tropicais da América do Sul e da África, e a alteração climática pode expandir ainda mais sua área de transmissão [28].

O aumento do nível do mar pode causar a expansão de corpos de água salobra e salina em zonas costeiras, aumentando a densidade de mosquitos tolerantes à salinidade, como o *Culex sitiens*, vetor do vírus da encefalite japonesa e do vírus Ross River. Ambos os vírus foram citados em estudos referentes ao continente asiático, presentes em 6% e 2% das publicações, respectivamente. Ademais, a Poliomielite, transmitida pelo Poliovírus, foi citada em 2% das publicações.

2.3 Protozoários

2.3.1 Criptosporidiose (*Cryptosporidium* spp.)

A criptosporidiose é uma infecção diarreica transmitida por protozoários do gênero *Cryptosporidium*, sendo a mais comum e difundida de sua categoria, tornando-se um desafio global de saúde pública. O parasita vive no intestino de humanos e animais, e seus oocistos, a fase infecciosa, estão presentes no meio ambiente, podendo sobreviver por longos períodos sob diversas pressões ambientais. A infecção pode ser causada por um único oocisto, que é resistente tanto ao calor quanto ao frio e pode sobreviver por meses em solo úmido ou água [24] [34].

Fatores climáticos, como temperatura e mudanças na precipitação, afetam a transmissão e a sobrevivência de *Cryptosporidium* [19]. No inverno, os oocistos são inativados por ciclos de congelamento e descongelamento; no entanto, com a diminuição do número de dias de congelamento, a sobrevivência dos oocistos durante o inverno pode aumentar [17]. Além disso, eventos de precipitação mais intensos podem aumentar a saturação do solo, mobilizando os oocistos infecciosos com maior frequência. A precipitação pode liberar patógenos nos cursos d'água, elevando o risco de epidemias de criptosporidiose, especialmente quando combinada com a urbanização e o desmatamento [19].

A criptosporidiose é transmitida pela via fecal-oral e em pessoas saudáveis, geralmente causa diarreia autolimitada, mas em imunocomprometidos pode ser fatal devido à diarreia profusa e aquosa [24].

Por ter uma resistência dos oocistos ao cloro, principal método de desinfecção de água potável e recreativa, a criptosporidiose é comum até em países desenvolvidos [12]. A pesquisa sobre a zoonose tem sido negligenciada em muitos países, independentemente do nível de rendimento. Atualmente, não existe tratamento ou vacina eficaz contra a criptosporidiose, tornando a prevenção o foco das intervenções de saúde pública [34].

Foram encontradas citações a criptosporidiose em 40% das publicações revisadas.

2.3.2 Malária (*Plasmodium*)

A malária é uma doença parasitária causada pelos parasitas *Plasmodium*, transmitida pelo mosquito *Anopheles*, e é frequentemente relatada em países

tropicais. No entanto, a associação entre as condições meteorológicas, como temperatura e precipitação, e a transmissão da malária em países temperados tem sido amplamente discutida devido às alterações climáticas [31].

A malária continua sendo uma das doenças infecciosas mais prevalentes e fatais no mundo, colocando quase metade da população global em risco [28]. O maior fardo da doença ocorre na África, onde mais de 90% das mortes relacionadas com a malária são registradas [27].

Foram encontradas citações à malária em 38% das publicações revisadas.

2.3.3 Giardíase (*Giardia lamblia*)

A giardíase é uma infecção gastrointestinal aguda causada pelo protozoário parasita *Giardia*. Essa doença apresenta variabilidade sazonal e sua dinâmica pode ser gravemente afetada pelas mudanças climáticas, como extremos de temperatura e precipitação [31].

Embora a transmissão de *Giardia* não seja tão bem compreendida quanto a de outros protozoários parasitas, sabe-se que as abordagens de tipagem têm sido inadequadas, e a vigilância de rotina nos países desenvolvidos foca mais em casos relacionados a viagens internacionais do que em fontes locais de infecção. A higiene relacionada à água é crucial para prevenir a giardíase, pois a contaminação da água pode ser persistente ao longo do ano, independentemente das condições climáticas sazonais [12].

Foram encontradas citações à giardíase em 24% das publicações revisadas.

2.3.3 Outras Doenças Transmitidas pela Água Através de Protozoários

A leishmaniose, uma infecção parasitária causada por protozoários do gênero *Leishmania*, é transmitida através da picada de flebotomíneos. O aumento das temperaturas, a maior precipitação e estações chuvosas prolongadas, relacionados às mudanças climáticas, podem promover a disseminação dessa doença [12] [31]. A leishmaniose foi citada em 10% das publicações revisadas.

Outros protozoários menos citados incluem a Febre Negra (*Leishmania* spp.), que apareceu em 2% das publicações, a Toxoplasmose (*Toxoplasma gondii*) em 2%, a Gnatostomíase (*Gnathostoma* spp.) em 2%, a Difilobotriasis (*Diphyllobothrium* spp.) em 2%, a Fasciolopsíase (*Fasciolopsis buski*) em 2%, *Naegleria fowleri* em

2%, *Cyclospora cayetanensis* em 2%, *Entamoeba histolytica* em 4%, *Acanthamoeba* em 2% e outras amebas em 4%.

2.4 Helmintos

Durante a pesquisa, a esquistossomose foi a doença causada por helminto mais frequentemente encontrada, presente em 16% das publicações revisadas. A esquistossomose é uma doença parasitária causada por vermes do gênero *Schistosoma*, incluindo as espécies *Schistosoma mansoni*, *S. japonicum*, *S. intercalatum*, *S. mekongi*, e *S. guineensis*. A transmissão da esquistossomose ocorre através da penetração de cercárias na pele das pessoas que entram em contato com águas contaminadas. Esses parasitas têm um ciclo de vida complexo, envolvendo caramujos de água doce, como *Biomphalaria* spp. e *Oncomelania* spp., como hospedeiros intermediários. A temperatura, precipitação e umidade influenciam significativamente o desenvolvimento dos parasitas esquistossômicos e dos caramujos hospedeiros. Alterações climáticas podem impactar a distribuição, reprodução e sobrevivência desses caramujos, afetando consequentemente a transmissão da doença [12].

Além da esquistossomose, outros helmintos também foram identificados nas publicações revisadas: Dracunculose (Verme da Guiné/*Dracunculus medinensis*) em 4% das publicações, Ancilostomíase (Ancilostomídeos) em 4%, *Trichobilharzia* spp. em 2%, *Ascaris lumbricoides* em 2%, Equinococose (*Echinococcus* spp.) em 2%, Teníase (*Taenia* spp.) em 2%, Paragonimíase (*Paragonimus* spp.) em 2% e *Trichuris trichiura* em 2%.

2.5 Algas e cianobactérias

As mudanças climáticas têm um impacto significativo na proliferação de algas nocivas (HABs - Harmful Algal Blooms) em corpos d'água, aumentando os riscos para a saúde pública. A proliferação de algas nocivas é um problema crescente em corpos de água doce e costeiros, exacerbado por fatores como aumento da temperatura e excesso de nutrientes, que favorecem o crescimento dessas algas.

Embora cianobactérias sejam tecnicamente bactérias, seu comportamento ecológico é semelhante ao das algas. Quando as condições ambientais são favoráveis, elas podem proliferar rapidamente, resultando em "blooms" de algas nocivas. Estes blooms são um problema ambiental e de saúde pública, pois as

cianobactérias podem produzir diversas toxinas (cianotoxinas) que são perigosas para humanos e animais [12] [32].

A proliferação de algas nocivas (HABs) foi citada em 4% das publicações revisadas. Dinoflagelados, diatomáceas e algas marinhas tóxicas foram mencionados em 2% das publicações, respectivamente.

2.6 Doenças Diarreicas, Gastrointestinais e Condições Médicas

Durante os textos anteriores, é possível perceber que muitas das doenças destacadas causam diarreia. Em alguns estudos, não se diferenciam as doenças diarreicas de acordo com o seu agente patogênico causador. Assim, é importante ressaltar a relevância desse assunto de forma separada. Diarreia e/ou Doenças Diarreicas foram citadas em 40% das publicações revisadas.

As doenças diarreicas são causadas por uma variedade de organismos bacterianos, virais e parasitários, conforme definido pela OMS [35]. Esse problema é amplificado em países em desenvolvimento devido à falta de saneamento adequado e acesso à água potável [18]. As mudanças climáticas exacerbam essa situação, influenciando tanto a disponibilidade quanto a qualidade da água. Surtos de doenças diarreicas têm sido associados a eventos climáticos extremos, como chuvas fortes e períodos de seca. Períodos de seca podem concentrar patógenos entéricos, enquanto chuvas intensas podem mobilizá-los, contaminando fontes de água potável e aumentando a exposição humana a esses patógenos [36]. A interrupção na disponibilidade de água também prejudica a higiene, um fator crucial na prevenção da diarreia [20].

A OMS estima que aproximadamente 829.000 mortes anuais são atribuídas a doenças diarreicas relacionadas à água, saneamento e higiene inadequados, afetando principalmente crianças menores de 5 anos [28]. Além da mortalidade, essas doenças podem prejudicar o crescimento e o desenvolvimento cognitivo das crianças, aumentando sua suscetibilidade a outras doenças infecciosas e crônicas [21].

Com o aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de, principalmente, precipitação, também espera-se um crescimento na carga global de infecções gastrointestinais transmitidas pela água. Intensas precipitações e as consequentes inundações são capazes de contaminar os sistemas de abastecimento de água, resultando em um aumento das doenças gastrointestinais.

Por exemplo, um estudo realizado na Índia encontrou uma forte associação entre precipitações extremas e internações hospitalares relacionadas a essas doenças [26].

Outros termos mais gerais que se enquadram como sintomas ou consequências de uma infecção causada por mais de uma das doenças citadas nesta revisão foram categorizados como 'Condições Médicas Relacionadas à Qualidade da Água', como por exemplo, doenças de pele, úlceras pépticas, disenteria, infecções nos olhos, nariz, ouvidos e garganta. Essas condições médicas foram encontradas em 28% das publicações revisadas.

3. Problemas Gerais Mencionados nas Publicações Revisadas

Em muitas nações em desenvolvimento, a infraestrutura de saúde é insuficiente para monitorar e registrar de forma precisa os casos de doenças transmitidas pela água. Essa falta de dados históricos e atuais dificulta a compreensão plena do impacto das mudanças climáticas nessas doenças e limita a capacidade de desenvolver estratégias eficazes de mitigação e adaptação [11].

A pesquisa epidemiológica enfrenta desafios devido à falta de dados completos nos países em desenvolvimento, onde sistemas de monitoramento podem ser recentes ou inexistentes, e muitas pessoas com diarreia, por exemplo, não procuram atendimento médico, resultando em subnotificação dos casos. Existem ainda outros complicadores como, por exemplo, variáveis confusas, como outras formas de transmissão (como o contato direto entre pessoas), que podem interferir nos resultados [18].

Existem algumas dificuldades na previsão dos riscos futuros de doenças transmitidas pela água. Muitos estudos anteriores projetam esses riscos com base em pesquisas que investigam vários tipos de patógenos ao mesmo tempo, incluindo alguns que são principalmente transmitidos por alimentos. Isso pode complicar a interpretação dos dados, pois as fontes de infecção e os modos de transmissão podem ser diferentes. Além disso, esses estudos frequentemente cobrem áreas geográficas muito amplas, como países inteiros ou continentes. No entanto, os fatores que realmente influenciam o risco de doenças transmitidas pela água tendem a operar em escalas muito menores, como bacias hidrográficas ou áreas específicas de abastecimento de água [37].

Um tema comum destes estudos é o intervalo temporal entre chuvas fortes e doenças transmitidas pela água. Esse intervalo ocorre porque, após as chuvas, patógenos podem se acumular e se multiplicar no ambiente. Além disso, a quantidade de patógenos necessários para causar a infecção, o tempo que leva para os sintomas aparecerem após a infecção, e o tempo necessário para detectar e relatar a doença contribuem para esse atraso [7].

O rápido crescimento urbano resultou em assentamentos informais sem infraestruturas essenciais, como sistemas de esgoto apropriados e redes de drenagem de águas pluviais, o que agrava os problemas de saneamento e aumenta os riscos para a saúde pública [24].

Qualitativamente, a ligação entre mudanças climáticas e doenças transmitidas pela água é clara, como a associação entre inundações e surtos de doenças. No entanto, obter provas quantitativas, que envolvem dados numéricos precisos e estatísticas rigorosas sobre esses impactos, ainda é um desafio. Muitos estudos e artigos científicos destacam a necessidade de mais pesquisas para fornecer essas provas quantitativas e compreender melhor a extensão exata dos impactos das mudanças climáticas nas doenças transmitidas pela água.

Embora a conscientização sobre as mudanças climáticas esteja crescendo, ainda falta ênfase nas consequências para a saúde humana, especialmente na disseminação de doenças infecciosas [9].

4. Cenários Futuros Mencionados nas Publicações Revisadas

Para entender o que se espera para o futuro das doenças transmitidas pela água em meio às mudanças climáticas, é crucial considerar várias projeções e análises científicas:

Prevê-se um aumento na frequência de chuvas intensas associadas a ciclones tropicais em todos os lugares do globo, causando maiores estragos em áreas vulneráveis, e aumentando o nível de microorganismos patogênicos, e consequentemente aumentando a incidência de doenças [17]. Há um aumento previsto de 500 mm no nível do mar até 2100, e juntamente com o aumento constante da temperatura, pode resultar em maior contaminação da água potável devido à intrusão de água salgada, principalmente, em comunidades costeiras, exacerbando os riscos para a saúde [10]. O derretimento das geleiras árticas pode

expor a humanidade a novos patógenos enterrados sob o gelo, potencialmente desencadeando o surgimento de novas doenças infecciosas [9].

Estima-se que o aumento da temperatura global possa levar a um aumento significativo no número de mortes atribuíveis a infecções entéricas, com projeções variando de 10.000 a quase 75.000 até meados do século, dependendo das trajetórias de emissões de gases de efeito estufa [24]. Além disso, a temperatura ambiente influencia diretamente o crescimento, sobrevivência e adaptação das bactérias, podendo acelerar a evolução de resistência aos antibióticos. As variações de temperatura em diferentes regiões geográficas, juntamente com o uso indiscriminado de antibióticos, podem criar condições favoráveis para o surgimento e propagação de bactérias resistentes [1].

O impacto de acontecimentos recentes demonstra que mesmo os países de rendimento elevado não estão bem preparados para lidar com eventos climáticos extremos [22].

5. Soluções Mencionadas pelas Publicações Revisadas

Para enfrentar os desafios das doenças transmitidas pela água em um contexto de mudanças climáticas, as soluções propostas nas publicações científicas destacam diversas abordagens essenciais. Primeiramente, a resolução do problema das mudanças climáticas tem se concentrado na mitigação dos efeitos das emissões de gases de efeito estufa. O Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) lidera esse esforço, promovendo acordos internacionais para reduzir as emissões de carbono e fornecendo relatórios científicos confiáveis. Embora o foco principal seja a redução das emissões globais de gases de efeito estufa, essas reduções tendem a ser lentas. Por isso, também estão sendo desenvolvidas estratégias de adaptação para lidar com as consequências das mudanças climáticas, como o aumento da temperatura global [12].

Para enfrentar os desafios das mudanças climáticas nos sistemas hídricos e proteger a saúde pública, é essencial fortalecer a resiliência desses sistemas, garantindo que possam enfrentar os impactos adversos das alterações climáticas. Isso visa garantir um fornecimento de água limpa e tratada, além de envolver a realização de estudos epidemiológicos abrangentes para entender e mitigar os riscos à saúde associados. Esses estudos devem incluir a avaliação de agentes patogênicos na água, a vulnerabilidade de subpopulações, o impacto de eventos

climáticos extremos e a inspeção da infraestrutura de distribuição para prevenir contaminações [37] [12].

Alguns estudos relatam a necessidade de se analisar cada doença transmitida pela água individualmente, pois elas têm diferentes métodos de transmissão e períodos de incubação. Os padrões observados, por exemplo, entre temperatura e doenças diarreicas destacam a importância de distinguir entre diferentes tipos de patógenos. Existem diversas doenças diarreicas, mas que diferem em seus patógenos, conseqüentemente, a forma de ação de cada uma pode variar [30] [21].

A melhoria na capacidade de prever condições climáticas permite a criação de sistemas de alerta precoce, podendo calcular o risco de uma epidemia com base nas condições meteorológicas previstas [7]. Em 2008, os estados membros da OMS aprovaram uma resolução que reconhecia a importância das mudanças climáticas e estabeleceu como uma área prioritária o desenvolvimento de ferramentas de apoio à decisão, destinadas a avaliar a vulnerabilidade e os impactos na saúde decorrentes das mudanças climáticas, ajudando a criar estratégias para mitigação [14]. Algumas ferramentas têm sido usadas nesse sentido. O GCRI tem sido usado por Governos, ONGs e investigadores acadêmicos para identificar as nações e regiões mais vulneráveis às alterações climáticas [11]. Outras ferramentas, como o ECDC Vibrio Map Viewer, monitoram a adequação ambiental de águas costeiras para bactérias *Vibrio*, fornecendo informações essenciais para intervenções preventivas, como o fechamento temporário de praias [7]. A vigilância contínua, utilizando abordagens como a One Health, permite o monitoramento dos sinais climáticos e ambientais que precedem doenças, possibilitando a antecipação ou previsão de surtos [7]. Ademais, a CC-QMRA, uma ferramenta que quantifica os impactos esperados em termos de riscos relativos de infecção sob cenários de mudanças climáticas para patógenos específicos, sendo necessário o usuário saber algumas informações prévias [14]. Por fim, avanços em biossensoriamento e modelos de regressão linear contribuem para prever e controlar concentrações de patógenos nas águas superficiais, auxiliando na proteção da saúde pública diante das mudanças climáticas [18] [13].

É essencial fortalecer a capacidade dos sistemas de saúde para lidar com os impactos das mudanças climáticas. Isso requer educação dos profissionais de saúde sobre os riscos associados, desde os programas educacionais até a prática

contínua. Além disso, é crucial que esses profissionais se envolvam na defesa de políticas e regulamentos para proteger a saúde pública diante das mudanças climáticas [24].

As populações indígenas e outras comunidades que possuem estilos de vida próprios em áreas economicamente e politicamente marginalizadas provavelmente serão fortemente afetadas pelas mudanças climáticas. É essencial que essa vulnerabilidade seja considerada ao desenvolver políticas ou intervenções para melhorar a capacidade de adaptação dessas comunidades [22].

Se faz importante que a pesquisa futura busque detalhar cada dado relevante para se ter uma maior dimensão no efeito das mudanças climáticas sobre cada doença e como isso afeta a população a nível local, regional e global.

6. Impacto das Mudanças Climáticas na Transmissão de Doenças Transmitidas pela Água no Brasil

Como mencionado anteriormente, a América do Sul, juntamente com a Oceania, foi o continente com menos pesquisas relacionadas entre os 50 artigos mais relevantes, tendo apenas um estudo focado na Colômbia. Em relação ao Brasil, houve poucas menções, exceto por algumas citações em publicações que abordavam a situação global de forma geral. Diante disso, foi buscado, através do último relatório do IPCC, o que já se sabe sobre a perspectiva das mudanças climáticas no Brasil.

As mudanças climáticas têm impactos profundos e variados na saúde pública no Brasil, particularmente na transmissão de doenças transmitidas pela água. O crescimento urbano descontrolado em grandes cidades como São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte expõe cerca de 21,5 milhões de pessoas à escassez de água, apesar da ampla disponibilidade hídrica na região. Essa escassez é exacerbada pelo aumento das temperaturas, que intensifica as ilhas de calor urbano, uma realidade já presente em cidades como Rio de Janeiro e São Paulo. Nessas áreas, muitas pessoas vivem em condições precárias, com habitação inadequada e saneamento deficiente. As publicações revisadas indicam que esses fatores aumentam significativamente a vulnerabilidade da população a doenças transmitidas pela água, como as doenças diarreicas. Além disso, secas extremamente longas têm se tornado mais frequentes no sudeste do Brasil,

agravando a escassez de água potável, forçando a população a utilizar fontes de água potencialmente contaminadas [38].

Na região Nordeste, a situação é ainda mais crítica. A duração das secas está aumentando, com 94% da região apresentando susceptibilidade moderada a alta à desertificação. Durante a severa seca de 2012-2013, cerca de 9 milhões de pessoas foram afetadas pela escassez de água. A vulnerabilidade dessa população a doenças transmitidas pela água é alta, especialmente devido à infraestrutura inadequada de saneamento [38].

6.1 No Rio Grande do Sul

No Rio Grande do Sul, as mudanças climáticas também já estão tendo um impacto significativo. A maioria das estações meteorológicas na região registrou um aumento na quantidade total de precipitação anual, especialmente durante a estação quente, quando as chuvas tendem a ser mais intensas e frequentes. Embora haja um aumento na precipitação e na intensidade das chuvas, com base nesse relatório há apenas uma confiança média de que isso resultará em uma redução das secas hidrológicas [38].

Além disso, a sub-região que inclui o Rio Grande do Sul é propensa a eventos de convecção severa intensa, como tempestades fortes acompanhadas de relâmpagos, ventos fortes, granizo e, por vezes, tornados. Esses eventos climáticos extremos não apenas causam danos diretos à infraestrutura, mas também resultam em enchentes e deslizamentos de terra que podem levar à contaminação de fontes de água potável, aumentando significativamente o risco de doenças transmitidas pela água [38].

A região também enfrenta um aumento na frequência de ciclones extratropicais, que afetam a costa do Rio Grande do Sul. Esses ciclones, juntamente com ventos fortes provenientes do sul ou sudeste, podem causar inundações costeiras, afetando as comunidades locais e contaminando os suprimentos de água. Futuras projeções indicam que o aumento na precipitação e na intensidade das chuvas, combinado com o aumento da temperatura, pode resultar em condições mais propícias para a transmissão de doenças como a dengue, que também se espalha através de água parada [38].

Tendo isso em vista, recentemente foram registrados vários eventos climáticos extremos no estado do Rio Grande do Sul. Em junho de 2023, a Região

Metropolitana, o Litoral Norte e parte da Serra foram severamente afetados por um ciclone extratropical, conforme classificado pelo Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet) [39]. Este evento deixou milhares de pessoas desabrigadas e desalojadas, causando destruição em mais de 40 cidades. Volumes de chuva extremos caíram em poucas horas nos vales, na Grande Porto Alegre e principalmente em cidades próximas da Serra, junto ao Litoral Norte, o que acabou por gerar inundações repentinas, resultando em afogamentos dentro das próprias casas, causando mortes [40] [41].

Em setembro de 2023, outro desastre ocorreu no Vale do Taquari, onde 54 pessoas morreram após uma enchente provocada por chuva ocorrida devido à combinação de frentes frias, baixas pressões e ciclones extratropicais, juntamente com os efeitos do fenômeno El Niño [41] [42]. Já em novembro de 2023, grandes volumes de chuva afetaram mais de 200 municípios, causando a morte de mais pessoas e deixaram ao menos 28 mil desabrigados, com impactos particularmente severos próximos ao Rio Taquari, na Serra e na Região Metropolitana de Porto Alegre [41] [43] [44]. Mais recentemente, no final de abril até o dia 09 de maio de 2024, 425 dos 497 municípios do estado experimentaram a maior inundação do Rio Grande do Sul e do Brasil. O Vale do Taquari sofreu a maior cheia desde 1941, resultante de chuvas extremas e que persistiu por dias, deixando milhares de pessoas desabrigadas em todo o Estado. No dia 6 de maio de 2024, o Guaíba alcançou o nível de 5,33 metros [45] [46] [47].

Em menos de um ano, o Estado passou por quatro tragédias relacionadas a fenômenos climáticos. O Rio Grande do Sul tem experimentado um aumento significativo na frequência e intensidade de eventos climáticos extremos, como ciclones extratropicais, enchentes e chuvas persistentes. Esse padrão está alinhado com as projeções do IPCC sobre os impactos das mudanças climáticas, que preveem um aumento na ocorrência de eventos climáticos severos. As enchentes frequentes resultam em transbordamentos de rios e sistemas de esgoto, que podem contaminar fontes de água potável com patógenos e resíduos. A contaminação da água aumenta o risco de surtos de doenças diarreicas, hepatite A, leptospirose e outras doenças transmitidas pela água. Além disso, esses eventos levam ao deslocamento de milhares de pessoas, que frequentemente acabam em abrigos temporários com condições de saneamento inadequadas. A superlotação e a falta de saneamento básico nesses abrigos podem criar um ambiente propício para a

disseminação de doenças. A infraestrutura de saneamento, como estações de tratamento de água e esgoto, podem ser danificadas comprometendo a qualidade da água fornecida à população. A falha na infraestrutura de saneamento pode resultar em surtos de doenças de origem hídrica, como giardíase e criptosporidiose. As inundações podem resultar na estagnação da água, criando ambientes favoráveis para a reprodução de vetores, como mosquitos, que podem transmitir doenças como dengue, chikungunya e zika.

Os eventos climáticos recentes no Brasil sublinham a necessidade crítica de mais pesquisas sobre como as mudanças climáticas estão afetando a transmissão de doenças pela água. Estudos aprofundados podem fornecer a base científica necessária para desenvolver políticas de saúde pública mais robustas, melhorar a infraestrutura de saneamento e aumentar a resiliência das comunidades vulneráveis.

Se faz crucial implementar medidas de adaptação e mitigação, como melhorar a infraestrutura de saneamento, desenvolver sistemas de alerta precoce e garantir acesso a água potável segura, para proteger a saúde pública em face das mudanças climáticas.

Conclusão

Durante o trabalho, foram listadas e detalhadas algumas das principais doenças transmitidas pela água, juntamente com os patógenos relacionados. Essas doenças são causadas por patógenos que, em sua maioria, são divididos em bactérias, vírus, protozoários, helmintos, algas e cianobactérias. A cólera, causada pelo *Vibrio cholerae*, foi a doença mais citada, aparecendo em 44% das publicações revisadas. Outras doenças de transmissão direta mencionadas incluem criptosporidiose, campilobacteriose e infecções por norovírus. Algumas doenças são transmitidas indiretamente através de vetores ou outras vias que envolvem água em alguma etapa do ciclo de transmissão, como malária, dengue e chikungunya. Várias dessas são doenças diarreicas, uma preocupação significativa em áreas urbanas com saneamento deficiente.

Cada doença possui características específicas, além de algumas gerais, considerando que são causadas por diferentes patógenos. Estudos são necessários para analisar o efeito de cada uma dessas doenças no contexto das mudanças climáticas. O que se sabe é que as mudanças climáticas promoverão o crescimento

e a expansão desses patógenos. Algumas das doenças são transmitidas diretamente pela água contendo o patógeno; em outros casos, podem ser transmitidas indiretamente através de vetores que utilizam a água para proliferação, como é o caso da dengue, chikungunya e zika, que são transmitidas pelo mesmo mosquito.

O impacto de diferentes fenômenos climáticos na disseminação de patógenos e no aumento de vetores é evidente nas publicações revisadas. Os fenômenos climáticos mais citados foram a precipitação (88%) e variações de temperatura (80%). Essas variações podem gerar eventos climáticos extremos, como o aumento excessivo de precipitação, que pode criar áreas maiores de água parada, favorecendo a proliferação de vetores. Temperaturas mais altas também aceleram o crescimento e a reprodução desses vetores e de alguns patógenos. Secas podem concentrar patógenos e, com chuvas fortes subsequentes, esses patógenos podem se espalhar.

Poucas publicações selecionadas por relevância, fizeram citação ao Brasil, então através do último relatório do IPCC foram detalhados os atuais cenários climáticos do país. Sabe-se que as secas no Nordeste estão aumentando, assim como a escassez de água em áreas urbanas do Sudeste, causadas pelo aumento das temperaturas, e como a tendência é continuar aumentando e causando mais secas. No que diz respeito ao Rio Grande do Sul, os eventos climáticos extremos como enchentes e ciclones estão cada vez mais ocorrentes, destacando a quantidade de tragédias ocorridas em menos de um ano no estado. Estratégias de adaptação e mitigação como a melhoria da infraestrutura de saneamento, desenvolvimento de sistemas de alerta precoce e garantia de acesso à água potável segura são de grande importância para enfrentar esses desafios de saúde pública.

Referências

- [1] Edelson, P. J.; Harold, R.; Ackelsberg, J.; Duchin, J. S.; Lawrence, S. J.; Manabe, Y. C.; Zahn, M.; LaRocque, R. C. 2023. Climate Change and the Epidemiology of Infectious Diseases in the United States. *Clinical Infectious Diseases*. 76 (950–956). doi.org/10.1093/cid/ciac697
- [2] Rodríguez-Pacheco, F. L.; Jiménez-Villamizar, M. P.; & Pedraza-Álvarez, L. P. 2019. Efectos del cambio climático en la salud de la población colombiana. *Duazary, Santa Marta*,16: 319-331. doi.org/10.21676/2389783X.3186
- [3] Mousavi, A.; Ardalán, A.; Takian, A.; Ostadtaghizadeh, A.; Naddafi, K. & Bavani A. M. 2020. Climate change and health in Iran: a narrative review. *J Environ Health Sci Engineer* 18, 367–378. doi.org/10.1007/s40201-020-00462-3
- [4] Khedun, C. P.; Singh, V. P. 2014. Climate Change, Water, and Health: A Review of Regional Challenges. *Water Qual Expo Health* 6, 7–17. doi.org/10.1007/s12403-013-0107-1
- [5] Nag R. 2023. A methodological framework for ranking communicable and non-communicable diseases due to climate change – A focus on Ireland. *Science of The Total Environment*. 880:163296. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163296.
- [6] Semenza, J. C.; Höser, C.; Herbst, S.; Rechenburg, A.; Suk, J. E.; Frechen, T. & Kistemann, T. 2012. Knowledge Mapping for Climate Change and Food- and Waterborne Diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(4), 378–411. doi.org/10.1080/10643389.2010.518520
- [7] Semenza, J. C. 2020. Cascading risks of waterborne diseases from climate change. *Nat Immunol* 21, 484–487. doi.org/10.1038/s41590-020-0631-7
- [8] Ashrafuzzaman, M.; Gomes, C. & Guerra, J. 2023. The Changing Climate Is Changing Safe Drinking Water, Impacting Health: A Case in the Southwestern Coastal Region of Bangladesh (SWCRB). *Climate*, 11, 146. doi.org/10.3390/cli11070146

[9] Gill G. 2022. ECO-EPIDEMOLOGY OF INFECTIOUS DISEASES AND CLIMATE CHANGE. *Health Problems of Civilization*;16(1):15-40. doi.org/10.5114/hpc.2022.112782

[10] Walker, J. 2018. The influence of climate change on waterborne disease and Legionella: a review. *Perspectives in Public Health.*,138(5):282-286. doi.org/10.1177/1757913918791198

[11] Jung, Y.-J.; Khant, N. A.; Kim, H. & Namkoong, S. 2023. Impact of Climate Change on Waterborne Diseases: Directions towards Sustainability. *Water* 15, 1298. doi.org/10.3390/w15071298

[12] Nichols, G.; Lake, I. & Heaviside, C. 2018. Climate Change and Water-Related Infectious Diseases. *Atmosphere*, 9, 385. doi.org/10.3390/atmos9100385

[13] Siwak, A. M.; Baker, P. G.; Admire Dube. 2023. Biosensors as early warning detection systems for waterborne Cryptosporidium. *Water Sci Technol.* 88 (3): 615–630. doi.org/10.2166/wst.2023.229

[14] Schijven, J.; Bouwknegt, M.; de Roda Husman, A. M.; Rutjes, S.; Sudre, B.; Suk, J. E. & Semenza, J. C. 2013. A Decision Support Tool to Compare Waterborne and Foodborne Infection and/or Illness Risks Associated with Climate Change. *Risk Analysis*, 33: 2154-2167. doi.org/10.1111/risa.12077

[15] Zeb, H.; Yaqub, A.; Ajab, H.; Zeb, I.; Khan, I. 2023. Effect of Climate Change and Human Activities on Surface and Ground Water Quality in Major Cities of Pakistan. *Water*, 15, 2693. doi.org/10.3390/w15152693

[16] Herrador, B. R. G.; de Blasio, B. F.; MacDonald, E.; Nichols, G.; Sudre, B.; Vold, L.; Semenza, J. C. & Nygård, K. 2015. Analytical studies assessing the association between extreme precipitation or temperature and drinking water-related waterborne infections: a review. *Environ Health* 14, 29. doi.org/10.1186/s12940-015-0014-y

- [17] Funari, E.; Manganelli, M. & Sinisi. 2012. Impact of climate change on waterborne diseases. *Ann Ist Super Sanità* 48 (4): 473-487. doi.org/10.4415/ann_12_04_13
- [18] Hofstra N. 2011. Quantifying the impact of climate change on enteric waterborne pathogen concentrations in surface water. *Current Opinion in Environmental Sustainability*. 3 (6):471-479. doi.org/10.1016/j.cosust.2011.10.006
- [19] Semenza, J. C.; Herbst, S.; Rechenburg, A.; Suk, J. E.; Höser, C.; Schreiber, C. & Kistemann, T. 2012. Climate Change Impact Assessment of Food- and Waterborne Diseases. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 42(8), 857–890. doi.org/10.1080/10643389.2010.534706
- [20] Moors, E.; Singh, T.; Siderius, C.; Balakrishnan S. & Mishra A. 2013. Climate change and waterborne diarrhoea in northern India: Impacts and adaptation strategies. *Science of The Total Environment*, 468–469, S139-S151. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2013.07.021.
- [21] Levy, K.; Woster, A. P.; Goldstein, R. S. & Carlton, E. J. 2016. Untangling the Impacts of Climate Change on Waterborne Diseases: a Systematic Review of Relationships between Diarrheal Diseases and Temperature, Rainfall, Flooding, and Drought. *Environ Sci Technol*. 50(10):4905-4922. doi.org/10.1021/acs.est.5b06186
- Tirado Blázquez, M. C. 2010. Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010 [Climate change and health. SESPAS report 2010]. *Gac Sanit*. 24 Suppl 1:78-84. doi.org/10.1016/j.gaceta.2010.10.004
- [22] Cann K. F.; Thomas D. R.; Salmon R. L., Wyn-Jones A. P. & Kay D. 2013. Extreme water-related weather events and waterborne disease. *Epidemiology and Infection*. 141(4):671-686. doi.org/10.1017/S0950268812001653
- [23] Nusrat, F.; Haque, M.; Rollend, D.; Christie, G. & Akanda, A. S. 2022. A High-Resolution Earth Observations and Machine Learning-Based Approach to Forecast Waterborne Disease Risk in Post-Disaster Settings. *Climate*, 10, 48. doi.org/10.3390/cli10040048

- [24] Semenza, J. C. & Ko A. I. 2023. Waterborne Diseases That Are Sensitive to Climate Variability and Climate Change. *N Engl J Med.* 389(23):2175-2187. doi.org/10.1056/NEJMra2300794
- [25] Abedin, M. A.; Collins, A. E.; Habiba, U. & Shaw, R. 2019. Climate Change, Water Scarcity, and Health Adaptation in Southwestern Coastal Bangladesh. *Int J Disaster Risk Sci* 10, 28–42. doi.org/10.1007/s13753-018-0211-8
- [26] Levy, B. S., & Patz, J. A. 2015. Climate Change, Human Rights, and Social Justice. *Ann Glob Health.* 81(3):310-322. doi.org/10.1016/j.aogh.2015.08.008
- [27] Semenza, J. C., Rocklöv, J. & Ebi, K. L. 2022. Climate Change and Cascading Risks from Infectious Disease. *Infect Dis Ther* 11, 1371–1390. doi.org/10.1007/s40121-022-00647-3
- [28] Kim C. L.; Agampodi S.; Marks F.; Kim J. H. & Excler J. L. 2023. Mitigating the effects of climate change on human health with vaccines and vaccinations. *11:1252910.* doi.org/10.3389/fpubh.2023.1252910
- [29] Douchet L.; Goarant C.; Mangeas M.; Menkes C.; Hinjoy S. & Herbreteau V. 2022. Unraveling the invisible leptospirosis in mainland Southeast Asia and its fate under climate change. *Sci Total Environ;* 832:155018. doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155018
- [30] Na W.; Lee K. E.; Myung H. N.; Jo S. N. & Jang J. Y. 2016. Incidences of Waterborne and Foodborne Diseases After Meteorologic Disasters in South Korea. *Ann Glob Health.* 82(5):848-857. doi.org/10.1016/j.aogh.2016.10.007
- [31] Rupasinghe, R.; Chomel, B. B. & Martínez-López B. 2022. Climate change and zoonoses: A review of the current status, knowledge gaps, and future trends. *Acta Trop;* 226:106225. doi.org/10.1016/j.actatropica.2021.106225

[32] Young, I.; Sanchez, J. J. & Tustin, J. 2022. Recreational water illness in Canada: a changing risk landscape in the context of climate change. *Can J Public Health* 113, 940–943. doi.org/10.17269/s41997-022-00688-8

[33] Bush, K. F.; Luber, G.; Kotha, S. R.; Dhaliwal, R. S.; Kapil, V.; Pascual, M.; Brown, D. G.; Frumkin, H.; Dhiman, R. C.; Hess, J.; Wilson, M. L.; Balakrishnan, K.; Eisenberg, J.; Kaur, T.; Rood, R.; Batterman, S.; Joseph, A.; Gronlund, C. J.; Agrawal, A. & Hu, H. 2011. Impacts of Climate Change on Public Health in India: Future Research Directions. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 765-770. doi.org/10.1289/ehp.1003000

[34] Ikiroma, I. A. & Pollock, K. G. 2021. Influence of weather and climate on cryptosporidiosis-A review. *Zoonoses Public Health*. 68(4):285-298. doi.org/10.1111/zph.12785

[35] Phung, D., Huang, C., Rutherford, S.; Chu, C.; Wang, X.; Nguyen, M.; Nguyen, N. H.; Manh, C. D. & Nguyen, T. H. 2015. Association between climate factors and diarrhoea in a Mekong Delta area. *Int J Biometeorol* 59, 1321–1331. doi.org/10.1007/s00484-014-0942-1

[36] Levy, K.; Smith, S. M. & Carlton, E. J. 2018. Climate Change Impacts on Waterborne Diseases: Moving Toward Designing Interventions. *Curr Envir Health Rpt* 5, 272–282. doi.org/10.1007/s40572-018-0199-7

[37] Chhetri, B. K.; Galanis, E.; Sobie, S.; Brubacher, J.; Balshaw, R.; Otterstatter, M.; Mak, S.; Lem, M.; Lysyshyn, M.; Murdock, T.; Fleury, M.; Zickfeld, K.; Zubel, M.; Clarkson, L. & Takaro, T. K. 2019. Projected local rain events due to climate change and the impacts on waterborne diseases in Vancouver, British Columbia, Canada. *Environmental Health* 18 (1): 116. doi.org/10.1186/s12940-019-0550-y

[38] IPCC, 2022: Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Craig, S. Langsdorf, S. Lösschke, V.

Möller, A. Okem, B. Rama (eds.]). Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., doi:10.1017/9781009325844.

[39] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2023. Eventos extremos: chuvas intensas no Norte, Nordeste e Sul marcam junho de 2023. Portal do INMET. <https://portal.inmet.gov.br/noticias/eventos-extremos-chuvas-intensas-no-norte-nord-este-e-sul-marcam-junho-de-2023>

[40] Meteorologia Sul Brasil (METSUL). 2023. O desastre do ciclone de junho de 2023 contado nas capas dos jornais. Portal METSUL. <https://metsul.com/o-desastre-do-ciclone-de-junho-de-2023-contado-nas-capas-dos-jornais/>

[41] Paz, M. 2024. Tragédias climáticas no RS: entenda as diferenças. G1 Globo. <https://g1.globo.com/rs/rio-grande-do-sul/noticia/2024/05/03/tragedias-climaticas-rs-entenda-diferencas.ghtml>

[42] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2023. Eventos Extremos. Instituto Nacional de Meteorologia. <https://portal.inmet.gov.br/noticias/eventos-extremos-2>

[43] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2023. Balanço: Porto Alegre (RS) teve chuva acima da média em novembro de 2023. Portal do INMET. <https://portal.inmet.gov.br/noticias/balan%C3%A7o-porto-alegre-rs-teve-chuva-acima-da-m%C3%A9dia-em-novembro-2023#:~:text=Em%20novembro%20de%202023%2C%20Porto,%C3%A9%20de%20105%2C5%20mm.>

[44] Dias, J. 2023. Chuvas de novembro afetaram quase 700 mil pessoas no estado. Governo do Estado do Rio Grande do Sul. <https://www.estado.rs.gov.br/chuvas-de-novembro-afetaram-quase-700-mil-pessoas-no-estado>

[45] Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). 2023. Informativo Meteorológico nº 16/2024. Portal INMET.
<https://portal.inmet.gov.br/noticias/informativo-meteorol%C3%B3gico-n-16-2024>

[46] BBC. A desertificação do sertão brasileiro: como as mudanças climáticas estão afetando a região. 2024. BBC News Brasil.
<https://www.bbc.com/portuguese/articles/cd1qwp3z77o>

[47] Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 2024. Nota técnica: Aplicação de índice de vulnerabilidade social em Porto Alegre em virtude das inundações de maio de 2024. Instituto de Pesquisa Hidráulica.
<https://www.ufrgs.br/iph/nota-tecnica-aplicacao-de-indice-de-vulnerabilidade-social-e-m-porto-alegre-em-virtude-das-inundacoes-de-maio-de-2024/>