



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

DANIEL FONTES SILVA

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO
APLICADA A ÁGUAS PARA REÚSO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

CURITIBA
2023

DANIEL FONTES SILVA

**AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO
APLICADA A ÁGUAS PARA REÚSO: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Ambiental, Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ramiro
Gonçalves Etchepare.

CURITIBA
2023




MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

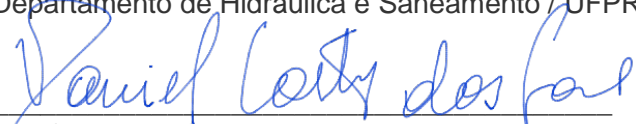
TERMO DE APROVAÇÃO DE PROJETO FINAL


DANIEL FONTES SILVA

AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCO MICROBIOLÓGICO APLICADA A ÁGUAS PARA REÚSO: UMA REVISÃO SISTEMATIZADA

Projeto Final de Curso, aprovado como requisito parcial para a obtenção do Diploma de Bacharel em Engenharia Ambiental no Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Setor de Tecnologia da Universidade Federal do Paraná, com nota 98, pela seguinte banca examinadora:

Orientador(a): 
Ramiro Gonçalves Etchepare (Professor Orientador)
Departamento de Hidráulica e Saneamento / UFPR

Membro(a) 1: 
Daniel Costa dos Santos (Membro Examinador 1)
Departamento de Hidráulica e Saneamento / UFPR

Membro(a) 2: 
Michael Mannich (Membro Examinador 2)
Departamento de Engenharia Ambiental / UFPR

Curitiba, 06 de julho de 2023

AGRADECIMENTOS

Eu gostaria de dedicar minha gratidão a todas pessoas importantes que passaram na minha vida antes e, especialmente, durante a graduação, que sempre estiveram ao meu lado em momentos bons e ruins, e nas fases mais desafiadoras de minha vida. Dessa forma, sou muito grato à minha mãe, Lu, e ao meu pai, Paulo, por me apoiarem tanto de diversas formas possíveis nas minhas decisões pessoais, acadêmicas e profissionais, e ao meu irmão Gabriel, pois a vida me abençoou com um irmão que também é um amigo incrível e que me entende em diversos aspectos, e está sempre torcendo pelo meu sucesso.

Agradeço também ao meu orientador Ramiro, que esteve me guiando pelo caminho da ciência do reúso de água desde 2020, quando tive o prazer de participar de um projeto de iniciação científica sobre tratamento de esgotos com floculação, pelo qual descobri minha afeição pelo tema do reúso de água. Ele também merece minha total gratidão pela paciência e, principalmente, pela empatia comigo em momentos difíceis de minha vida.

Também encontra-se na minha lista de agradecimento minha psicóloga Jamily, que me acompanha há meses no processo de execução desse trabalho, e que me ajudou muito a confiar em mim mesmo e valorizar minha saúde mental. Por último, agradeço a todas amizades incríveis que fiz ao longo da minha infância e que estão comigo até hoje, como a Nath e a Júlia, e do meu caminho na universidade, minhas irmãs de coração Thaís, Gabi, Ju, e Vi, e mais todas as outras pessoas especiais cuja amizade vou levar para o resto da minha vida.

Resumo

Com o aumento significativo de escassez hídrica no Brasil na última década, como consequência de longo processo de seca severa no semiárido nordestino brasileiro em 2013 e nas regiões sul e sudeste nos anos de 2014 e 2015, a insegurança hídrica passou a ser temida até mesmo num país que apresenta grande quantidade de recursos hídricos. Diante desse cenário, a prática do reúso de água se demonstra como uma ferramenta estratégica na solução de problemas de escassez, contribuindo também para a recuperação ambiental de corpos hídricos. No entanto, para obter proveito dessa prática de maneira segura, é necessário o atendimento de padrões de qualidade adequados, que permitam a diminuição de riscos sanitários à população que desfruta da água para reúso, especialmente riscos de caráter microbiológico, associados a diversos microrganismos patógenos de veiculação hídrica. Nesse contexto, há o destaque para a ferramenta de Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) no controle quantitativo desses riscos, com objetivo de auxiliar na tomada de decisões. O presente trabalho buscou caracterizar o estado de arte da aplicação da AQRM a diversas modalidades de reúso através de análise bibliométrica e revisão crítica de pesquisas relacionadas ao tema, visando identificar tendências em relação às modalidades e aos microrganismos patógenos analisados em cada uma delas. As modalidades mais populares de análise de AQRM foram a agrícola (53,5%) e a de reúso urbano não potável (32,2%), ao passo que outras modalidades como reúso potável (16,5%), industrial (3,1%) e de aquicultura (0,8%) foram menos abordadas nas pesquisas. As relações de microrganismos patógenos escolhidos para análise em cada modalidade de reúso mostram os *Norovírus* e *Rotavírus* como os vírus patógenos mais abordados nas modalidades, e a *Escherichia coli* como a principal bactéria analisada. A bactéria *Campylobacter* e o protozoário *Cryptosporidium* apresentaram maior relevância para as modalidades de reúso urbano não potável (31,7% e 39% respectivamente) e reúso potável (42,9% e 76,2%) do que para a modalidade de reúso agrícola (7,2% e 17,5%), tanto em participação relativa da modalidade quanto em números absolutos de artigos. A comparação dos microrganismos patógenos abordados nas pesquisas de AQRM aplicada a águas de reúso com patógenos cujos padrões são previstos nas normativas nacionais brasileiras revelou que esses documentos reguladores não abordam diversos patógenos de preocupação dos pesquisadores em relação à utilização da água para reúso pela população, nem mesmo a Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do Estado de São Paulo, que embora se destaque por prever padrões para *Escherichia coli*, *Ascaris spp.*, *Giardia* e *Cryptosporidium* para a modalidade de reúso urbano não potável, não aborda outros microrganismos patógenos como os vírus *Norovírus*, *Rotavírus* e as bactérias *Salmonella spp.* e *Campylobactéria*, presentes significativamente nos estudos.

Palavras-chave: AQRM, reúso de água, microrganismos patógenos, revisão crítica.

Lista de Figuras

1	Projeção de crescimento da demanda de usos consuntivos e não consuntivos água entre 2000 e 2050.	14
2	Volumes estimados de água doce presente em diferentes continentes. . .	15
3	Projeção de stress hídrico global em 2040.	16
4	Evolução dos usos setoriais e retirada da água no Brasil de 2000 a 2040.	17
5	Distribuição de Poisson	37
6	Distribuição Binomial Negativa	37
7	Distribuição Gamma	38
8	Distribuição Lognormal	38
9	Distribuição Beta	39
10	A revisão sistematizada pela Plataforma Rayyan	47
11	Análise bibliométrica através do software <i>VOSViewer</i>	48
12	Gráfico das relações de publicações e citações sobre o tema da AQRM aplicado a águas de reúso	51
13	Revistas, periódicos e demais bases de publicações das pesquisas a respeito da AQRM aplicada a águas de reúso.	52
14	Número de publicações por países	53
15	Infográfico das publicações com mais de 50 citações e suas relações de co-citação.	54
16	Infográfico dos termos de maior destaque nas publicações e suas correlações.	55
17	Modalidades de reúso de água abordada nos artigos.	57
18	Quantidade de artigos brasileiros por modalidade de reúso	58
19	Contribuição de artigos que abordam a modalidade de reúso agrícola. .	58
20	Contribuição de artigos que abordam a modalidade de reúso urbano não potável.	60
21	Submodalidades do reúso urbano não potável abordadas nos artigos. . .	61
22	Contribuição de artigos que abordam a modalidade de reúso potável de água.	62
23	Subdmodalidades do reúso potável de água.	63
24	Vírus patógenos abordados nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.	64
25	Bactérias patógenas abordadss nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.	65
26	Protozoários patógenos abordados nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.	66

27 Fungos e Helmintos abordados nas pesquisas da AQRM aplicada a águas
de reúso. 67

Lista de Tabelas

1	Índices hídricos e populacionais do Brasil.	17
2	Exemplos de desperdícios de água e possíveis medidas econômicas a serem adotadas em atividades domésticas corriqueiras.	19
3	Padrões de qualidade e modalidades de reúso em normas técnicas, diretrizes e resoluções em âmbito federal sobre o reúso de água no Brasil.	24
4	Padrões de qualidade e modalidades de reúso em normativas, diretrizes e resoluções estaduais sobre o reúso de água no Brasil.	25
5	Microorganismos patogênicos e riscos associados à sua presença na água.	32
6	Fatores e eventos que influenciam na variabilidade de redução de patógenos através de barreiras de tratamento, ambientais e regulatórias.	40
7	Estatísticas mais utilizadas para a quantificação de risco numa AQRM.	44
8	Relação entre os patógenos e as modalidades de reúso abordados nas pesquisas sobre a AQRM aplicada a águas de reúso.	68
9	Relação dos artigos com as modalidades de reúso abordadas	101

LISTA DE SIGLAS

- ABNT** - Associação Brasileira de Normas Técnicas.
- AQRM** - Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos.
- ANA** - Agência Nacional de Águas.
- CERH** - Conselho Estadual de Recursos Hídricos.
- CNRH** - Conselho Nacional de Recursos Hídricos.
- COEMA** - Conselho Estadual do Meio Ambiente.
- CONERH** - Conselho Estadual de Recursos Hídricos.
- CONSEMA** - Conselho Estadual do Meio Ambiente.
- COVID-19** - Pandemia do Coronavírus.
- DALY** - Perda de anos de vida saudável.
- DBO** - Demanda Bioquímica de Oxigênio.
- EPA** - Environmental Protection Agency.
- ETA** - Estação de Tratamento de Água.
- ETE** - Estação de Tratamento de Efluentes.
- ERSAR** - ERSAR – ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E RESÍDUOS.
- FAO** - Food and Agriculture Organization.
- NBR** - Norma Brasileira.
- OECD** - Organization for Economic Co-operation and Development.
- OMS** - Organização Mundial da Saúde.
- ONGs** - Organizações Não-Governamentais.
- Plansab** - Plano Nacional de Saneamento Básico.
- PROSAB** - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico.
- QMRA** - Quantitative Microbiological Risk Assessment.
- RAS** - Sistema de Recirculação de Água.
- SES** - Secretaria de Estado da Saúde.
- SIMA** - Secretaria de Infraestrutura e Meio Ambiente.
- SINGREH** - Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.
- UFC** - Unidade Formadora de Colônias.
- UV** - Radiação Ultravioleta.
- WWDR** - World Water Development Report.

Sumário

1	INTRODUÇÃO	11
2	OBJETIVOS	13
2.1	OBJETIVOS GERAIS	13
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	CENÁRIO HÍDRICO - DEMANDA E CRISE HÍDRICA	14
3.1.1	O cenário hídrico global	14
3.1.2	O cenário hídrico nacional	16
3.2	MEDIDAS PARA DEMANDA E CRISE HÍDRICA	17
3.2.1	Fóruns, conselhos e relatórios	17
3.2.2	Mudanças comportamentais e individuais	18
3.3	ÁGUAS PARA REÚSO	19
3.3.1	Histórico mundial da regulamentação sobre o reúso de água . . .	20
3.3.2	Histórico nacional da regulamentação sobre o reúso de água . .	20
3.3.3	Modalidades do reúso de água	25
3.3.3.1	Reúso Agrícola	26
3.3.3.2	Reúso Urbano	27
3.3.3.3	Reúso Industrial	27
3.3.3.4	Reúso de Aquicultura	28
3.3.3.5	Reúso Ambiental	29
3.4	QUALIDADE DA ÁGUA	30
3.4.1	Qualidade da água e saúde pública	30
3.4.2	Qualidade da água e riscos microbiológicos	31
3.5	AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS - AQRM	33
3.5.1	Formulação do Problema	34
3.5.2	Avaliação da exposição	35
3.5.2.1	Definição da via de exposição	35
3.5.2.2	Quantificação dos componentes da via de exposição . .	36
3.5.2.2.1	Concentração de patógenos	36
3.5.2.2.2	Quantificação da eficácia de medidas de controle	39
3.5.2.3	Caracterização da exposição: frequências e magnitudes	41
3.5.3	Avaliação nos efeitos da saúde	41
3.5.3.1	Relações Dose-resposta	41

3.5.3.1.1	Modelo Beta-Poisson para relação dose-resposta de infecção	42
3.5.3.2	Efeitos da doença: quantificação da duração da doença e das sequelas	42
3.5.3.3	Transmissão secundária e imunidade	43
3.5.4	Caracterização de risco	43
3.5.4.1	Medidas quantitativas de risco	43
3.6	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	44
4	MATERIAIS E MÉTODOS	46
4.1	REVISÃO SISTEMATIZADA	46
4.1.1	O método Booleano aplicado à pesquisa na plataforma virtual <i>Web of Science</i>	46
4.1.2	A plataforma <i>Rayyan</i> para gerenciamento da revisão sistemática	46
4.1.3	Análise Bibliométrica	47
4.2	REVISÃO CRÍTICA	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	50
5.1	ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA	50
5.2	REVISÃO SISTEMATIZADA: O ESTADO DA ARTE DA AQRM APLICADA A ÁGUAS DE REÚSO	56
5.2.1	Modalidades de reúso de água	56
5.2.1.1	Reúso agrícola	58
5.2.1.2	Reúso urbano não potável	59
5.2.1.3	Reúso potável	61
5.2.2	Microrganismos patógenos	63
5.2.2.1	Vírus	63
5.2.2.2	Bactérias	65
5.2.2.3	Protozoários	65
5.2.2.4	Fungos e Helmintos	66
5.2.3	Relações entre as modalidades de reúso e microrganismos patógenos	67
5.2.3.1	Comparação dos microrganismos patógenos de destaque em relação às normativas brasileiras sobre reúso de água	70
6	CONCLUSÕES	71
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	73
A	Artigos da pesquisa sobre a AQRM aplicada a águas de reúso	101

1 INTRODUÇÃO

A insegurança hídrica, representada pelas incertezas em relação à disponibilidade hídrica para diversas atividades humanas, e que, usualmente, é observada nas regiões mais áridas do planeta, pode afetar até mesmo um país com grande quantidade desse recurso, como o Brasil. Apesar de possuir uma superfície total de água de 173.749,5 km² e um grande número de rios, lagoas e reservatórios por onde escoam 255 mil m³/s, 80% do volume de água no país concentra-se na região da bacia amazônica, sendo que apenas uma parcela dessa quantidade está disponível em períodos e anos mais secos (ANA, 2020). Na última década, observou-se um aumento significativo da escassez hídrica no Brasil, com destaque para um longo processo de seca severa enfrentado pelo semiárido nordestino do país em 2013 (CUNHA et al., 2015), se estendendo para a região sudeste nos anos de 2014 e 2015, resultando num fenômeno de Crise Hídrica majoritariamente por falta de água de abastecimento públicos nas capitais (NOBRE et al., 2016), e a região sul (GIL et al., 2020).

Diante desse cenário, a prática do reúso de água surge como uma ferramenta estratégica para solucionar problemas de escassez ou até mesmo falta de água para diversas finalidades, contribuindo, ainda, para a recuperação do estado ambiental do recurso hídrico quantitativamente, ao possibilitar uma menor captação de volumes de água para atender a demanda, e qualitativamente, reduzindo descargas de efluentes em zonas sensíveis (ERSAR, 2019). Há diversas possibilidades para o reúso, denominadas usualmente de modalidades de reúso, sendo classificadas majoritariamente em usos potáveis e não potáveis, que demandam diferentes padrões de qualidades, conforme os usos pretendidos (ANGELAKIS et al., 2018).

Os avanços tecnológicos no tratamento de efluentes possibilitaram a produção de água para reúso de maior qualidade, atendendo padrões de qualidade mais restritos e aumentando as possibilidades de reúso, além de nortear a elaboração de normativas e diretrizes quanto a padrões de reúso e demais providências relacionadas à prática. Entretanto, em casos de processos de tratamento inadequados ou de baixa qualidade, conforme tecnologia disponível e/ou falta de monitoramento adequado, os contaminantes biológicos e químicos residuais podem representar um risco sanitário à população que utilizará, direta ou indiretamente, esse produto (MUKHEREJEE e JENSEN, 2020).

Os riscos microbiológicos associados à utilização do recurso hídrico podem derivar de diversos microrganismos patogênicos, sejam eles bactérias, vírus, protozoários e helmintos, e eles evidenciam uma necessidade de avaliação e controle quantitativo desses riscos para auxiliar na tomada de decisões, por parte de órgãos públicos e demais instituições reguladoras, visando a segurança sanitária da população. Com esse desafio em

mente, surgiu a Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM), uma ferramenta que aplica princípios da avaliação de risco para estimativa de uma exposição de microrganismos de caráter patogênico (HASS *et al.*,2014), avaliando também transporte e destino desses microrganismos, além de rotas de exposição e possíveis efeitos na saúde resultantes dessa exposição, fornecendo, desse modo, dados quantitativos de riscos que podem ser utilizados na tomada de decisões (WH0, 2016).

Desse modo, observa-se a importância da aplicação da ferramenta AQRM na análise de segurança sanitária da população quanto à utilização do recurso hídrico, especialmente da água para reúso, cuja qualidade está sujeita a diversos fatores. Nesse sentido, surge a necessidade da investigação da utilização da AQRM em águas de reúso, visando identificar fatores e tendências importantes a serem considerados pelo setor produtivo, empresas públicas e privadas, órgãos e instituições reguladoras em suas práticas, diretrizes e normativas a respeito do reúso de água, bem como nortear futuros trabalhos técnicos e científicos nesta área.

2 OBJETIVOS

Nesta seção serão apresentados os objetivos gerais e específicos definidos para o trabalho.

2.1 OBJETIVOS GERAIS

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão sistematizada do estado da arte sobre a Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) aplicada ao reúso da água e discutir as principais abordagens e implicações relacionadas às modalidades de reúso e patógenos analisados.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

A partir dos objetivos gerais foram determinados os seguintes objetivos específicos:

- i. Aplicar o método booleano de busca associado à análise bibliométrica para avaliar as publicações no tema da ferramenta AQRM aplicada ao reúso de água;
- ii. Identificar, analisar e discutir as relações existentes entre os microrganismos patógenos estudados e as modalidades de reúso empregadas;
- iii. Avaliar o cenário, as perspectivas e os desdobramentos dos levantamentos realizados em relação ao cenário brasileiro de reúso de água.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

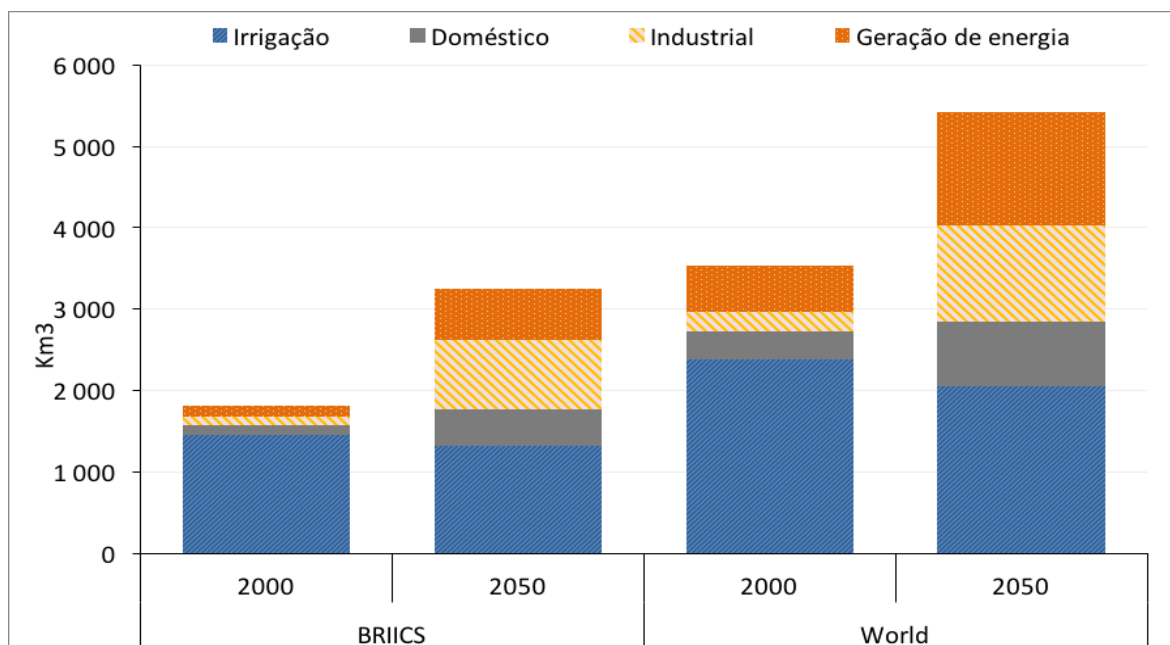
3.1 CENÁRIO HÍDRICO - DEMANDA E CRISE HÍDRICA

3.1.1 O cenário hídrico global

A água é notoriamente um recurso estritamente essencial e, ao mesmo tempo, limitado. De toda a hidrosfera do planeta, 2,6% pertencem às águas doces, e destes, 99,7% se encontram indisponíveis em razão de calotas polares e aquíferos (76,4 e 22,8%, respectivamente). Ainda, apenas 0,3% desse total correspondem às áreas alagadas (rios, represas e lagos) e estão disponíveis (VENANCIO et al., 2015).

Partindo do pressuposto de que o volume de água doce no planeta é escasso, a distribuição hídrica pode ser caracterizada como um problema demográfico e geográfico, dado que existem muitas pessoas para pouco volume de água (RIBEIRO et al., 2019). Da demanda hídrica, estima-se que até 2050 a economia mundial deverá, impreterivelmente, crescer até quatro vezes mais a fim de atender à demanda global. Segundo dados fornecidos pela OECD (2012), essa demanda divide-se nos seguintes setores: irrigação, doméstico, industrial e de geração de energia (Figura 1).

Figura 1: Projeção de crescimento da demanda de usos consuntivos e não consuntivos água entre 2000 e 2050.



FONTE: elaboração de REIS et al. (2013), dados fornecidos por OECD (2012).

Nota: BRICTS contempla Brasil, Rússia, Índia, Indonésia, China e África do Sul.

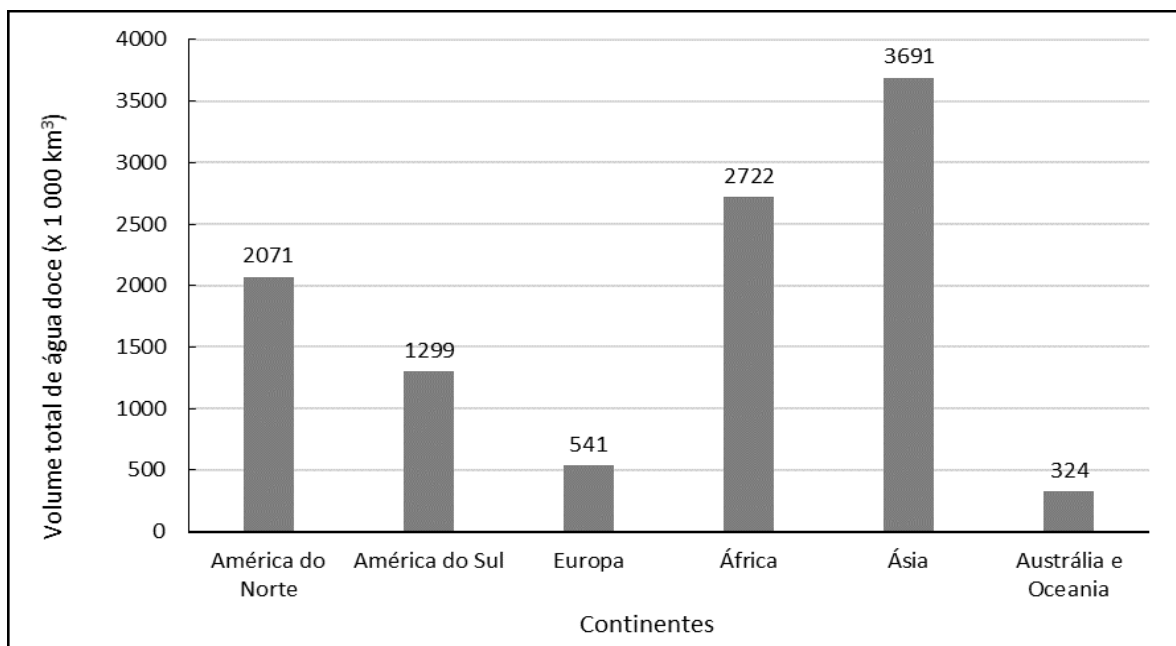
Ainda que a demanda hídrica para consumo doméstico seja estritamente menor quando comparada às atividades de irrigação, indústria e geração de energia, tem-se uma preocupação recorrente com a questão do consumo e escassez de água, uma vez

que o homem, além de exercer forte influência sobre os recursos, depende inteiramente destes para a sua sobrevivência (SOUZA, 2015).

À medida que o crescimento populacional e, por consequência, a urbanização, produção de alimentos e bens de consumo ampliam, mais recursos naturais são explorados e aproveitados, desencadeando efeitos indesejáveis aos ecossistemas (CANTELLE et al., 2018). Não somente isso, mas algumas alterações também podem ser observadas no âmbito do ciclo hidrológico, sobretudo em bacias hidrográficas, como alteração da temperatura da água fluvial, em zonas de inundação e escoamento natural, dentre outros impactos (REIS et al., 2013).

Além dos efeitos supracitados, faz-se necessário frisar a distribuição desproporcional dos recursos hídricos pelo mundo. Por exemplo, o continente europeu detém apenas 5,08% de reservas de água doce, enquanto, por outro lado, as reservas pertencentes à Ásia e à África correspondem a 34,66% e 25,56% do total, respectivamente (WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME, 2022) (Figura 2).

Figura 2: Volumes estimados de água doce presente em diferentes continentes.

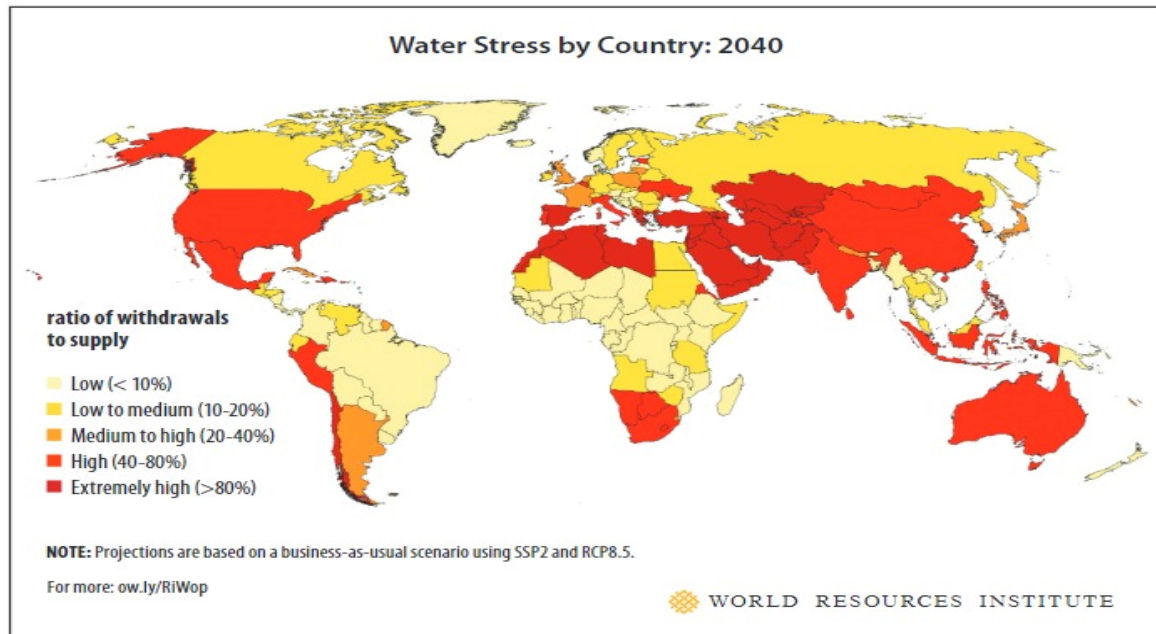


Fonte: elaborado a partir de dados de World Water Assessment Programme (2022).

A escassez de água está intrinsecamente ligada a dois fatores: econômico e físico. Este primeiro diz respeito à falta de investimento dispendido em recursos hídricos e sua conservação, enquanto a escassez física refere-se à demanda populacional, isto é, quando os recursos hídricos são incapazes de atendê-la (CIRILO, 2015). Tendo em vista esse cenário, o World Resources Institute analisou, em 2015, dados referentes às mudanças climáticas a fim de estabelecer um ranking de stress hídrico durante um período de 20 anos (2020, 2030 e 2040) para 167 países. Como resultado, 33 países possuem uma

alta tendência a apresentar um stress hídrico em 2040 (Figura 3) (MADDO-CKS et al., 2015).

Figura 3: Projeção de stress hídrico global em 2040.

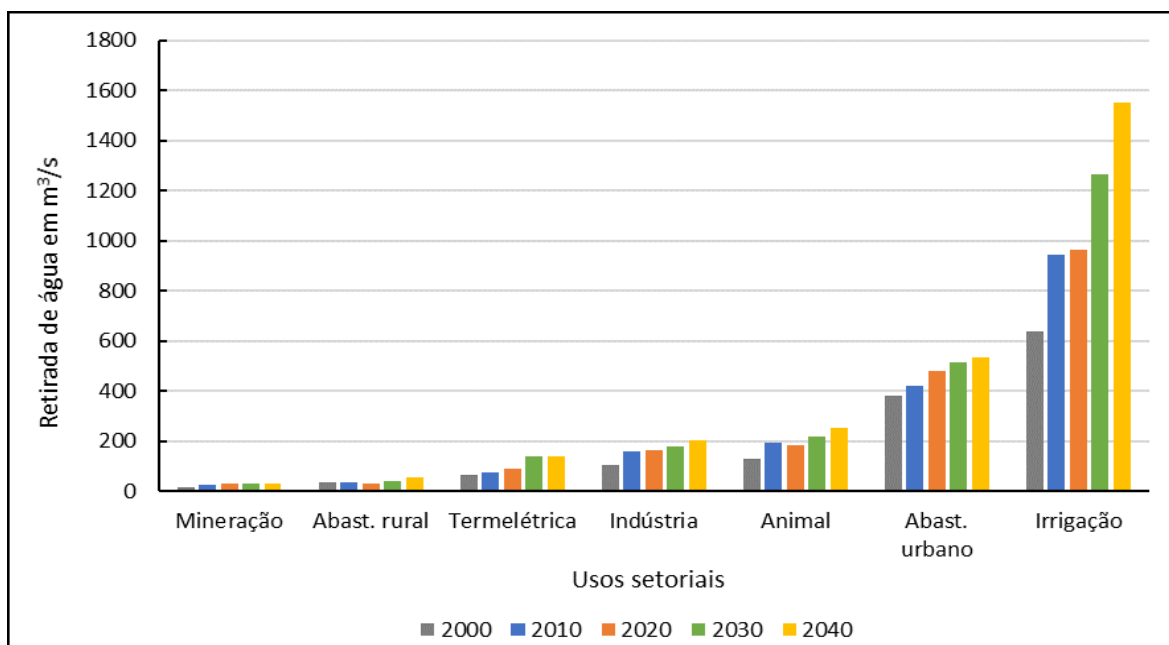


Fonte: World Resources Institute.

3.1.2 O cenário hídrico nacional

Segundo o relatório da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2021), assim como já observado no panorama global, o uso consuntivo da água está concentrado principalmente em atividades de irrigação, abastecimento humano, rural, industriais e outras. Os usos não consuntivos, como pesca, recreação e turismo não captam água de maneira direta, mas estão atrelados às bacias hidrográficas e outros sistemas hídricos, se tornando também alvos de preocupação. Da demanda hídrica nacional, os dados evidenciaram que em 2020 cerca de 965 m³/s de água foram retirados para fins de irrigação. Ademais, estima-se um aumento substancial das retiradas de água (42%) até o ano de 2040 (Figura 4).

Figura 4: Evolução dos usos setoriais e retirada da água no Brasil de 2000 a 2040.



Fonte: Elaborado a partir de dados fornecidos pela Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) (2021).

O Brasil, apesar de deter cerca de 12% da totalidade de água doce do planeta, possui um crescimento populacional extremamente pressuroso, desencadeando assim o uso indevido dos recursos hídricos (GOMES et al., 2019). Desse percentual, 71,80% estão presentes nas regiões Norte e Nordeste do país, detendo 35,70% da população brasileira (Tabela 1).

Tabela 1: Índices hídricos e populacionais do Brasil.

Região	Disponibilidade hídrica (%)	População (%)
Norte	68,50	6,80
Nordeste	3,30	28,90
Sudeste	6,00	42,70
Sul	6,50	15,10
Centro Oeste	15,70	6,40

Fonte: elaborado a partir de SILVA (2012).

3.2 MEDIDAS PARA DEMANDA E CRISE HÍDRICA

3.2.1 Fóruns, conselhos e relatórios

A fim de desenvolver uma visão despolitizada da água e um consenso global acerca da importância de sua conservação, o Conselho Mundial da Água, entidade composta por países como França, Holanda e Canadá, promove, desde 1996, fóruns para fomentar as muitas problemáticas envolvidas no tema (FURIGO; SAMORA, 2019). No entanto,

segundo Espinoza (2016), os resultados obtidos muitas vezes estão consonantes com ideias particulares de chefes de Estado, ministros, indústrias, ONGs e outros.

Além disso, Swyngedouw (2013) também adotou a despolitização dos recursos hídricos ao redigir sobre o documento “The United Nations, World Water Development Report (WWDR)”, o qual reúne informações acerca do ciclo hidrológico aliado ao desenvolvimento populacional, envolvendo questões como urbanização, saúde, serviços ecossistêmicos e outros (FURIGO; SAMORA, 2019). Em contrapartida, assim como os empecilhos observados por Espinoza (2016), o autor questiona sobre relações de poder e o desenvolvimento desigual, uma vez que ainda existem muitos problemas envolvendo condições ambientais e a água, ainda que com tanta riqueza de informações.

Sob um panorama nacional, inicialmente a caracterização da água como uma mercadoria e direito essencial ao ser humano ocorreu por meio da promulgação da Política Nacional de Recursos Hídricos e a criação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SINGREH) (Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) (BRASIL, 1997). Desta forma, a Lei objetivou, sobretudo, assegurar a disponibilidade de água à atual e às futuras gerações, bem como sua preservação, captação, aproveitamento e gestão adequados.

Mais tarde, o Plano Nacional de Saneamento Básico (Plansab), aprovado em 2013, visou divulgar estatísticas acerca da acessibilidade da população a condições adequadas de saneamento básico: aproximadamente 60% da população brasileira detêm de uma carência de condições de saneamento e abastecimento de água (RAMOS, 2015).

Com a aprovação da Lei nº 14.026/2020, surge um novo marco legal regulatório do saneamento básico, instalando mudanças importantes no setor, como a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) ser responsável pela edição de normas de referência sobre padrões de qualidade e eficiência na prestação, manutenção e operação dos sistemas de saneamento básico, padronização dos instrumentos negociais de prestação de serviços públicos de saneamento básico firmados entre titular do serviço público e o delegatário, governanças das entidades reguladoras, e, do reúso dos efluentes sanitários tratados, em conformidade com as normas ambientais e de saúde pública, dentre outros (ANA, 2022).

3.2.2 Mudanças comportamentais e individuais

Tendo em vista toda a tentativa de descentralização e despolitização e, ao mesmo tempo, todo o conflito político envolvidos na conservação da água, faz-se necessário citar as práticas de consumo individuais, atrelando-as às mudanças de comportamento. Segundo Souza (2015), o consumo consciente envolve atitudes como a escolha de produtos com baixo impacto ambiental (oriundos de empresas ambientalmente corretas) e simples mudanças comportamentais no uso da água domiciliar (Tabela 2).

Tabela 2: Exemplos de desperdícios de água e possíveis medidas econômicas a serem adotadas em atividades domésticas corriqueiras.

Atividade	Gasto dispendido (L)	Medida econômica	Gasto adoção das medidas econômicas (L)	Economia (%)
Lavar carro e calçada	370	Trocar a mangueira por baldes	40	89,2
Lavar pratos	240	Usar torneira somente para enxágue	80	66,67
		Abrir chuveiro somente para enxágue	81	66,67
Tomar banho (ducha)	243	Trocar ducha por chuveiro elétrico	144	40,74
Vaso sanitário	10	Trocar válvula por caixa acoplada	3-6	40

Fonte: SOUZA (2015).

3.3 ÁGUAS PARA REÚSO

Durante muitos anos, o termo "água de reúso" foi (e ainda é) muito utilizado para a descrição da prática de reutilização de efluentes tratados com a finalidade de atender diversas demandas de água, seja em contextos de escassez hídrica ou por motivações de princípios de sustentabilidade. No entanto, publicações mais recentes sobre tema, como a de Santos *et al.*, 2022, já consideram a terminologia "águas para reúso", atentando ao fato de se destacar a finalidade da prática de reúso, que é um dos principais fatores norteadores para padrões e tratamentos adequados para uso. Desse modo, no presente trabalho adota-se esta nova terminologia.

Ainda no âmbito de medidas individuais, destaca-se a utilização de fontes alternativas de água e, mormente, seu reúso planejado, pois possibilita a destinação desta a atividades agrícolas, de irrigação, limpeza urbana e outras (PINTO et al., 2014). Desta forma, a água para reúso pode ser classificada como o aproveitamento de água que já tenha sido previamente utilizada. PROLAGOS (2015) afirma que a água para reúso é resultado de técnicas de refinamento de esgoto, enquanto Barros et al. (2015) a caracterizam como um produto reutilizável e proveniente de efluentes tratados.

Ainda assim, a classificação de "água para reúso" causa muita ambiguidade e assemelha-se ao termo "água reciclada". No entanto, esta última não pode ser considerada água para reúso em razão do processo em que está envolvida, uma vez que após passar pelo ciclo hidrológico habitual, será utilizada pela primeira vez, diferentemente da água para reúso (MOURA et al., 2020). Das vantagens de sua utilização, tem-se a preservação da água potável para outros fins que requerem sua potabilidade (ex.: abastecimento humano) e a redução de custos com água, energia e esgoto (LEGNER, 2013).

No Brasil, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) nº 13.969 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1997), o aproveitamento da água para reúso pode ser dividido em três caracterizações: reúso local, abrangendo esgoto doméstico (como enxágue de máquina de lavar, vasos sanitários e outros); reúso direto, onde a disposição final dos efluentes, depois de tratados, ocorre diretamente no local de reúso; e reúso indireto, com o descarte dos efluentes, sejam eles tratados ou

não, em corpos superficiais e/ou subterrâneos. Sobre os tipos de reúso direto e indireto, é importante ter em mente a susceptibilidade de oferecerem riscos associados à saúde, pois a água pode ter um contato prévio com coliformes, parasitas e vírus (MOURA *et al.*, 2020).

3.3.1 Histórico mundial da regulamentação sobre o reúso de água

A primeira regulamentação sobre o reúso de água no mundo surgiu em 1918 no estado da Califórnia, através da publicação de padrões de qualidade de águas de reúso de matriz de efluentes (esgotos) tratados, visando a aplicação na modalidade agrícola, limitada às culturas agrícolas que não eram consumidas diretamente cruas (ANGELAKIS *et al.*, 2018).

Em 1973, após o reconhecimento, por parte da Organização Mundial da Saúde (OMS) em 1971, dos riscos de reúso de águas residuárias aos usuários (PASCHOALATO *et al.*, 2004), a mesma elaborou suas primeiras diretrizes referentes a águas de reúso para irrigação visando segurança sanitária à população, publicando suas medidas no guia *Reuse of effluents: Methods of wastewater treatment and Public Health Safeguards*, que foi atualizado em 1989 com a proposta de novos critérios para o reúso de água na agricultura e na aquicultura.

No ano de 1992, foi a vez da Agência de Proteção Ambiental (EPA) norte-americana publicar seu guia para o reúso de água, ampliando as finalidades de reúso de água observadas, ao apresentar orientação para a prática de reúso de águas residuárias nas modalidades urbana, industrial e agrícola (MALINOWSKI, 2006).

Em 2016, visando ampliar suas diretrizes para o reúso de águas residuárias e preocupada com a questão do controle de doenças de veiculação hídrica, a OMS publicou diretrizes para o reúso de água na agricultura no geral (OMS, 2016), e em 2017 desenvolveu e publicou um guia para a produção de água potável a partir de reúso (OMS, 2017).

3.3.2 Histórico nacional da regulamentação sobre o reúso de água

No Brasil, a primeira normativa técnica que abordou o reúso de água foi a norma técnica nº 13.969 de 1997 (ABNT, 1997), embora não tratando diretamente desse tema e sem a definição de diretrizes e caráter obrigatório, uma vez que a mesma tratava de orientações para a construção e operação de unidades de tratamento complementar aos tanques sépticos. Essa normativa já previa a reutilização de água em aplicações locais em lavagem de pisos, calçadas, irrigação de jardins e pomares e utilização em aparelhos sanitários em banheiros, através do tratamento de efluentes a partir de tecnologias avançadas, como membranas e lodo ativado. Tal normativa serviu como importante

marco inicial e de inspiração para o desenvolvimento de demais normativas e legislações a respeito da regulamentação do reúso de água no país.

Em 2005, surgiu a primeira resolução nacional que abordava diretamente a temática e a prática de reúso de água, a Resolução nº 54, de 28 de novembro de 2005, do Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH, 2005). Embora fosse a primeira legislação em âmbito nacional a estabelecer critérios gerais e definir diretrizes sobre a prática de reúso direto não potável de água, além de definir as modalidades de reúso urbano, agrícola, ambiental, industrial e na aquicultura, foi uma resolução mais genérica e não definiu padrões de qualidade para a água para reúso.

Em 2006, foi criada a normativa do Programa de Pesquisas em Saneamento Básico (PROSAB) a respeito do reúso de água, propondo diretrizes voluntárias e definindo padrões de reúso para as modalidades urbanas, agrícolas e na piscicultura, baseados nas recomendações da Organização Mundial de Saúde, dividindo, por exemplo, a modalidade de reúso urbano não potável em três submodalidades, baseando-se no grau de exposição humana a que os usuários dessa água para reúso estariam sujeitos: usos irrestritos, usos restritos e usos prediais (PROSAB, 2006).

A primeira normativa a nível estadual publicada a respeito do reúso de água foi a Resolução nº 75, de 29 de julho de 2010 do Conselho Estadual de Recursos Hídricos da Bahia (CONERH), a qual previu diretrizes e padrões de qualidade de água para reúso direto não potável para as modalidades agrícolas e/ou florestais – separando-as em duas categorias baseadas no parâmetro de coliforme termotolerantes conforme grau de restrição do reúso – sem restrição de nível de tratamento, tratando, também, de aspectos relativos às responsabilidades do produtor de água para reúso (BAHIA, 2010).

A partir de 2017, foram lançadas resoluções sobre a prática do reúso em demais estados. A Resolução nº 02, de 02 de janeiro de 2017, do Conselho Estadual do Meio Ambiente do Ceará (COEMA), além de dispor sobre condições, parâmetros, padrões e diretrizes para gestão do lançamento de efluentes em corpos receptores e em rede coletora de esgoto, foi além da proposição da normativa baiana, ao tratar de estabelecer diretrizes, critérios e parâmetros específicos para o reúso não potável de água em diversas modalidades, como agrícola/florestal, urbano, ambiental, industrial e de aquicultura, além de apresentar padrões mais restritivos para o uso na agricultura ou florestal, tratando também do parâmetro coliforme termotolerantes e ovos de helmintos para separar as categorias de reúso conforme suas restrições (CEARÁ, 2017).

Em 2018, surgiu um importante documento contendo diretrizes a respeito do reúso de água em caráter nacional, o Programa de Desenvolvimento do Setor Águas (Interáguas), que elaborou uma proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil, dispondo de critérios e padrões para as di-

versas categorias: agrícolas, urbano, ambiental, industrial e aquicultura. O plano do Interágua foi baseado considerando-se diversas dimensões, como ambientais, econômico-financeiras, sociais, culturais e sanitárias, além de apresentar recomendações de licenciamento para cada tipo de reúso, a partir de uma revisão completa de legislações, diretrizes e normativas nacionais e internacionais que abordavam padrões de qualidade e demais providências. Os parâmetros de qualidade considerados pelo Interágua foram além de apenas coliformes termotolerantes, compreendendo, também, demanda bioquímica de oxigênio (DBO), ovos de helmintos, cloro residual livre e turbidez para as diversas categorias de reúso baseadas em suas modalidades de reúso (agrícolas, urbanas, ambiental, industrial, aquicultura) e na restrição baseada na submodalidade (restrito ou irrestrito), conforme diferentes grau de exposição humana à água para reúso. O documento do Interágua apresenta, ainda, orientações para recarga de aquífero para reúso potável e indireto, embora não sejam orientações padrões (INTERÁGUAS, 2018).

A normativa mais recente que aborda a prática do reúso de água foi a norma técnica NBR 16783/2019, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2019), que abordou apenas a modalidade de reúsos urbanos não potáveis, especificamente em sistemas de reúso urbano em edificações e em sistemas de resfriamento industriais (reúso industrial urbano), propondo diretrizes para estabelecer aspectos como padrão de reúso, submodalidades de reúso urbano predial, e usos e operações de sistemas alternativos para uma prática segura (COSTA *et al.*, 2021). Por ser uma normativa mais específica, foram definidos padrões de uso com base em diversos parâmetros como coliformes termotolerantes, DBO, turbidez, cloro residual livre, sólidos dissolvidos totais e até carbono orgânico total, apresentando-se como uma normativa mais restritiva em comparação com os padrões de demais normativas federais.

A Resolução estadual Conjunta SES/SIMA nº 01, de 13 de fevereiro de 2020, do estado de São Paulo tratou especificamente da modalidade de reúso urbano não potável, definindo padrões e parâmetros para a prática que envolve especificamente esgotos sanitários provenientes de estações de tratamento de esgoto (ETEs). Por ser restrita a apenas uma modalidade, essa resolução trabalhou em padrões mais restritivos e rigorosos de qualidade de água, sendo a resolução que apresenta o maior número de parâmetros regulatórios dentre todas as resoluções brasileiras, abrangendo inclusive os parâmetros biológicos de bactérias como *Escherichia coli*, helmintos e protozoários, como *Ascaris sp.*, *Giardia* e *Cryptosporidium* (COSTA *et al.*, 2021). A resolução SES/SIMA nº 01/2020 ainda prevê demais parâmetros de padrão de reúso, como cloro residual livre, coliformes termotolerantes, turbidez e DBO, além de prever aspectos de operação, como tratamento mínimo secundário, desinfecção e filtração, e apresentar atribuições de responsabilidade para produtor e usuário da água para reúso (SÃO PAULO, 2020).

A Resolução estadual nº 419 de 13 de fevereiro de 2020, do Conselho Estadual do Meio Ambiente (CONSEMA) do estado do Rio Grande do Sul tratou de diretrizes e definições para parâmetros de qualidade e monitoramento de reúso de água das modalidades urbana, agrícola, industrial e florestal, sendo a única resolução estadual a considerar efluentes líquidos de origem industrial como uma matriz para a água para reúso. A resolução gaúcha também considerou e estabeleceu a questão do licenciamento ambiental para o gerador ou usuário da água para reúso, atribuindo responsabilidades para ambos. Os principais parâmetros considerados nos padrões definidos nessa normativa incluem coliformes totais, ovos de helmintos e cloro residual total (RIO GRANDE DO SUL, 2020).

Finalmente, a última normativa estadual que trata de diretrizes, providências, modalidades e estabelece padrões de reúso de água é a Deliberação Normativa CERH-MG nº 65 de 18 de junho de 2020, do Conselho Estadual de Recursos Hídricos de Minas Gerais, que dispõe sobre o reúso de água nas modalidades agrossilviopastoris, urbanos, ambientais e industriais, apresentando padrões mais flexíveis com objetivo de incentivar a prática e a aplicação do reúso. Além disso, definiu responsabilidades não apenas para o produtor e usuário da água para reúso, como também para o distribuidor (MINAS GERAIS, 2020).

Em junho de 2023, a Secretaria do Desenvolvimento Sustentável do Paraná (SEDEST) lançou uma minuta a respeito de diretrizes e critérios gerais para a prática de utilização da água para reúso no estado, que em breve será publicada e permitirá, desse forma, a regularização da água para reúso prevista por normativa (SEDEST, 2023).

Os padrões de reúso, bem como as modalidades previstas da prática em cada diretriz técnica, resolução e normativa federais e estaduais podem ser observados, respectivamente, nas tabelas 3 e 4 .

Tabela 3: Padrões de qualidade e modalidades de reúso em normas técnicas, diretrizes e resoluções em âmbito federal sobre o reúso de água no Brasil.

Normativa	Padrões de reúso	Modalidades de reúso
NBR 13.969/1997	<p>Classe 1 - Coliformes: 200 NMP/100mL; Turbidez: 5 NTU; Cloro residual livre: 0,5 a 1,5 mg/L.</p> <p>Classe 2 - Coliformes: 500 NMP/100mL; Turbidez: 5 NTU; Cloro residual livre >0,5 mg/L.</p> <p>Classe 3 - Coliformes: 500 NMP/100mL; Turbidez: 10 NTU; Cloro residual livre: S/I.</p> <p>Classe 4 - Coliformes: 5000 NMP/100mL;</p>	<p>Classe 1: lavagem de automóveis, uso recreativo em lagoas e piscinas.</p> <p>Classe 2: lavagem de pisos e calçadas, irrigação de jardins, manutenção de lagoas e canais.</p> <p>Classe 3: bacias sanitárias em banheiros públicos e em edifícios comerciais e industriais.</p> <p>Classe 4: Irrigação de culturas, pomares e pastagens.</p>
Resolução nº54/2005 CNRH	-	<p>Agrícolas/florestais: produção agrícola e cultivo de florestas.</p> <p>Ambientais: projetos de recuperação do meio ambiente.</p> <p>Industriais: operações e atividades industriais.</p> <p>Aquicultura: criação de animais ou cultivo de vegetais aquáticos.</p>
PROSAB (2006)	<p>Urbano/piscicultura restrito - Coliformes: 10.000 UFC/100mL.</p> <p>Urbano/piscicultura irrestrito - Coliformes: 200 UFC/100mL.</p> <p>Uso predial - Coliformes: 10³ UFC/100mL.</p>	<p>Urbana: usos urbanos conforme grau de exposição de contaminação.</p> <p>Agrícola: irrigação e atividades agrícolas de culturas, conforme grau de exposição de contaminação.</p> <p>Piscicultura: criação de animais aquáticos para consumo, conforme grau de exposição de contaminação.</p>
Programa Interáguas (2018)	<p>Agrícola restrito - Coliformes: 10³ UFC/100mL; DBO: 30 mg/L; Cloro residual livre >1,0 mg/L.</p> <p>Agrícola irrestrito - Coliformes: 10 UFC/100mL; DBO: 15 mg/L; Turbidez: 5 NTU; Cloro residual livre >1,0 mg/L.</p> <p>Urbano restrito - Coliformes: 10³ UFC/100mL; DBO: 30 mg/L; Turbidez: 5 NTU; Cloro residual livre >1,0 mg/L.</p> <p>Urbano irrestrito - Coliformes: 10 UFC/100mL; DBO: 15 mg/L; Turbidez: 5 NTU; Cloro residual livre >1,0 mg/L.</p> <p>Industrial - Coliformes: 10³ UFC/100mL; DBO: 60 mg/L.</p> <p>Ambiental - Coliformes: 10³ UFC/100mL; DBO: 60 mg/L.</p> <p>Aquicultura: Coliformes: 10³ UFC/100mL; DBO: 60 mg/L.</p>	<p>Agrícola irrestrito: irrigação de cultura alimentícia rente ao solo.</p> <p>Agrícola restrito: irrigação de cultura alimentícia distante do solo; irrigação de culturas não destinadas ao consumo humano; cultivo de florestas plantadas.</p> <p>Urbano irrestrito: irrigação paisagística, bacias sanitárias e lavagem de logradouros.</p> <p>Urbano restrito: irrigação paisagística, construção civil, desobstrução de rede de esgoto, lavagem de veículos e combate ao incêndio.</p> <p>Industrial: processos e atividades industriais.</p> <p>Ambiental: lagoas urbanas, manutenção de wetlands, e aumento de disponibilidade hídrica para fins ambientais.</p> <p>Aquicultura: criação de peixes e cultivo de vegetais aquáticos.</p>
NBR 16.783/2019	<p>Coliformes: 200 UFC/100mL; Turbidez: 5 NTU; DBO: 20 mg/L; Cloro residual livre: 0,5 a 5,0 mg/L; Carbono orgânico total: 4 mg/L.</p>	<p>Submodalidades: descarga em bacias sanitárias e mictórios; lavagem de logradouros; lavagem de veículos; irrigação para fins paisagísticos; usos ornamentais; sistemas de resfriamento (industrial); arrefecimento de telhados.</p>

NMP: Número mais Provável; UFC: Unidade Formadora de Colônia; NTU: Unidade de Turbidez Nefelométrica;

Fonte: adaptado de LIMA e SANTOS (2022).

Tabela 4: Padrões de qualidade e modalidades de reúso em normativas, diretrizes e resoluções estaduais sobre o reúso de água no Brasil.

Normativa	Padrões de reúso	Modalidades de reúso
Resolução nº75/2010 CONERH - Bahia	Categoria A - Coliformes: 10 ³ UFC/100mL. Categoria B - Coliformes: 10.000 UFC/100mL.	Categoria A: irrigação de qualquer cultura incluindo alimentos consumidos crus. Categoria B: irrigação de produtos não consumidos crus e produtos não alimentícios, forrageiras, pastagens, árvores, revegetação e recuperação de áreas degradadas.
Resolução nº 02/2017 COEMA - Ceará	Urbano - Coliformes: 5 x 10 ³ UFC/100mL; irrigação paisagística Coliformes: 10 ³ UFC/100mL. Agrícola/florestal-a - Coliformes: ND UFC/100mL. Agrícola/florestal-b - Coliformes: 10 ³ UFC/100mL. Ambiental - Coliformes: 10.000 UFC/100mL. Aquicultura - Coliformes: 10 ³ UFC/100mL.	Urbano: irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, e combate a incêndios em área urbana. Agrícola/florestal-a: culturas consumidas cruas. Agrícola/florestal-b: demais culturas. Ambiental: implantação de projetos de recuperação do meio ambiente. Aquicultura: criação de animais e cultivo de vegetais aquáticos.
Resolução Conjunta SES/SIMA nº01/2020 São Paulo	Classe A - Coliformes: ND UFC/100mL; Turbidez: 2 NTU; DBO: 10 mg/L; Cloro residual livre: a partir de 1,0 mg/L; E. Coli: ND UFC/100mL; Ovos viáveis de Ascaris sp. <0,1/L; Giardia e Cryptosporidium: ND. Classe B - Coliformes: 200 UFC/100mL; Turbidez: S/I; DBO: 30 mg/L; Cloro residual livre: a partir de 1,0 mg/L; E.Coli: 120 UFC/100mL; Ovos viáveis de Ascaris sp.: 0,1/L; Giardia e Cryptosporidium: S/I.	Classe A (irrestrito): irrigação paisagística, lavagem de logradouros e espaços públicos, construção civil, desobstrução de galerias, lavagem de veículos e combate a incêndios. Classe B (restrito): exclusivamente a todos anteriores exceto incêndios.
Resolução nº419/2020 CONSEMA Rio Grande do Sul	Urbano Classe A - Coliformes: 200 UFC/100mL; Cloro residual total <1,0 mg/L; Urbano Classe B - Coliformes: 10 ³ UFC/100mL. Agrícola/florestal - Coliformes: 10.000 UFC/100mL.	Urbano Classe A (irrestrito): irrigação paisagística em local irrestrito, lavagem de logradouros e veículos. Urbano Classe B (restrito): irrigação paisagística em locais de acesso limitado, abatimento de poeira, construção civil, ETEs e desobstrução de tubulações. Agrícola/florestal: irrigação de qualquer cultura, exceto frutos, hortaliças, raízes e tubérculos com contato direto com o solo ou com a água para consumo humano na forma crua.
Deliberação Normativa nº 65/2020 - CERH Minas Gerais	Agrossilvipastoril amplo - Coliformes/E.coli: 10.000 UFC/100mL. Agrossilvipastoril limitado - Coliformes/E.coli: 1.000.000 UFC/100mL. Urbano amplo - Coliformes/E.coli: 10 ³ UFC/100mL. Urbano limitado (s/ desobstrução de galerias) - Coliformes/E.coli: 10.000 UFC/100mL. Desobstrução de galerias - Coliformes/E.coli: 10.000.000 UFC/100mL.	Agrossilvipastoril amplo: fertirrigação superficial, localizada ou por aspersão. Agrossilvipastoril limitado: fertirrigação superficial ou localizada, evitando contato da água de reúso com o produto alimentício. Urbano amplo: lavagem de pátios, logradouros, veículos comuns, e descargas sanitárias. Urbano limitado: lavagem de veículos especiais e externa de trens e aviões, controle de poeira, combate a incêndios, e desobstrução de galerias.

UFC: Unidade Formadora de Colônia; NTU: Unidade de Turbidez Nefelométrica; S/I: Sem informação
Fonte: adaptado de LIMA e SANTOS (2022).

3.3.3 Modalidades do reúso de água

As denominadas modalidades da prática do reúso de água são definidas através da finalidade do efluente tratado. Como observado nas diretrizes, normas técnicas e resoluções brasileiras supracitadas e analisadas, o tipo de modalidade de reúso prevista numa normativa vai depender das necessidades e contextos históricos e socioeconômicos de uma determinada região, e essa modalidade, por sua vez, será importante na definição dos padrões de reúso de água, pois dependendo do grau, da frequência e da via de exposição desse produto ao ser humano, determinada qualidade de água deve ser alcançada, ditando, por sua vez, o tipo de tecnologia a ser empregada na estação de tratamento de esgoto (LIMA; SANTOS, 2022).

Dentre os diversos tipos existentes de modalidades de reúso de água previstos na

normativas nacionais em âmbitos federal e estadual, destacam-se 5 principais: agrícola, ambiental, urbano, industrial e de aquicultura.

3.3.3.1 Reúso Agrícola

Dentre as modalidades de reúso, o reúso agrícola é o mais citado e o mais amplamente utilizado, nacional e globalmente (ANGELAKIS *et al.*, 2018). De fato, a primeira regulamentação sobre o reúso de água no mundo foi pautada na elaboração de diretrizes para o emprego de água de reciclagem em culturas agrícolas, como já citado anteriormente.

O reúso agrícola torna-se uma ferramenta muito importante e vantajosa no Brasil, uma vez que o país é grande produtor agrícola e demanda expressivamente grandes quantidades de recurso hídrico para essa atividade (LIMA; SANTOS, 2022). Dentro dessa modalidade, algumas normativas preveem, sob determinadas diretrizes, a utilização da água para reúso para irrigação em diversos tipos de cultura, incluindo de produtos alimentícios consumidos crus, o que traz à tona a questão dos riscos que esse produto pode trazer ao meio ambiente e à saúde dos trabalhadores, consumidores, e a população que habita a vizinhança de áreas agrícolas irrigadas, devido a constituintes químicos e microbiológicos presentes no efluente após o tratamento (SHOUSHTARIAN, F; NEGAHBAN-AZAR, M., 2020).

Em estudo sobre a avaliação do potencial de uso de efluentes domésticos tratados para irrigação na área da bacia do rio Paracatu em Minas Gerais, MELO *et al.*, 2020 concluíram que a água para reúso do esgoto doméstico tratado representaria uma contribuição de 4,6% da demanda da região para fins de irrigação, e que seu uso era mais vantajoso economicamente do que o valor da cobrança da água bruta outorgada. Rego *et al.* (2005), em pesquisa sobre a comparação entre o desenvolvimento da cultura de melancia da variedade Crimson Sweet irrigada com água de poço e com esgoto doméstico tratado com diferentes quantidades de adubo, chegaram à conclusão de que a maior produtividade desses frutos se dá com uma mistura do esgoto tratado com metade da adubação usualmente recomendada para esse tipo de cultura, mas que esse cenário só ocorria ao empregar a técnica de irrigação por sulco. Já Rebouças *et al.* (2010), em um experimento controlado para avaliação do crescimento do feijão-caupi irrigado com diferentes concentrações de esgoto doméstico tratado misturado com água de abastecimento, concluíram que o aumento da concentração desses efluentes na irrigação proporcionou um incremento na produção de matéria seca da raiz, caule e folha, evidenciando crescimento proporcional das plantas, de modo que a irrigação por águas residuárias de esgoto tratado poderiam substituir a utilização de adubação mineral. Conclusão similar foi obtida por BARROSO e WOLF (2011) em sua revisão bibliográfica sobre o reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas, desta-

cando, também, um aumento da capacidade de retenção do solo por causa da matéria orgânica desses efluentes, proporcionando um efeito condicionador.

3.3.3.2 Reúso Urbano

O reúso urbano é outra modalidade bastante empregada e definida em diversas diretrizes e normativas, sendo prevista em quase todas as normativas estaduais sobre o reúso de água, e objeto exclusivo de escopo na Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01 de 13 de fevereiro de 2020 do estado de São Paulo, e na norma técnica NBR 16.783/2019, a nível federal.

COSTA *et al.* (2021) realizaram uma análise crítica a respeito da regulamentação do reúso de água urbano para fins não potáveis no Brasil e concluíram que desde 2017 o Brasil vem apresentando avanços normativos significativos para o reúso não potável para fins urbanos, fazendo com que esta prática possa ser praticada com maior segurança em relação a saúde pública e a aspectos técnicos e jurídicos, com destaque para normativas estaduais pela presença de extensão significativa das modalidades de reúso, prevendo critérios e frequência de monitoramento desses sistemas e até mesmo atribuições de responsabilidades aos produtores e consumidores de água para reúso, e de que há uma tendência de que outros estados do país se reúnam em grupos de trabalho multidisciplinares para desenvolver novas normativas de reúso de água urbano não potável em âmbito regional.

Duas frentes principais são observadas no campo de estudo e aplicações da prática de reúso urbano: o reúso centralizado e o descentralizado. O reúso centralizado é aquele cuja matriz de reúso é o efluente tratado numa ETE e distribuído e comercializado a partir desta, podendo ser utilizado como água de amassamento na área de construção civil (BRANDÃO *et al.*, 2019).

o reúso descentralizado, por sua vez, se destaca pela produção e utilização da água para reúso no próprio local. A exemplo disso, há edifícios urbanos em que há o emprego da reutilização de águas cinzas tratadas com associação em série com reatores anaeróbios, filtros biológicos aerados submersos, filtração terciária e desinfecção com cloro, que é vantajoso para os edifícios, uma vez que há baixo custo de construção, operação e manutenção da estação de tratamento local, demandando também baixo consumo de energia, e implicando em baixo impacto ambiental (GONÇALVES *et al.*, 2010).

3.3.3.3 Reúso Industrial

o reúso industrial surge tanto como uma possibilidade para destino dos efluentes tratados, quanto como uma oportunidade de redução de custos por parte das indústrias,

uma vez que as demandas crescentes de água de abastecimento por parte das indústrias encareceram esse produto — a prioridade da água de abastecimento é a população, portanto é necessário aumentar a cobrança das indústrias que demandam cada vez mais água — e as águas tratadas compradas diretamente das companhias de saneamento apresentam menores custos, além da vantagem econômica do fato de que muitas ETEs são localizadas próximas a regiões industriais, diminuindo o custo de adutoras. Dentre os principais usos industriais de esgotos domésticos tratados que demandam utilização imediata e que não exigem níveis de tratamento elevados incluem reúso em torres de resfriamento com sistemas de recirculação, produção de vapor, e lavagem de gases de chaminé (HESPANHOL, 2002).

BORDONALLI e MENDES (2009) propuseram uma alternativa simplificada para o tratamento de efluentes com vistas ao seu reúso em uma indústria de reciclagem de plásticos tipo PEAD, e demonstraram que havia viabilidade do reúso a partir de tratamento através de processo físico-químico por coagulação, floculação, decantação e filtração em manta geotêxtil, com o uso do hidroxiclreto de alumínio (PAC) como coagulante, soda cáustica (50%) como alcalinizante e polieletrólito como auxiliar de floculação e desidratação do lodo, bem como a exequibilidade do reúso dos efluentes em circuito fechado.

SANTOS *et. al.* (2019) avaliaram alternativas para o reúso de água industrial não potável a partir de efluentes industriais gerados em uma linha de pré-tratamento de superfícies de uma fábrica de produção de cabines de caminhões, e descobriram que uma das hipóteses de aplicação e operação permitiria uma redução na captação de água de 10.300 m³/ano e redução de 47,8% dos efluentes gerados, indicando viabilidade econômica da prática de reúso industrial na unidade.

LOPES (2022), por sua vez, analisou o impacto no consumo de água na cervejaria do Brasil com o emprego do reúso de efluente industrial, e descobriu que um acréscimo de 214,28% no índice de reúso (volume de reúso produzido em comparação à produção de cerveja entregue ao mercado consumidor) permitiu uma diminuição de 6,28% do consumo de água na produção de cerveja, evidenciando as vantagens e impactos econômicos e ambientais positivos do reúso industrial no consumo de água por parte de cervejaria.

3.3.3.4 Reúso de Aquicultura

A prática do reúso na aquicultura demanda uma atenção especial uma vez que envolve a produção de organismos aquáticos – peixes, moluscos, crustáceos, plantas aquáticas, entre outros – que servirão de consumo para a população. No ambiente nacional, a participação da produção aquícola na produção total de pescado foi de 46% (FAO, 2019), o que reitera a importância de se ter um ambiente controlado e

atender a padrões de qualidade quando se emprega o reúso de água nessas atividades de produção. Dentre as normativas existentes no país, apenas a Resolução nº 02/2017 do estado do Ceará e a diretriz do Programa Interáguas abordam essa modalidade de reúso, ambas definindo o mesmo padrão quanto à indicadores de contaminação fecal, que está alinhado com os padrões determinados pela OMS (SANTOS e LIMA, 2022).

Na prática, é possível observar estudos como a avaliação do reúso de água em um sistema integrado com peixes, sedimentação, ostras e macroalgas quanto a parâmetros como a turbidez da água e as concentrações de amônia, nitrato, nitrito e fosfato (JÚNIOR *et al.*, 2005). A transferência de águas de reúso entre os aquários até voltar ao tanque de cultivo de tilápias mostraram que houve uma eficiência, por parte do sistema, em reduzir significativamente a turbidez e os níveis de amônia e fosfato da água de cultivo desses peixes.

Outro estudo sobre a prática do reúso na aquicultura foi a respeito de uma análise de um sistema de recirculação de água para piscicultura urbana para o peixe Tilápia do Nilo, no qual demonstrou a eficácia do sistema de recirculação de água (RAS) com inclusão da Tilápia do Nilo, resultando numa ótima opção de produção, com uma melhor oferta de qualidade de água, conseqüente melhor ganho peso, crescimento e menor porcentagem de mortalidades e patogenias nos peixes, e evidenciando a possibilidade de obtenção da prática de criação de peixes em pequenos locais (REZENDE, D.L.A., 2022).

3.3.3.5 Reúso Ambiental

A modalidade de reúso ambiental de água trata-se, principalmente, do emprego desse recurso para a recuperação de áreas degradadas e, também, a recarga de aquíferos para manutenção hídrica do ciclo da água. Essa modalidade de reúso é prevista nas normativas Resolução nº 02/2017 do estado do Ceará – que a define como uma modalidade para a implantação de projetos de recuperação do meio ambiente – e a diretriz do Programa Interáguas, definida como a modalidade que atua na manutenção de lagoas urbanas, wetlands e aumento de disponibilidade hídrica para finalidades ambientais, sendo o padrão de uso estabelecido pelo documento do Ministério das Cidades mais restrito e rigoroso que o da legislação cearense ao exigir uma concentração máxima de coliformes termotolerantes menor (10^3 UFC/100mL) e uma DBO de até 60 mg/L.

CARDOSO (2011) analisou a eficiência da utilização de água residuária de piscicultura na produção de mudas de Mulungu (*Erythrina Velutina* Wild) — uma espécie nativa brasileira presente nos ecossistemas cerrado, amazônico, caatinga e mata atlântica — em solo de área degradada, baseando-se em parâmetros como números de folhas, altura da planta, comprimento e massa da raiz, diâmetro do caule, entre outros. Os resultados obtidos mostraram que as mudas de Mulungu que eram irrigadas com a

água para reúso misturada à água de captação numa proporção de 50% apresentaram um melhor desenvolvimento sob as condições avaliadas experimentalmente.

SILVA (2019) avaliou o potencial de recuperação de área degradada no Semiárido Brasileiro a partir da utilização de água residuária num sistema agroflorestal composto por aroeira, sabiá e palmeiras, com o objetivo de recuperar áreas degradadas e promover benefícios socioeconômicos e ambientais na região semiárida de Campina Grande, na Paraíba. Os resultados da pesquisa demonstraram que a irrigação suave de 0,5L da água para reúso por muda de planta forneceu ganhos consideráveis na massa seca e conteúdo de água das plantas do estudo.

3.4 QUALIDADE DA ÁGUA

3.4.1 Qualidade da água e saúde pública

De acordo com VELA (2006), as águas residuárias sem tratamento promovem diversos impactos à saúde humana e ao meio ambiente, uma vez que seu acúmulo em locais não adequados promove a liberação de grandes quantidade de gases mal cheirosos e corrosivos pela decomposição da matéria orgânica, além de carregarem consigo inúmeros organismos patogênicos — micro-organismos que se alojam no trato intestinal humano e que causam inúmeras doenças —, nutrientes — que em excesso podem promover o crescimento desfreado de microalgas e bactérias capazes de liberar toxinas na água (eutrofização) — e demais compostos tóxicos em si, como metais pesados, fármacos e hormônios, que em excesso causam disfuncionalidades em órgãos e sistemas humanos, podendo ser até cancerígenos e mutagênicos. Desse modo, é imprescindível o tratamento dessas águas residuárias, técnica essa que apresenta como objetivos principais a proteção à saúde e ao bem estar dos seres humanos, bem como garantir o equilíbrio dos ecossistemas aquáticos e terrestres, reduzindo os danos ambientais. Para isso é necessário alcançar os objetivos de remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica, organismos patogênicos e nutrientes (CHERNICHARO *et al.*, 2008).

Alguns riscos associados à saúde humana estão intimamente ligados a componentes presentes na água para reúso, como medicamentos (incluindo antibióticos, analgésicos, hormônios sintéticos), substâncias oriundas de produtos de limpeza e higiene pessoal, hormônios naturais e outros (AQUINO *et al.*, 2013). Alguns estudos evidenciaram consequências advindas destes elementos quando em contato com a saúde, desde infertilidade (LAGOS-CABRÉ; MORENO, 2012), feminização de organismos aquáticos como peixes (BARBER *et al.*, 2012), distúrbios neurológicos (ENDOCRINE SOCIETY, 2014), etc., o que representa uma problemática de preocupação mundial.

3.4.2 Qualidade da água e riscos microbiológicos

Dentre os principais parâmetros biológicos adotados na metodologia do tratamento e da qualificação de efluentes domésticos e industriais está as bactérias, microrganismos que apresentam-se em diversas formas e tamanhos e que são os principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica — sendo utilizados principalmente no tratamento biológico do esgoto nas ETEs — mas que destacam-se como parâmetro biológico do esgoto principalmente pelo fato de que indicam contaminação de corpos hídricos por fezes humanas, além do fato de que algumas bactérias são patógenas, ou seja, são responsáveis por causar doenças, especialmente doenças intestinais, em seres humanos. Quanto ao uso de bactérias como indicadores de contaminação fecal, esse recurso surge como importante solução no monitoramento da contaminação e qualidade dos esgotos tratados — uma vez que a determinação de organismos patogênicos é relativamente difícil por apresentarem-se geralmente em baixas concentrações — sendo que o grupo utilizado de bactérias nesse parâmetro é o grupo dos coliformes totais, que engloba grande número de bactérias que apresentam resistência similar à maioria das bactérias patogênicas intestinais e que apresentam-se em grande quantidade nas fezes humanas. É mais indicado, no entanto, utilizar como parâmetro as bactérias coliformes fecais, que são os micro-organismos dentro do grupo dos coliformes totais que de fato são originários do trato intestinal humano e que, dessa forma, podem melhor ser relacionados quantitativamente com os patógenos (SPERLING, 2014).

Os demais parâmetros biológicos relevantes, tanto quantitativa quanto qualitativamente, na caracterização e tratamento do esgoto são os fungos — importantes na decomposição da matéria orgânica e que apresentam reprodução e crescimento mais elevado em baixos valores de pH —, os protozoários — que são essenciais no tratamento biológico do esgoto por serem capazes de agir na manutenção do equilíbrio entre os grupos de micro-organismos por serem predadores de bactérias e algas, mas que também devem ser monitorados pois alguns são patogênicos —, os helmintos, que por sua vez são organismos do reino animal e cujos ovos e larvas presentes no esgoto podem causar doenças como a teníase e a cisticercose, e, finalmente, os vírus, que são organismos essencialmente parasitas que causam doenças e apresentam-se especialmente resistentes a diversos tipos de tratamento de esgoto, e que também podem ser utilizados como potencial avaliadores de epidemias, como a do COVID-19 (SODRE *et al.*, 2020 *apud* Belmonte-Lopes, 2023), que também afetou a pesquisa de epidemiologia para água, fazendo diminuir a diversidade de objetos de pesquisa e a participação de países em desenvolvimento (BARCELLOS, *et al.*, 2023).

Para MANCUSO e SANTOS (2003), os riscos microbiológicos envolvem, principalmente, a presença de patógenos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos. Também associados à saúde pública, os efeitos desencadeados pelos microrganismos

podem ocorrer, em maior escala, quando há contato dos indivíduos com a água contaminada, embora haja certa probabilidade destes indivíduos não serem acometidos por doenças, uma vez que depende do nível de patogenicidade do(s) microrganismo(s) em questão (PINTO *et al.*, 2014).

Dentre os principais microrganismos de veiculação hídrica, vale mencionar as espécies bacterianas *Escherichia coli*, *Salmonella spp.*, *Staphylococcus aureus* e *Yersinia enterocolitica*, responsáveis por mais de 90% dos casos de infecções (SALES *et al.*, 2015). A Tabela 4 apresenta alguns agravos associados aos riscos microbiológicos no que tange à saúde pública.

Tabela 5: Microrganismos patogênicos e riscos associados à sua presença na água.

Patógenos	Agravos e riscos
BACTÉRIAS	
<i>Escheria coli</i>	Gastroenterite (cólicas intestinais, diarreia)
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Infecções (de urina, da corrente sanguínea, do trato respiratório) e feridas
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	Gastroenterite
<i>Legionella spp. Respiratória</i>	Complicações respiratórias
<i>Salmonella typhi/paratyphi</i>	Febre tifóide
<i>Salmonela spp.</i>	Gastroenterite, febre, dispneia, manchas epidérmicas, hemorragia interna
<i>Shigella spp.</i>	Disenteria
<i>Vibrio cholera</i>	Cólera
<i>Yersinia enterocolitica</i>	Gastroenterite
VÍRUS	
<i>Adenovirus (40 y 41)</i>	Gastroenterite
<i>Enterovirus</i>	Gastroenterite
Hepatitis A virus	Hepatite
<i>Rotavirus</i>	Gastroenterite
<i>Norovirus</i>	Gastroenterite
<i>Agente Norwalk</i>	Gastroenterite
<i>Astrovirus</i>	Gastroenterite
<i>Calicivirus</i>	Gastroenterite
PROTOZOÁRIOS	
<i>Cryptosporidium parvum e hominis</i>	Gastroenterite
<i>Giardia lamblia</i>	Gastroenterite
HELMINTO	
<i>Ancylostoma spp.</i>	Indigestão, cólicas intestinais, náuseas, vômitos, diminuição de apetite

Fonte: adaptado de MOURA et al. (2020), PASIN (2013) e WHO (2016).

Tendo em vista todo o espectro de riscos oferecidos por patógenos, estes devem ser monitorados de maneira constante e efetiva por meio do emprego de metodologias

que visem i) identificar os perigos substanciais à saúde pública, ii) conhecer as vias de exposição dos receptores (como o ser humano, animais, vegetação ou cultura agrícola) e iii) caracterização dos riscos (LIMA *et al.*, 2021). As vias de exposição, por sua vez, podem ser por ingestão, inalação ou adsorção, direta ou indiretamente.

Desta forma, o monitoramento pode ser realizado por duas modalidades de avaliação: qualitativa ou quantitativa. Esta última é conhecida pela sigla QMRA (do inglês “Quantitative Microbiological Risk Assessment”) e visa estimar os possíveis riscos associados ao reúso da água, aliando o conhecimento da natureza dos patógenos aos seus respectivos efeitos na saúde. A avaliação qualitativa baseia-se em uma matriz de riscos associados, de maneira intrínseca, à qualidade da água, avaliando a probabilidade de emergência de perigos (LIMA *et al.*, 2021).

3.5 AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DE RISCOS MICROBIOLÓGICOS - AQRM

De acordo com HAAS *et al.* (2014), a Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) abrange, em sua definição, a aplicação de princípios da avaliação de risco para a estimativa das consequências de uma exposição, real ou planejada, de microrganismos de caráter patogênico, ou seja, seu objetivo reside na avaliação mais adequada, dentro dos dados e informações disponíveis, dos efeitos potenciais da exposição microbiológica ao ser humano.

Já a Organização Mundial de Saúde (OMS) define a AQRM como uma aproximação formal de avaliação do risco quantitativo, combinando conhecimento científico a respeito da presença e da natureza de patógenos, o destino e o transporte potenciais desses microrganismos no ciclo de água, as rotas de exposição dos mesmos aos seres humanos, e os possíveis efeitos na saúde que podem resultar dessa exposição, levando em conta ainda o efeito de barreiras naturais e artificiais e outras medidas de higiene para minimizar essa exposição. Os resultados desse conhecimento são compilados numa avaliação de riscos e suas potenciais consequências sanitárias, permitindo uma sólida base de informação – dentro da precisão fornecida pelos dados disponíveis – que pode ser utilizada para uma gestão mais adequada do risco de transmissão de doenças infecciosas por via hídrica (WHO, 2016).

Desse modo, enxerga-se a AQRM como uma ferramenta que promove uma maneira sistemática de utilizar dados e informações científicas para ajudar na tomada de decisões relacionadas ao manejo da segurança sanitária hídrica. Os resultados numéricos gerados pela aplicação da AQRM em um estudo delimitado permite a interpretação do contexto das estimativas de saúde frente a possibilidade de exposição direta ou indireta do ser humano a esses microrganismos patogênicos de veiculação hídrica nesses cenários avaliados. De acordo com a OMS, a utilização da AQRM como um método de avaliação de risco microbiológico relacionado ao usos de água pelo ser humano foi

proposta pela primeira vez no início da década de 90, e desde então vêm sido utilizada em seus documentos de orientações e diretrizes para segurança sanitária no uso de água (WHO, 2016).

Como uma avaliação quantitativa criteriosa, a aplicação de uma AQRM demanda a elaboração de um escopo de tarefas a serem realizadas em cada caso de análise, uma vez que a abordagem tomada em cada situação dependerá dos objetivos almejados com a avaliação de risco e os principais problemas a serem trabalhados. Tópicos como consideração de casos de transmissão secundária, risco à população e ao indivíduo, agentes a serem examinados, rotas de exposição, dentre outros, devem ser levados em consideração ao longo da avaliação tomada. No geral, a AQRM é um processo formal de avaliação de riscos composta por 4 etapas principais, nas quais cada componente da avaliação é explicitamente quantificado.

3.5.1 Formulação do Problema

Na primeira etapa do processo de uma AQRM, há o estabelecimento do contexto geral da avaliação de risco, identificando a metodologia para a solução do problema de avaliação através da definição dos objetivos e do consequente escopo da avaliação de risco. Esses elementos são definidos em conjunto através da discussão entre o responsável pelo manejo do risco (usualmente, um órgão ou empresa pública ou particular) e o avaliador de risco (prestador do serviço de avaliação) durante o processo da avaliação do risco. O escopo, por sua vez, é transformado num plano de análise e modelo conceitual de avaliação, considerando as limitações técnicas de estudo – como uma disponibilidade limitada de dados e a necessidade de realizar suposições para a simplificação de processos – e sua definição nessa etapa ocorre a partir dos seguintes elementos:

- Identificação de agentes de contaminação (hazard): é um processo essencialmente qualitativo cujo objetivo é identificar microrganismos patógenos de interesse sanitários para os casos de reúso de água. Os patógenos de referência usualmente empregados são escolhidos a partir de sua relevância epidemiológica nas rotas de exposição (vide tabela 5), e promovem um modelo conservativo para a avaliação de risco. Além desses microrganismos padrões, a OMS recomenda uma análise que envolve considerações locais, como dados epidemiológicos de prevalência de uma infecção de vinculação hídrica e surtos epidemiológicos da mesma, evidências científicas da infectividade e persistência de um patógeno dentre uma população, e a severidade das infecções causadas pelos microrganismos patógenos de maior relevância epidemiológica local.
- Identificação das vias de exposição, que demanda o conhecimento e a identificação

das fontes de patógenos, seu transporte e destino no meio ambiente, barreiras de transporte (naturais ou não), e até atividades humanas que podem levar a diferentes níveis de exposição. Para isso, é necessário levar em conta quaisquer eventos ou cenários com potencial de risco de infecção para os seres humanos na avaliação desses riscos.

- Identificação das consequências de exposição na saúde humana, o que pode incluir infecção, doença, sintomas, e sequelas, ou mesmo diferentes métricas gerais causadas pela doença associada ao microorganismo patógeno. Assim como os demais itens acima, seus fatores quantitativos e qualitativos são determinados a partir dos objetivos do estudo do AQRM aplicado a um caso específico.

3.5.2 Avaliação da exposição

A etapa seguinte à formulação do problema a ser abordado pela metodologia do AQRM consiste na estimativa da magnitude e da frequência de exposição dos patógenos através da via de exposição e durante os eventos de exposição dos microrganismos, elementos identificados e definidos na etapa anterior.

3.5.2.1 Definição da via de exposição

A avaliação da exposição demanda simplificações e suposições para transportar a realidade do sistema ambiental a um sistema definido em que é possível quantificar a via de exposição, e a definição de sua via de exposição pode ser feita em termos das seguintes variáveis de análise:

- Fontes: a quantificação da concentração de microrganismos patógenos depende diretamente da identificação de suas fontes de exposição. Para o caso de cenários de exposição em água para reúso, por exemplo, diversos autores já quantificaram esses patógenos em distintas fontes de exposição através dos efluentes de reúso, como no esgoto bruto (GALE, 2005), efluente tratado (WESTRELL *et al.*, 2003) e água para reúso aplicada em irrigação (SEIDU *et al.*, 2008).
- Medidas de controle (barreiras): dentre os elementos a serem levados em consideração da quantificação de exposição, é válido destacar que as barreiras — sejam elas ambientais (tempo de residência, radiação solar UV, características topográfica de transporte de água) ou fabricadas (barreiras de tratamento de água para reúso ou de água de abastecimento, e irrigação controlada para plantações) — identificadas ao longo do caminho percorrido pelos microrganismos patogênicos podem levar a uma perda ou inativação dos patógenos e, portanto, devem ser

identificadas e quantificadas (OMS, 2016). É importante considerar também a recontaminação através de fontes secundárias.

- Vias de exposição: tratam-se do caminho pelo qual pode ocorrer a exposição humana aos microrganismos patogênicos, o que pode incluir ingestão intencional, não intencional, ingestão por aerossol, contato dérmico, dentre outros.

A partir das variáveis acima, é possível descrever as vias de exposição, identificando as fontes dos patógenos e como os mesmos são transportados de suas fontes até os receptores, compreender o direcionamento dessas vias de exposição – a partir dos dados disponíveis e dos objetivos da avaliação de risco a ser conduzida – e, por fim, definir um modelo conceitual que simplifica tais vias de maneira a permitir a quantificação e atingir o objetivo da avaliação de risco.

3.5.2.2 Quantificação dos componentes da via de exposição

A partir da definição das vias de exposição, há a necessidade de quantificar cada componente – de maneira adequada e representativa ao modelo proposto – através de dados científicos obtidos a partir de pesquisas em campo e literatura. Nessa etapa, deve-se levar em consideração fatores que afetam a variabilidade e a incerteza associados ao modelo e os métodos analíticos, além de implicações das abordagens da análise estatística por detrás dos valores obtidos na quantificação.

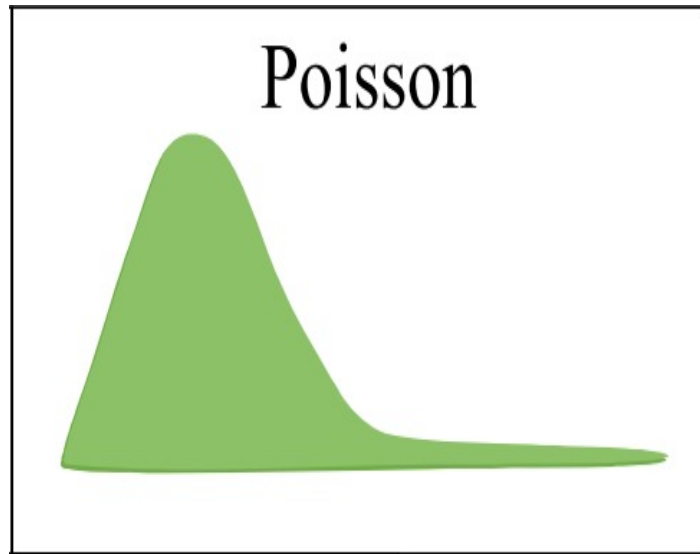
3.5.2.2.1 Concentração de patógenos

Um dos principais fatores quantitativos a ser avaliado nessa etapa é a concentração de patógenos de referência no meio ambiente a partir da fonte dos mesmos. Para esse fator, é necessário levar em consideração quais métodos serão utilizados para a quantificação dos microrganismos, e suas implicações na quantificação e infectividade obtidas pela aplicação do modelo.

Na metodologia do AQRM, é usualmente empregada uma simulação estocástica, com a utilização de funções de distribuição de probabilidades para descrever a presença de patógenos na água, relacionando sua frequência com sua probabilidade de estar presente no meio (ZHITENEVA *et al.*, 2020). Dentre as distribuições mais utilizadas na AQRM encontram-se:

- Poisson: uma distribuição discreta, frequentemente utilizada na descrição de contagens de microrganismos.

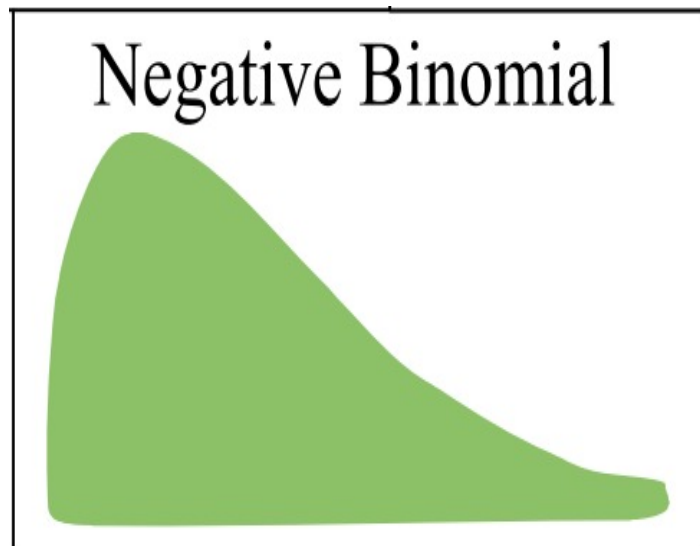
Figura 5: Distribuição de Poisson



Fonte: Adaptado de ZHITENEVA et al. (2020).

- Binomial negativo: uma função discreta utilizada para descrever contagens de microrganismos superdispersas (amontoadas).

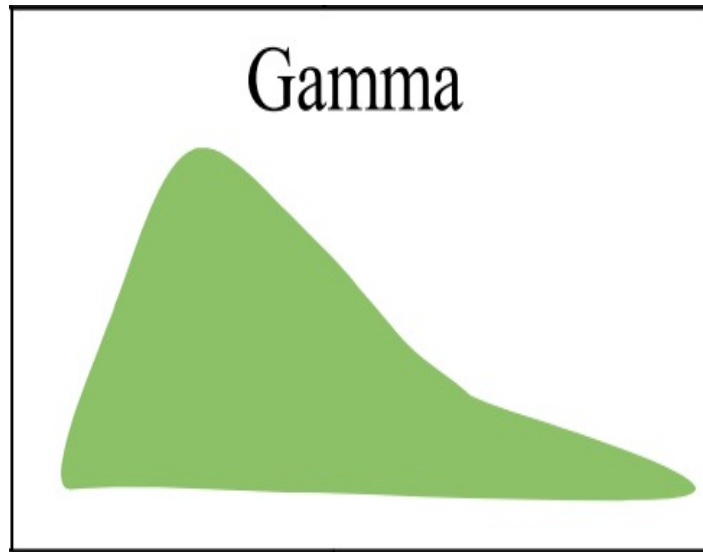
Figura 6: Distribuição Binomial Negativa



Fonte: Adaptado de ZHITENEVA *et al.* (2020).

- Gamma: frequentemente utilizada na descrição de variabilidade na concentração de patógenos.

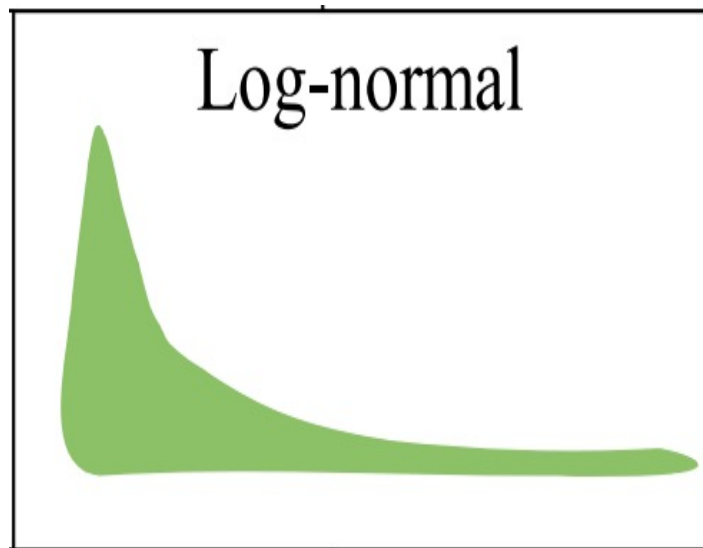
Figura 7: Distribuição Gamma



Fonte: Adaptado de ZHITENEVA *et al.* (2020).

- Lognormal: frequentemente utilizada na descrição de concentrações de microrganismos ou volumes de exposição a esses patógenos.

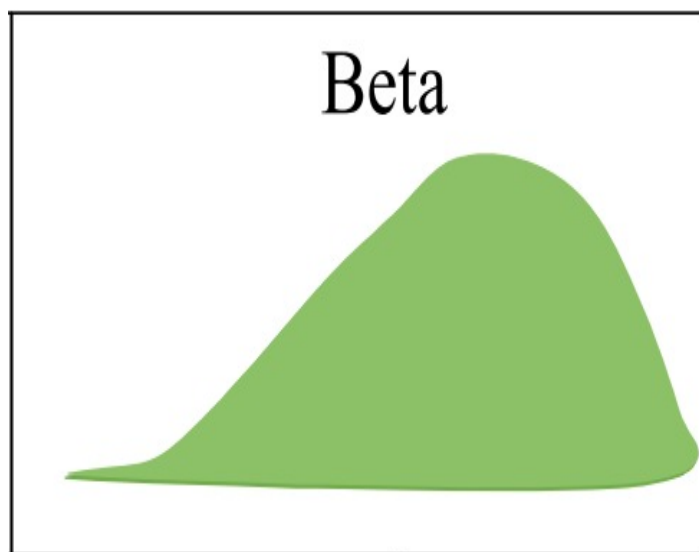
Figura 8: Distribuição Lognormal



Fonte: Adaptado de ZHITENEVA *et al.* (2020).

- Beta: trata-se de uma distribuição que pode assumir vários formatos, e é frequentemente aplicada na descrição de probabilidades, a exemplo da probabilidade de passagem dos microrganismos patógenos através de barreiras de redução de carga.

Figura 9: Distribuição Beta



Fonte: Adaptado de ZHITENEVA *et al.* (2020).

3.5.2.2.2 Quantificação da eficácia de medidas de controle

O próximo passo da etapa de quantificação dos componentes da via de exposição consiste na avaliação da performance de cada medida de controle identificada na redução da concentração dos microrganismos patógenos de referência. Nessa etapa, deve-se levar em consideração fatores como os objetivos quantitativos e qualitativos da avaliação de risco, a variabilidade na performance e a influência de eventos que podem ser críticos nas análises.

Nessa quantificação de redução de patógenos, através das medidas de controle, observa-se a importância da análise da variabilidade da eficiência de barreiras para os microrganismos patógenos. Na tabela 6, observamos exemplos de fatores e eventos que influenciam na variabilidade da eficácia de redução de patógenos através das barreiras mais comuns, sejam elas de tratamento – que incluem etapas de tratamento de efluentes em estações – ambientais (como reservatórios e transportes terrestres), ou mesmo regulatórias, como irrigação.

Tabela 6: Fatores e eventos que influenciam na variabilidade de redução de patógenos através de barreiras de tratamento, ambientais e regulatórias.

Barreira	Fatores de influência na variabilidade de remoção	Eventos que podem levar a flutuações na redução de patógenos
Coagulação/floculação/sedimentação	- Eficácia do processo (depende de pH, alcalinidade, dosagem do produto químico)	- Dose de coagulação insuficiente - Mudança rápida na qualidade da água
Tratamento biológico	- Tempo de retenção - Temperatura da água	- Sobrecarga durante eventos de chuva
Micro/ultrafiltração	- Tamanho do poro - Taxa de recarga - Características da superfície da membrana	- Ruptura da membrana - Incrustação na membrana - Problemas na selagem da membrana, levando à passagem de água com menor eficácia na filtragem
Desinfecção	- Dose do desinfetante - Tempo de contato	- Insuficiência na dosagem
Reservatórios	- Tempo de retenção - Contaminação secundária por animais (aves aquáticas, gado)	- Grandes eventos de escoamento pluviométrico - Estratificação - Surtos de cepas danosas ao ser humano em populações aviárias
Transporte	- Método de deposição (sedimentos) - Topografia e tipo de solo - Fluxo terrestre	- Grandes eventos de escoamento pluviométrico
Zonas de irrigação	- Transporte de aerossóis	- Condições climáticas e de ventos incomuns

Fonte: adaptado do guia da AQRM para gerenciamento de água da OMS (WHO, 2016).

Na quantificação da eficiência de remoção de patógenos de uma certa barreira de tratamento, é importante identificar não apenas os mecanismos de remoção de patógenos, como também os fatores por trás da eficiência do mecanismo de remoção e as circunstâncias pelas quais os fatores dependentes podem flutuar, além de comparar os resultados obtidos para o local de estudo com informações presentes na literatura sobre a mesma região.

Há, no geral, duas abordagens na quantificação da eficiência de uma barreira através da AQRM:

- Abordagem empírica: trata-se dos resultados retirados de observações de concentrações de patógenos antes e depois da barreira.
- Abordagem mecanística: caracterização de fatores específicos que levam ao mecanismo de remoção (a exemplo do tempo de residência de um reservatório, ou a persistência dos patógenos durante o processo de desinfecção).

Ambas as abordagens permitem observar os resultados da eficiência de redução

de concentração de patógenos, usualmente abordada numa escala logarítmica (WHO, 2016).

3.5.2.3 Caracterização da exposição: frequências e magnitudes

A última etapa da avaliação de exposição corresponde à quantificação da magnitude e da frequência de exposição através de diversas atividades, sejam elas consumo voluntário (água potável e alimentos cultivados com água para reúso) ou involuntário (ingestão acidental em atividades aquáticas, ingestão/inalação de aerossóis, e contato dérmico).

Para uma quantificação mais adequada, são utilizados dados científicos ou valores referência, usualmente empregados na abordagem da AQRM. Para ingestão voluntária de água, o guia de AQRM da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2016) recomenda assumir uma quantidade de 2 litros de água consumido por pessoa diariamente. Já em relação a valores de referência de exposição quanto ao água para reúso – associado principalmente à modalidade de reúso agrícola – são recomendados os valores de 1 a 10 mg de solo ingerido por pessoa diariamente por 100 dias para agricultores que trabalham com agricultura altamente mecanizada, 10 a 100 mg diárias por 300 dias para trabalhadores mais simples com grande carga horária em zonas agrícolas. Tais valores são assumidos como representativos, de forma conservadora, dos cenários de exposição a serem modelados.

3.5.3 Avaliação nos efeitos da saúde

Na etapa de avaliação dos efeitos da exposição das pessoas aos microrganismos patógenos na saúde humana através de diversas vias de exposição, há a compilação de dados de impacto na saúde pelos perigos identificados, e da população envolvida no escopo do estudo da AQRM. Para essa etapa, é necessário levar em consideração os fatores descritos abaixo quando se trata dos resultados da exposição na saúde da população.

3.5.3.1 Relações Dose-resposta

As relações dose-resposta são processos de identificação e validação que descrevem a relação entre a exposição e a probabilidade de contrair infecção e doença para cada patógeno de referência do estudo. Tais relações permitem a avaliação tanto da probabilidade quanto da consequência de diversos impactos na saúde pela exposição (infecção, sintomas e sequelas) através da aplicação de modelos de dose-resposta no AQRM, levando em consideração fatores como parâmetros de dose-resposta baseados em dados científicos de maior validade, representatividade de amostra de população e

subpopulações sensíveis, incertezas (tanto nos parâmetros quanto no model), contexto de exposição baseado em aproximações de doses baixas, diferença de unidades abordadas em patógenos de referência para aplicação prática nos modelos e avaliação de riscos, variabilidade na infecção, dentre outros (WHO, 2016).

Existem diversos modelos que são empregados na avaliação quantitativa de risco microbiológico para as relações de dose-respostas para infecção e doenças, sendo os principais deles empregados também na etapa de quantificação de concentração de patógenos: beta, poisson, gamma, binomial negativo, e log-normal (ZHITENEVA, *et al.*, 2020). Na AQRM, é comum a escolha de um desse modelos baseada na teoria single-hit, em que se assume que cada partícula patogênica ingerida age de forma independente e tem sua probabilidade individual de causar infecção (TEUNIS e HAVELAAR, 2000).

3.5.3.1.1 Modelo Beta-Poisson para relação dose-resposta de infecção

O modelo mais utilizado e recomendado para o cálculo da relação dose-resposta de infecção em estudos de AQRM é o modelo Beta-Poisson, descrito pela equação abaixo:

$$P_{inf}(c.V; \alpha, \beta) = 1 - \left(1 + \frac{c.V}{\beta}\right)^{-\alpha} \quad (1)$$

em que P_{inf} representa a probabilidade de exposição, c concentração de patógenos, V volume ingerido de água, α e β são parâmetros de distribuição beta da probabilidade de infecção de um único patógeno em seu hospedeiro (r), e onde $\alpha \ll \beta$ e $\beta \gg 1$. Considerando doses de infecção, a equação pode ser escrita em termos de N_{50} , que corresponde a dose com probabilidade de infecção de 50%:

$$P_{inf}(c.V; \alpha, N_{50}) = 1 - \left(1 + (2^{1/\alpha} - 1) \frac{c.V}{N_{50}}\right)^{-\alpha} \quad (2)$$

3.5.3.2 Efeitos da doença: quantificação da duração da doença e das sequelas

A duração e a severidade das doenças causadas pelas infecções dos microrganismos patogênicos relevantes nos estudos de AQRM pode variar significativamente dependendo do tipo e da espécie de patógeno. Em termos de relevância para saúde pública e gerenciamento da segurança sanitária da água, são priorizados os patógenos que levam a maiores consequências em termos de efeitos da doença associada aos mesmos (WHO, 2016). Para isso, muitas vezes dispõe-se da métrica DALY, que, em termos de resumo da saúde da população, associa diferentes severidades e durações com diversas doenças causadas por esses microrganismos patogênicos de referência, representando, quantitativamente, a perda de "anos de vida saudável". Seu cálculo se dá pela soma de anos perdidos devido à mortalidade prematura e anos de vida produtiva perdida por efeitos

sintomáticos resultantes das doenças, incluindo sequelas:

$$DALY = \textit{Anosdevidaperdida} + \textit{Anosvivendocomefeitossintomaticos} \quad (3)$$

3.5.3.3 Transmissão secundária e imunidade

Transmissão secundária e imunidade são parâmetros mais complexos a serem criteriosamente analisados nos modelos de AQRM. Isso porque ao passo em que a transmissão secundária aplica um fator de aumento de risco na contração de infecções, por se tratar de aumento de casos através da transmissão por contato entre um indivíduo infectado por um patógeno de veiculação hídrica e indivíduos não infectados, a imunidade implica numa diminuição do risco devido à habilidade imunológica de um ser humano em não contrair a infecção por um patógeno.

Esses dois fatores extras não são considerados ainda no guia para riscos da OMS, e de acordo com o mesmo, não haviam sido demonstrados no planejamento de segurança hídrica da AQRM no geral (WHO, 2016).

3.5.4 Caracterização de risco

A partir das informações combinadas obtidas das etapas de avaliação da exposição e dos efeitos na saúde humana, é possível obter uma medida quantitativa de risco, fator chave na etapa de caracterização de riscos. Nessa etapa, torna-se necessária uma visão crítica e analítica mais atenta, baseando-se nos objetivos e no escopo da avaliação definidos na etapa de formulação do problema.

A consistência dos resultados obtidos na etapa anterior revela-se imprescindível na validação dos mesmos, de modo que as análises realizadas a respeito da exposição aos microrganismos patogênicos e efeitos de saúde consequentes devem focar nos mesmos perigos, população e janela de tempo, além de garantir que as unidades utilizadas nos dados de exposição estejam congruentes com as usadas nas relações de dose-resposta (WHO, 2016).

3.5.4.1 Medidas quantitativas de risco

As medidas quantitativas de risco devem expressar uma combinação dos dois componentes quantitativos de risco: probabilidade de ocorrência e intensidade das consequências caso o risco ocorra. No geral, as estatísticas utilizadas para quantificação de risco dependem do objetivo da avaliação (tabela 7), podendo ser determinísticas ou probabilísticas.

Tabela 7: Estatísticas mais utilizadas para a quantificação de risco numa AQRM.

Estatística para descrição de risco	Objetivo/contexto dentro da AQRM
Média aritmética	Avaliação do risco médio de longo termo associado com uma via de exposição específica
Moda Mediana	Avaliação do nível de risco mais provável
Percentil 95%	Abordagem conservativa (ex: nível de tratamento de água necessário dada uma variável de fluxo de qualidade de água)
Função de Distribuição de Probabilidade	Descrição da distribuição de risco
Máximo (concentração) Mínimo (redução por barreira)	Análise de cenários: avalia o quão alto um risco pode ser para determinada via de exposição (casos extremos)

Fonte: adaptado do guia da AQRM para gerenciamento de água da OMS (WHO, 2016).

O risco, dessa forma, pode ser definido e quantificado de diversas métricas a partir das informações obtidas nas fases anteriores da AQRM – incluindo infecção, doença e DALYs – e em diferentes escalas de tempo, podendo abordar um único evento de exposição, séries de exposições independentes ou mesmo a exposição através de um ano. Há alguns autores que recomendam focar em análise diária, visando conter potenciais surtos de eventuais consequências de exposição aos microrganismos patogênicos, como SIGNOR e ASHBOLT (2006).

3.6 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Análise bibliométrica trata-se de uma metodologia quantitativa aplicada sobre conteúdos bibliográficos, utilizada com o objetivo de avaliar e analisar diversos aspectos de publicações científicas e suas citações, envolvendo aplicação de técnicas matemáticas e estatísticas em informações bibliográficas, auxiliando no entendimento de padrões, tendências e relações dentre um campo específico de estudo (YOSHIDA, 2010).

A técnica permite o rastreamento de informações como publicações, palavras, instituições, citações, referências, frases, distribuição geográfica de publicações, tendências, padrões de colaboração, e até pesquisas interdisciplinares, além de evidenciar conexões entre os temas rastreados, autores e/ou instituições, o que permite identificar o cenário de evolução da temática em pesquisas (PORTER, 2007). A bibliometria, ainda, auxilia no processo de tomada de decisões através da exploração, organização e análise de grandes massas de dados, garantido, assim, um melhor norteamto nos dados de interesse em diversos tópicos de uma pesquisa (YOSHIDA, 2010).

Considerando o potencial dessa ferramenta para analisar o estado da arte sobre a aplicação da ferramenta AQRM para o reúso para água, o presente trabalho utilizou esta abordagem para realizar uma revisão sistematizada da literatura, buscando os principais fatores e termos-chave que caracterizam o tema, como número de publicações e citações, distribuição geográfica, frases e palavras, e demais conexões entre eles.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 REVISÃO SISTEMATIZADA

4.1.1 O método Booleano aplicado à pesquisa na plataforma virtual *Web of Science*

A metodologia adotada para o presente trabalho foi baseada na lógica booleana, que é a aplicação da Lógica de Boole a um tipo de sistema de recuperação da informação, no qual se combinam dois ou mais termos, relacionados por operadores lógicos, que tornam a busca mais restrita ou detalhada. As estratégias de busca são baseadas na combinação entre a informação contida em determinados documentos e a correspondente questão de busca, elaborada pelo usuário do sistema (SAKS, 2005).

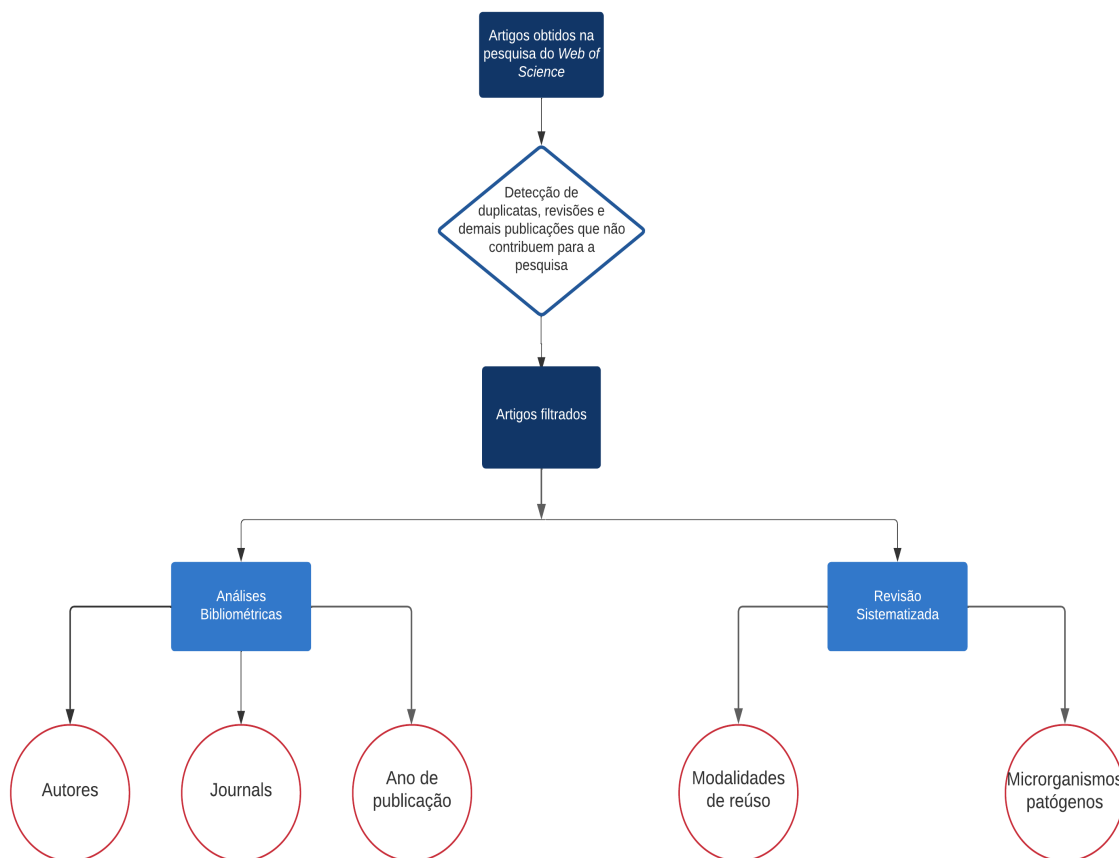
Recorreu-se à aplicação do método booleano na plataforma de pesquisas *Web of Science*, que se caracteriza por ser uma base de dados científica multidisciplinar e internacional que busca indexar os periódicos que são mais citados em suas respectivas áreas, permitindo a identificação de registros relacionados ao tema de pesquisa, além da possibilidade de desenvolvimento de análise de índices bibliométricos (CAPES, 2012).

Para obter resultados de publicações e artigos relacionados à temática da Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos (AQRM) em águas de reúso na plataforma *Web of Science*, recorreu-se às palavras-chave *QMRA*, *quantitative microbial risk assessment*, *quantative microbiologic risk assessment*, *water reuse*, *water recycle*, *water reclamation*, conectadas pelos operadores lógicos OR e AND da metodologia booleana. Os resultados obtidos foram, então, exportados em formato *ciw* e *ris* para poderem ser utilizados nas demais ferramentas descritas a seguir.

4.1.2 A plataforma *Rayyan* para gerenciamento da revisão sistemática

A seleção dos artigos que condiziam com o tema de pesquisa foi auxiliada pela plataforma online livre *Rayyan*, uma ferramenta que auxilia na aceleração de análises de revisão sistemática através de um processo de semiautomação ao passo que incorpora um alto nível de usabilidade (OUZZANI *et al.*, 2016). Através do log-in na plataforma e da criação de um projeto de revisão, foi selecionado o arquivo *ciw* contendo os resumos dos artigos exportados do *Web of Science*, que então foram analisados. A figura 10 representa o diagrama de processos realizados através da plataforma.

Figura 10: A revisão sistematizada pela Plataforma Rayyan

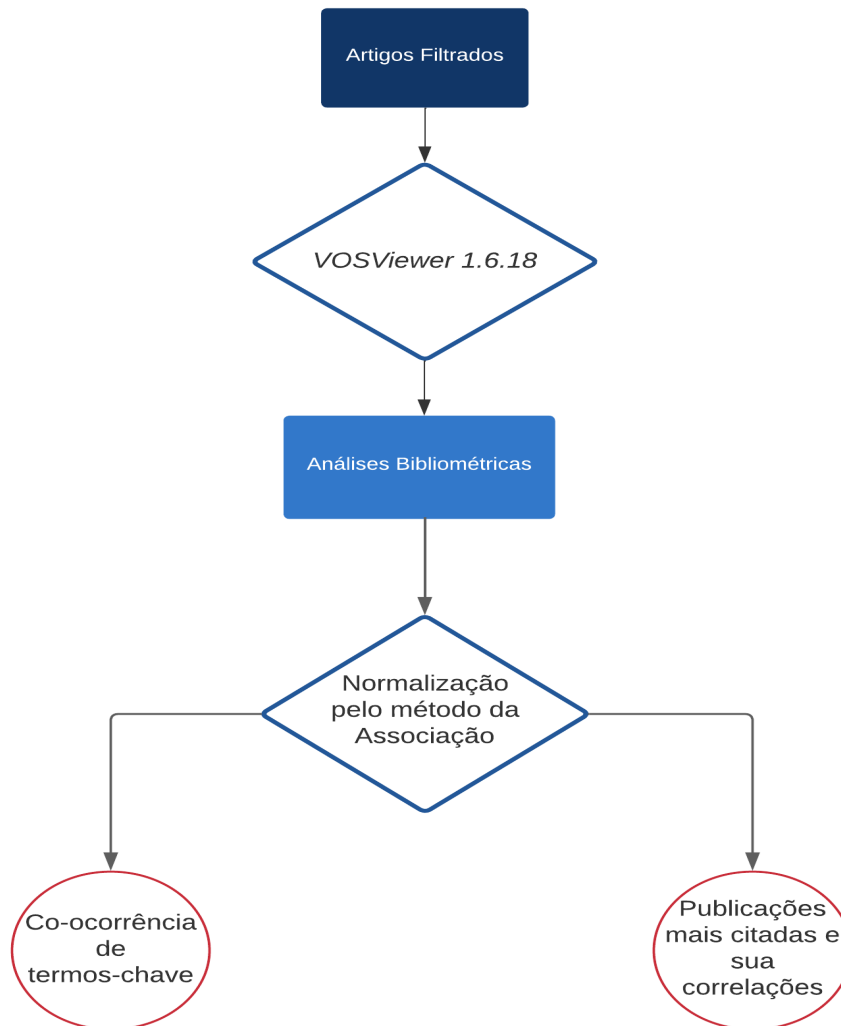


Dessa forma, visando uma simplificação no processo de execução da revisão sistematizada dos artigos obtidos com a pesquisa, e permitindo a exclusão de revisões bibliográficas, sistemáticas e demais publicações que não se encaixavam com os objetivos da pesquisa, o software *Rayyan* auxiliou no processo da pesquisa.

4.1.3 Análise Bibliométrica

Para a realização da análise bibliométrica dos artigos selecionados através da plataforma *Rayyan*, foi utilizado o software de análise bibliométrica visual *VOSViewer* versão 1.6.18 para obter uma visão geral de características como evolução temporal de publicações e citações de artigos que abordam o tema da AQRM aplicada a águas de reúso, principais revistas e demais bases de publicação dos artigos, contribuição dos países para o tema, artigos mais citados e relações de co-citações, e termos de maior destaque nas publicações e suas correlações. A figura 11 exibe o diagrama de processos realizados através do software.

Figura 11: Análise bibliométrica através do software *VOSViewer*



Desse modo, foram criados os infográficos das análises de co-ocorrência de termos relevantes e de citações dos artigos, buscando obter resultados relevantes na questão do estado da arte da AQRM aplicada ao reúso para água.

4.2 REVISÃO CRÍTICA

Conforme discutido acima, a análise crítica dos artigos foi realizada também com o auxílio da plataforma online livre *Rayyan*, através da identificação de elementos de interesse para a caracterização do estado de arte da AQRM aplicada ao reúso para água. São diversos os elementos de análise possíveis de serem investigados, uma vez que essa ferramenta quantitativa é bastante complexa e, assim como a prática do reúso para água, requer análise de inúmeros parâmetros de diversas esferas, como a científica, a econômica, a política e a social. Neste trabalho, visando identificar o cenário geral da aplicação de avaliação quantitativa de risco microbiológico, foram escolhidas

as temáticas de modalidades de reúso empregadas nos estudos e os microrganismos patógenos abordados nos mesmos, para quantificação e discussão desses fatores e suas relações. É importante frisar que, objetivando análises mais adequadas e precisas em relação às modalidades de reúso, não foram quantificados os artigos que não especificavam a modalidade de reúso nos resultados por categorias.

Para a categoria de modalidade de reúso empregada nos estudos, foi quantificada cada modalidade, sua evolução temporal em termos de participação em pesquisas sobre o tema, seu cenário no país, além de submodalidades abordadas dentro das modalidades de reúso potável e reúso urbano não potável. Já para a categoria de microrganismos, além da identificação e da quantificação de cada microrganismo patógeno abordado nos artigos, foi realizada a quantificação e a comparação desses valores entre as modalidades de reúso, visando identificar possíveis patógenos de relevância em cada grupo, além de comparar os resultados com os patógenos previstos nos padrões microbiológicos das normativas brasileiras existentes sobre o reúso para água.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

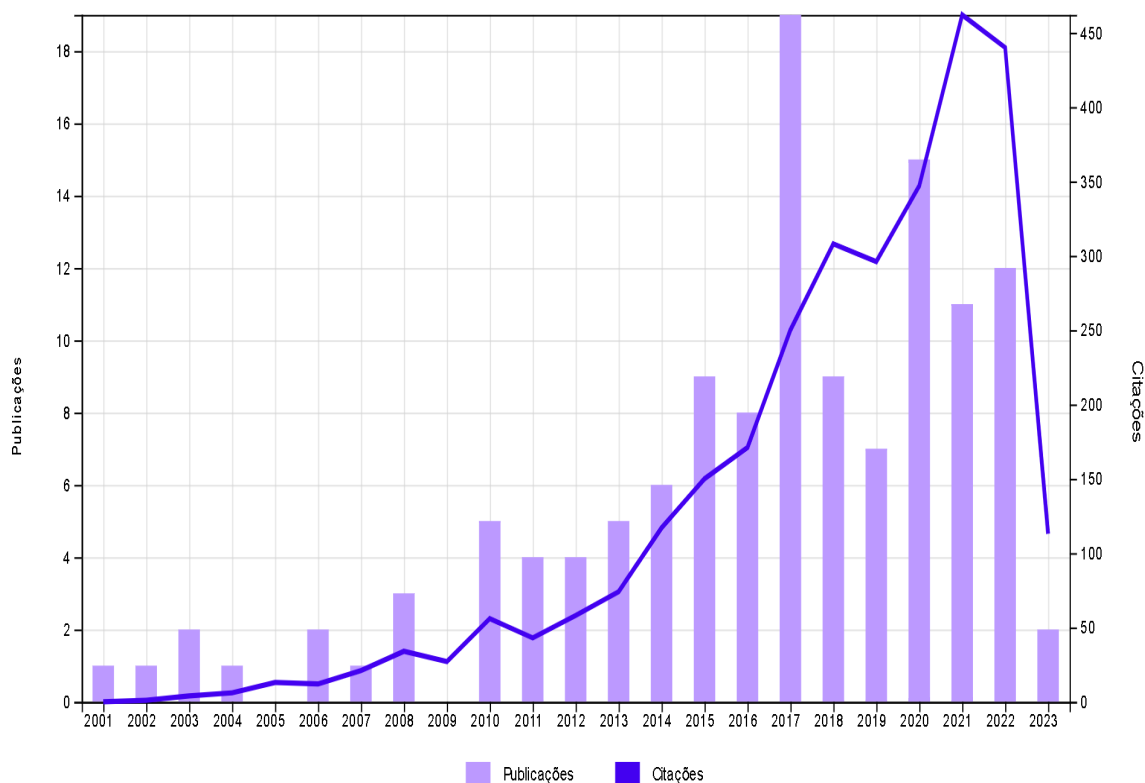
5.1 ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA

Foram encontradas 188 publicações — incluindo artigos, revisões bibliográficas e trabalhos de literatura cinzenta (estudos depositados em repositórios) — que foram analisadas através da ferramenta de revisão sistematizada *Rayyan*. Após a exclusão de publicações duplicadas, revisões bibliográficas e artigos que não abordavam águas de reúso em suas pesquisas, remaneceram 127 estudos sobre a aplicação da AQRM a águas de reúso, que formaram a base da pesquisa.

Sobre o tema de pesquisa, foram encontradas publicações a partir do ano de 2001, iniciando com uma publicação de PETERSON et al. (2001) a respeito da avaliação dos riscos microbiológicos através da irrigação em culturas de alface. A partir desse ano, houve um leve aumento na contribuição de pesquisas sobre o tema, e ausência de publicações nos anos 2005 e 2009. O ápice de publicações ocorreu no ano de 2017, quando foram registradas 19 artigos e demais documentos de pesquisa. Após uma queda significativa de publicações nos anos 2018 e 2019, que juntos somaram menos pesquisas do que no ano de 2017, foi observado um aumento, levando a mais de 10 pesquisas publicadas anualmente nos anos de 2020 a 2022. Até o mês de abril de 2023, foram registradas 2 publicações. No geral, entre quedas e aumentos, percebeu-se uma maior contribuição sobre o tema ao longo dos anos.

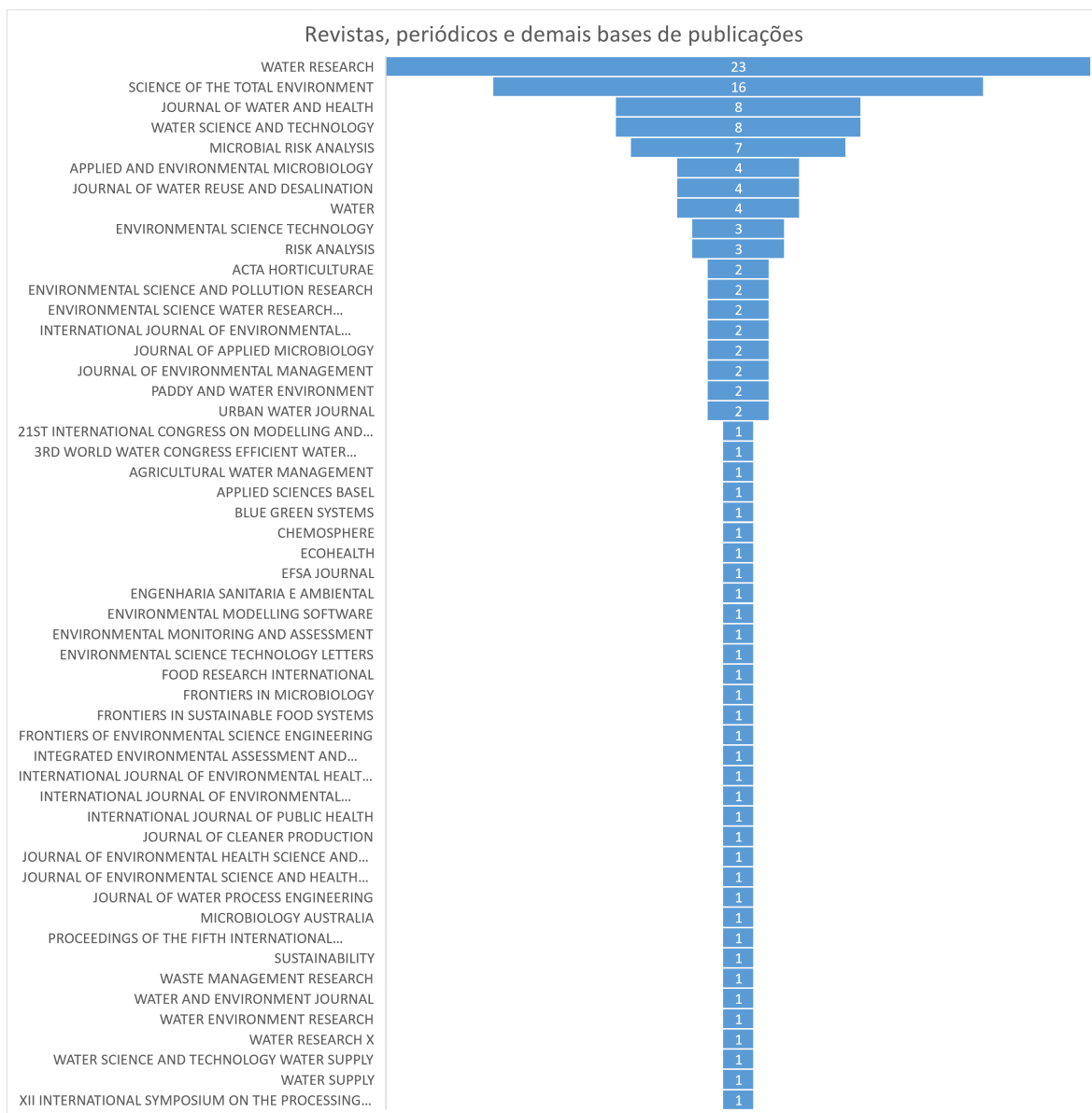
Em relação ao número de citações dessas publicações ao longo dos anos, foi observado aumento em quase todos os anos, com o ápice no ano de 2021, onde houve mais de 450 citações. As demais relações de publicações e citações a respeito do tema podem ser observadas na figura 12.

Figura 12: Gráfico das relações de publicações e citações sobre o tema da AQRM aplicado a águas de reúso



As 127 publicações encontram-se divididas entre 52 revistas, periódicos e demais bases de publicações, e as quantidades de contribuição de cada um a respeito da temática encontra-se na figura 13. Dentre as revistas e demais plataformas de publicação com maior número de publicações sobre a aplicação da AQRM a águas de reúso, encontram-se a *Water Research* (18,1% do total das publicações), *Science of the Total Environmental* (12,6%), *Journal of Water and Health* (6,3%), *Water Science and Technology* (6,3%) e *Microbial Risk Analysis* (5,5%).

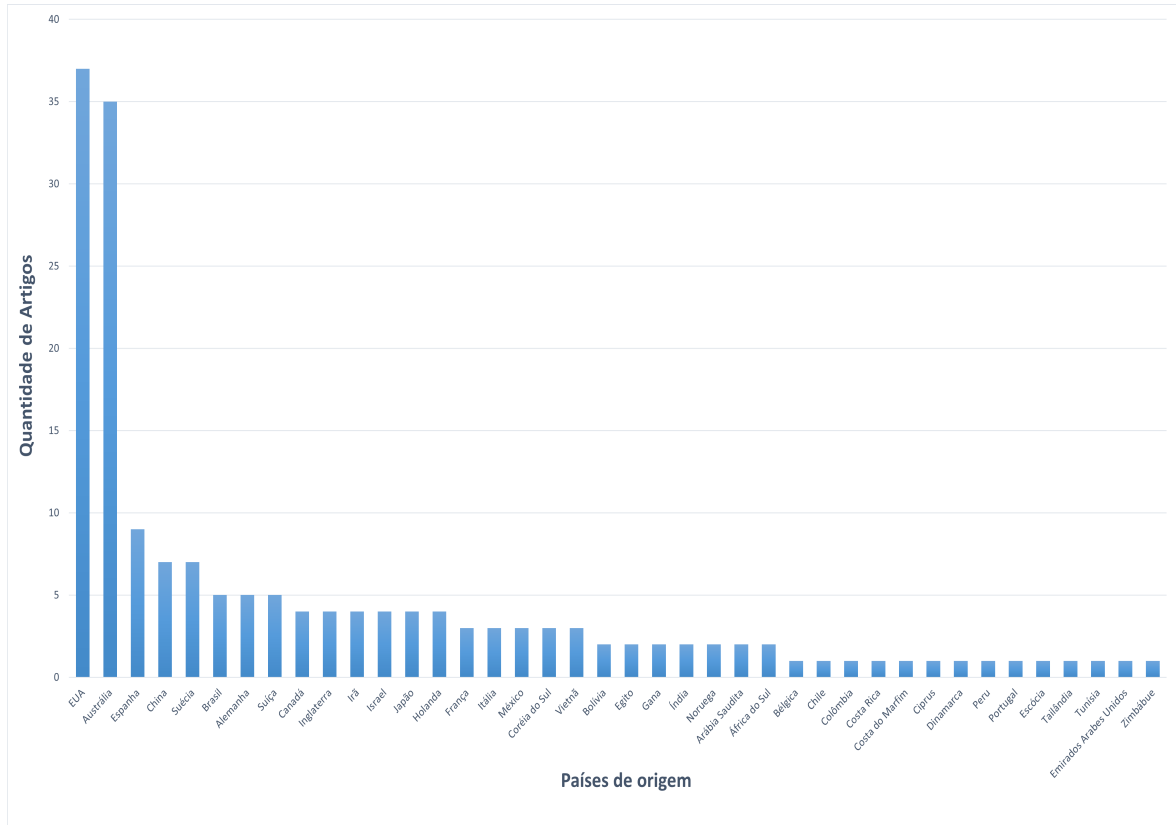
Figura 13: Revistas, periódicos e demais bases de publicações das pesquisas a respeito da AQRM aplicada a águas de reúso.



Quanto à contribuição ao tema por países (figura 14), observa-se que a maioria das publicações concentram-se em dois países: Estados Unidos (29,1%) e Austrália (27,6%), ao passo que o terceiro lugar, Espanha, representa 7,1% do total das publicações. Conforme já discutido anteriormente, os Estados Unidos foi o país onde surgiu a primeira legislação sobre o reúso de água, no estado da Califórnia em 1918, através da publicação de padrões de qualidade de águas de reúso de matriz de efluentes (esgotos) tratados (ANGELAKIS *et. al.*, 2018). Já a Austrália é um país em que o tratamento e o uso da água reciclada é altamente regulado pela legislação, com diversas iniciativas de reúso de água começando na década de 90, e se expandindo significativamente pelo país ao longo dos anos 2000 (SHORT *et al.*, 2022). O Brasil, por sua vez, apresenta-se em

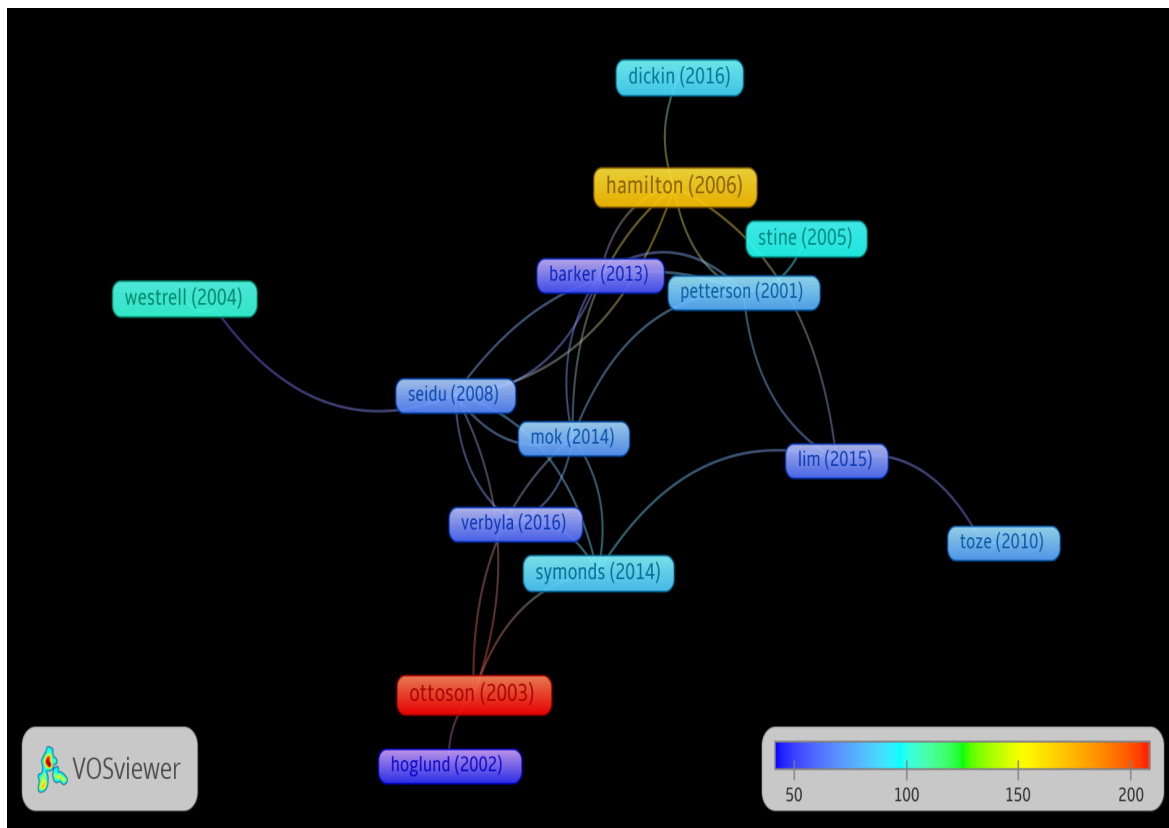
sexto lugar no ranking de contribuição de artigos para o tema, junto com a Alemanha e a Suíça.

Figura 14: Número de publicações por países



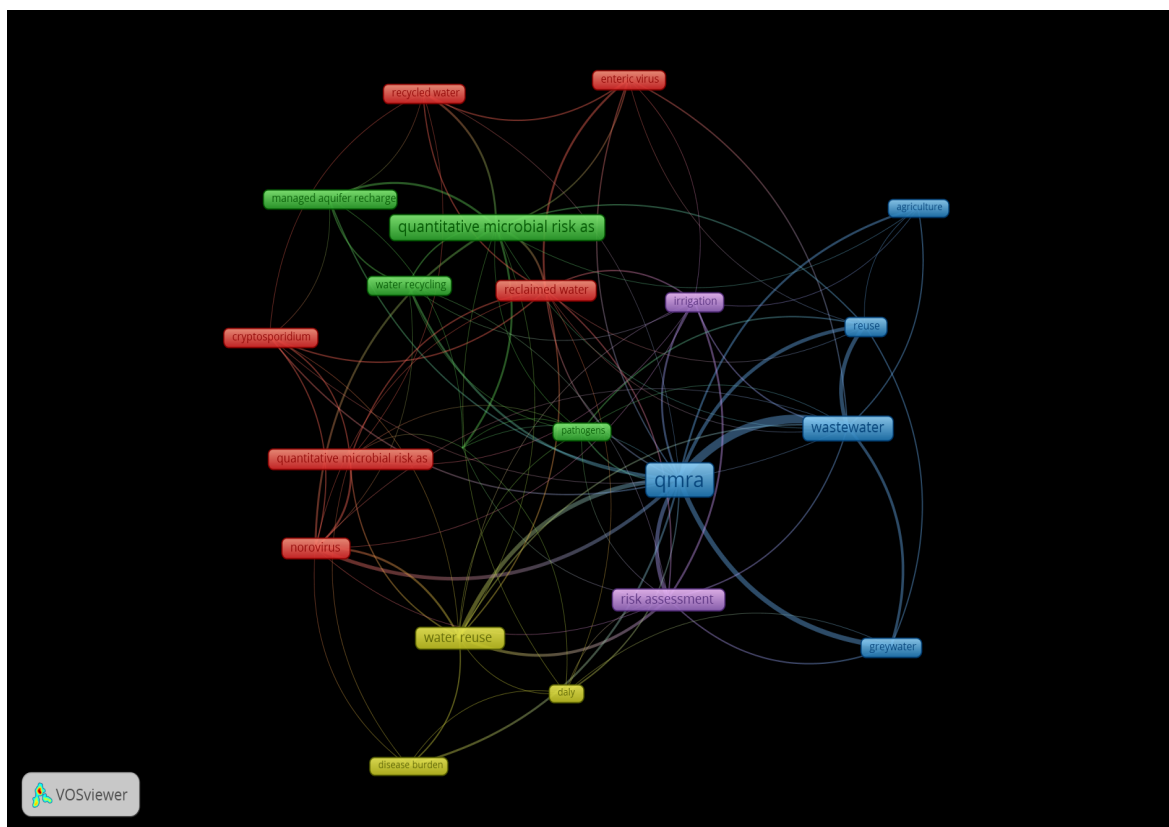
Em relação à relevância das 127 publicações resultantes da pesquisa sob a ótica de número de citações que as mesmas receberam em demais pesquisas, destacam-se principalmente as publicações de Ottoson (2003), sobre os riscos microbiológicos associados à contaminação fecal em águas cinzas, e Hamilton (2006), que tratou de modelos de avaliação quantitativa de risco microbiológico para consumos de vegetais crus irrigados com águas de reúso. As demais publicações que se destacam quanto ao número de citações recebidas, além de suas relações de co-citações, podem ser observadas na figura 15.

Figura 15: Infográfico das publicações com mais de 50 citações e suas relações de co-citação.



Ainda em relação às publicações, foram analisadas as ocorrências de termos-chave, que são palavras relevantes utilizadas pelos autores no contexto da avaliação quantitativa de risco microbiológico aplicado a águas de reúso. Para obter uma melhor visualização dos termos e suas relações de co-ocorrências – representadas pelas relações de simultaneidade dos mesmos uns com os outros em uma mesma publicação – foi realizada a compilação de dados a partir do software *VOSViewer*, escolhendo como termos de maior representatividade as palavras-chave que foram citadas ao menos em 15 publicações, resultando no infográfico (figura 16).

Figura 16: Infográfico dos termos de maior destaque nas publicações e suas correlações.



Como observado na figura 16, o software separou os termos em cinco grandes *clusters* baseando-se em suas correlações, ou seja, as palavras-chave que mais apareciam em conjunto nas publicações foram classificadas em um grupo, ao passo que o tamanho da fonte de cada termo na imagem está diretamente ligada ao número de publicações em que as mesmas ocorreram.

No grupo em azul, é possível perceber que num contexto geral das publicações há uma maior conexão entre as palavras *qmra* (AQRM, em português), *wastewater*, *reuse*, *greywater*, que são termos que significam, respectivamente, águas de descarte (efluentes), reúso e águas cinzas. Esses termos revelam uma conexão entre a avaliação de risco microbiológico com águas de reúso, especialmente da matriz de águas cinzas. Além disso, há também no *cluster* o termo *agriculture*, que indica a aplicação da AQRM em águas de reúso da modalidade de reúso agrícola.

No grupo em roxo, há maior conexão entre os termos *irrigation* e *risk assessment* – irrigação e avaliação de risco, respectivamente – indicando, também, a presença mais expressiva de pesquisas de avaliação de risco na modalidade de reúso agrícola, especialmente pela irrigação.

No grupo em verde, observa-se a conexão entre os termos *quantitative microbial risk as*, *water recycling*, *managed aquifer recharge* e *pathogens* – risco microbiológico quantitativo, reciclagem de água, recarga gerenciada de aquíferos, e patógenos, res-

pectivamente – indicando a preocupação de risco microbiológico também em outras modalidades de reúso de água, como a recarga de aquíferos para usos potáveis ou ambientais.

O grupo vermelho, por sua vez, conecta mais os termos *reclaimed water*, *recycled water*, *enteric virus*, *quantitative microbial risk as*, *norovirus* e *cryptosporidium*, revelando que esse três microrganismos patógenos estão avaliados em maior frequência nos artigos que tratam do risco microbiológico quantitativo em águas de reúso.

Já o grupo amarelo, conecta os termos reúso de água (*water reuse*) com termos relevantes no contexto da AQRM, como o *disease burden* (consequências de exposição a microrganismos patógenos, em termos de contração de doenças) e *daly*, que representa uma quantificação de impacto de sequelas de doenças causadas pelos patógenos presentes na água.

No geral, observa-se a partir do infográfico que os resultados obtidos pela pesquisa estão relacionando a aplicação da AQRM principalmente nas modalidades de reúso agrícola e em recarga de aquífero, e levando em consideração com mais frequência os patógenos de referência vírus entéricos, norovírus, e cryptosporidium. É necessário, no entanto, analisar adequada e criteriosamente cada um dos artigos para identificar as modalidades de reúso mais aplicadas e os microrganismos patógenos de referência mais estudados nas pesquisas de aplicação da AQRM no reúso de água.

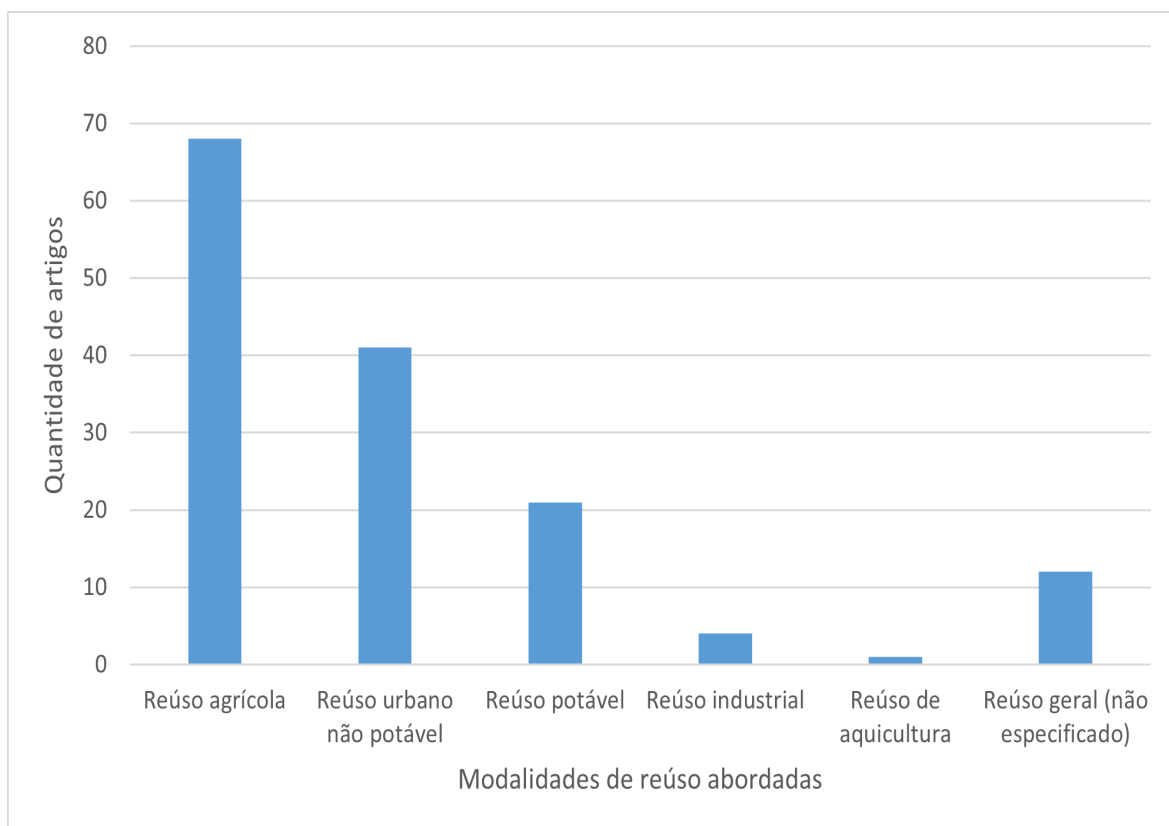
5.2 REVISÃO SISTEMATIZADA: O ESTADO DA ARTE DA AQRM APLICADA A ÁGUAS DE REÚSO

5.2.1 Modalidades de reúso de água

A maioria dos artigos analisados sobre a aplicação da AQRM a águas de reúso abordam a modalidade do reúso agrícola de água (53,5%), que representa a aplicação de águas de reúso em irrigação de culturas de diversos tipos, e é um resultado esperado, visto o fato de ser a primeira modalidade de reúso prevista por legislação em todo mundo e a mais aplicada delas (ANGELAKIS, *et al.*, 2018). A segunda modalidade mais abordada consiste na modalidade do reúso urbano não potável (32,3%), que compreende diversas submodalidades – dentre elas irrigação de jardins, parques e campos abertos públicos, recarga em corpos d'água onde são praticadas atividades recreativas e pesqueiras diversas, descargas sanitárias, dentre outras. Em seguida, encontram-se a modalidade de reúso potável de água (16,5%), representada pelas submodalidades de reúso potável direto e indireto, a modalidade de reúso industrial (3,1%) e a modalidade de aquicultura (0,8%), com apenas um artigo. Há, também, 12 artigos (9,4%) que não especificam o tipo de modalidade abordada por eles e, que para termos de discussão de relações de modalidades de reúso e microrganismos patógenos abordados – que é

realizada nas seções posteriores – não serão considerados.

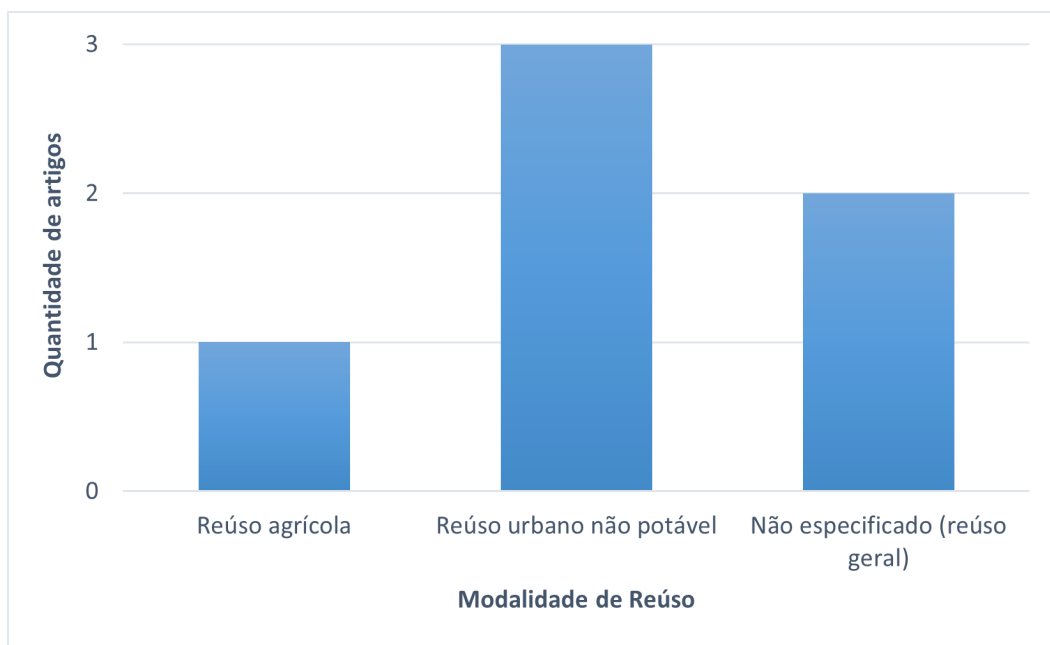
Figura 17: Modalidades de reúso de água abordada nos artigos.



Em relação ao Brasil, as publicações de pesquisa sobre o tema limitam-se às modalidades de reúso agrícola e reúso urbano não potável, sendo essa última a mais abordada, presente em 60% dos artigos brasileiros, ao passo que a agrícola encontra-se apenas em um artigo. 40% dos artigos nacionais, no entanto, não especificam a modalidade de reúso a ser investigada pela aplicação da AQRM. Não foi identificado o uso de nenhuma de outras modalidades de reúso (potável, industrial e de aquicultura) nas pesquisas.

Essas duas modalidades abordadas nos artigos brasileiros – agrícola e urbana não potável – apresentam-se como as principais categorias de reúso previstas em normativas nacionais, sendo a modalidade urbana não potável presente em todas as normativas federais e em quase todas estaduais, com exceção da Resolução nº 75/2010 do CONERH - Bahia, que é específica para reúso agrícola. Já a modalidade de reúso agrícola só não é abordada nas normativas NBR 16.783/2019, a nível federal, e Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do estado de São Paulo, que são específicas para a modalidade de reúso urbano não potável.

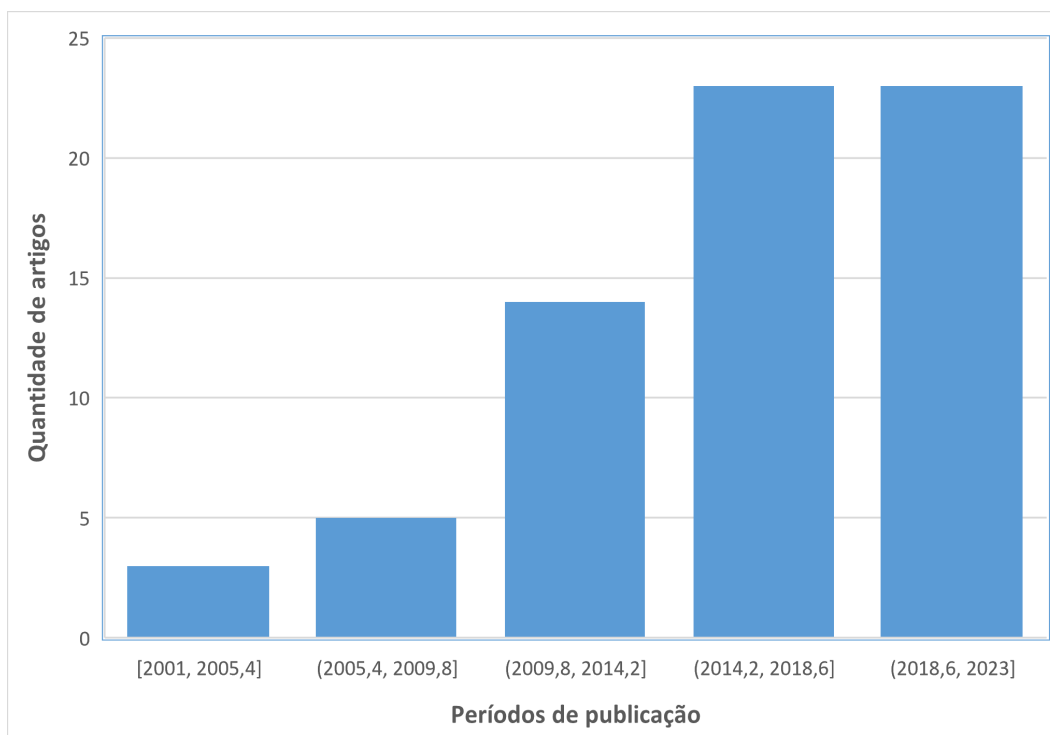
Figura 18: Quantidade de artigos brasileiros por modalidade de reúso



5.2.1.1 Reúso agrícola

A quantidade de artigos sobre a aplicação da AQRM na modalidade de reúso agrícola é exibida no gráfico pareto da figura 19.

Figura 19: Contribuição de artigos que abordam a modalidade de reúso agrícola.



Como possível observar na figura 19, houve um aumento de pesquisas que abordam

o reúso agrícola ao longo dos anos, passando de 3 artigos entre 2001 e 2005 para 5 na faixa de 2005 a 2009, 14 em 2009 a 2014, e chegando ao ápice nas faixa de 2014 a 2018 e 2018 até o mês de abril de 2023 (data do último artigo lançado sobre o tema até a realização da pesquisa), com 23 artigos em cada faixa sobre a AQRM aplicado ao reúso agrícola. A tendência de aumento sugere ainda a importância dada à investigação de riscos numa modalidade que abrange constantemente a via de exposição de ingestão, através de alimentos cultivados com água para reúso, uma vez que o uso de água para reúso para irrigação de horticulturas é comum em diversas partes do mundo e há a probabilidade de crescimento desse comportamento (HAMILTON *et al.*, 2006).

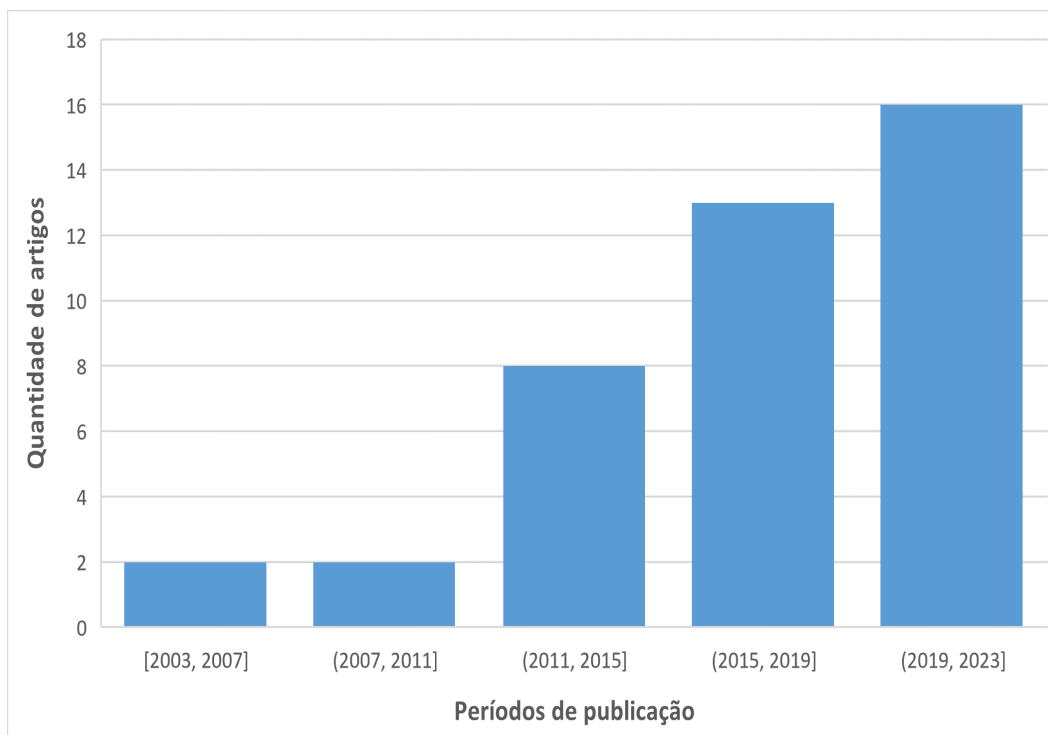
Um fator importante a ser considerado em relação às vias de exposição dos cenários estudados de reúso agrícola para a água, principalmente para trabalhadores agrícolas, é o tipo de irrigação realizado. A pesquisa de LIMA *et. al* (2022) sobre a avaliação de riscos microbiológicos em água para reúso em fazendas de arroz brasileiras expõe uma relação entre o tipo de irrigação, que impõe certos tipos de barreiras para os microrganismos, e a redução de patógenos, e demonstrou que a redução desses organismos pode ser maior para irrigação por gotejamento do que em irrigação por sprays.

No Brasil, a pesquisa de Leite e Moruzzi (2017) sobre considerações dos valores máximos permitidos para a bactéria *Escherichia coli* no reúso de águas cinzas para plantações de alimentos através da AQRM, revelou que a modalidade pode apresentar riscos mais significativos do que outras modalidades, inclusive maiores que os riscos aceitáveis previstos pela OMS.

5.2.1.2 Reúso urbano não potável

Em relação ao reúso urbano não potável como objeto de estudo de aplicação da AQRM, observa-se que do período de 2003 a 2011 houve apenas 4 artigos, representando 9,8% do total de todos os artigos dessa pesquisa que abordam a modalidade. Nos próximos 4 anos, de 2011 a 2015, o número de artigos dobrou em relação ao total produzido nos 8 anos anteriores. Um aumento expressivo também foi observado na faixa de 2015 a 2019, na qual houve 13 artigos publicados sobre o tema. A faixa de 2019 a abril de 2023 representou o ápice, com 16 pesquisas. A tendência de crescimento indica um aumento expressivo do interesse de investigação quantitativa de riscos microbiológicos na modalidade de reúso urbano, que apresenta diversas aplicações. Estudos recentes vêm demonstrando que a crise hídrica em centros urbanos, associados a outros fatores locais, como um adequado arcabouço regulatório e necessidade de reduzir a pressão sobre os recursos hídricos, vêm fomentando um número maior de aplicações de reúso de água na modalidade urbana em diversos países (Lee e Jepson, 2020)

Figura 20: Contribuição de artigos que abordam a modalidade de reúso urbano não potável.

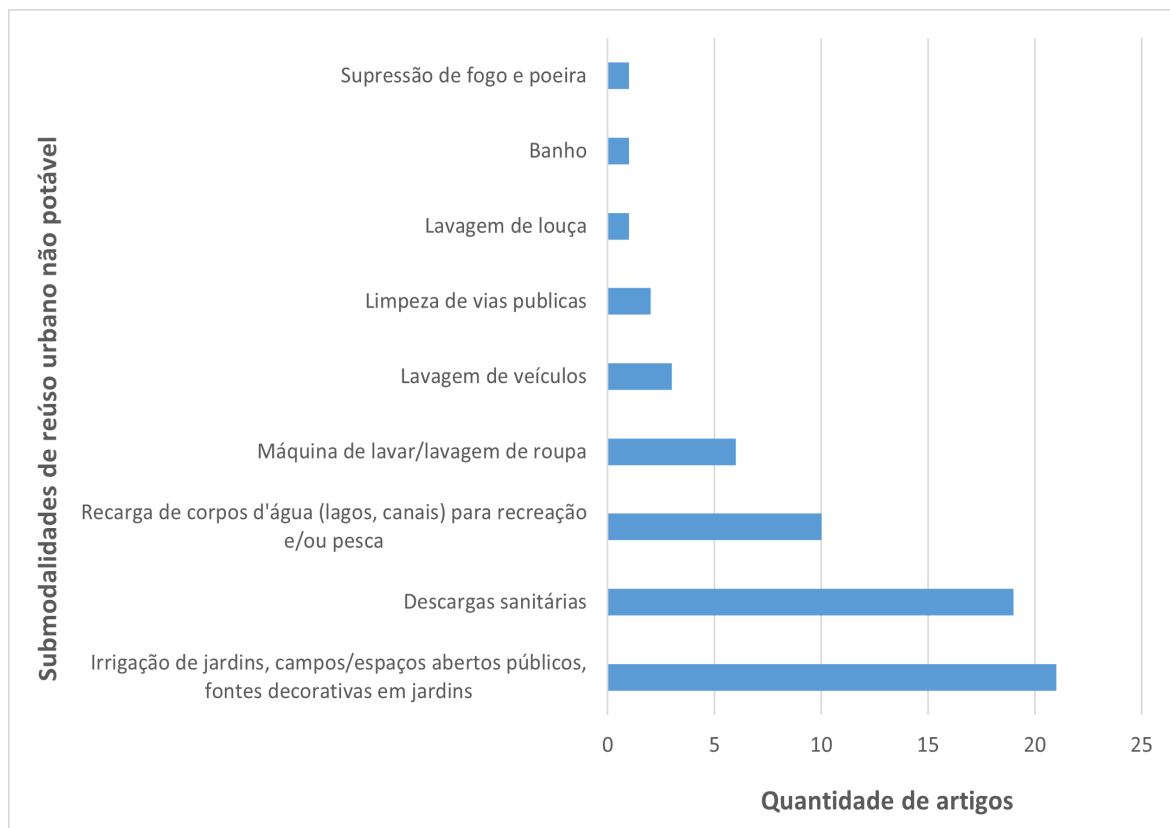


Dentre as diversas submodalidades do reúso urbano não potável abordadas nos artigos, destacam-se o uso do efluente para irrigação de jardins, campos e espaços abertos públicos e em fontes decorativas nesses ambientes, presentes em 51,2% dos artigos a cujo objeto é o reúso urbano. Outra submodalidade bastante empregada nesses artigos foi a utilização de efluente de reúso em descargas sanitárias (46,3%). Outras que se destacam são as submodalidades de recarga de corpos d'água para recreação e atividades pesqueiras (24,4%) e de lavagem de roupa (14,6%). As demais submodalidades representaram relativamente pouca participação nas pesquisas, sendo elas lavagem de veículos (7,3%), limpeza de vias públicas (4,9%), supressão de fogo e poeira (2,4%) e lavagem de louça (2,4%).

Muitas dessas submodalidades estão presentes nas normativas brasileiras a respeito do reúso, sendo bem detalhadas nas normativas do Programa Interáguas, que aborda submodalidades urbanas de uso restrito e irrestrito, e a NBR 16.783/2019, a nível nacional. A nível estadual, estão presentes em todas as normativas, com exceção da resolução nº75/2010 da CONERH do estado da Bahia, que aborda apenas reúso agrícola. No país, muito embora ainda haja a necessidade de ampliação da prática, há inúmeros estudos de caso e sistemas em operação que indicam uma expansão do número de aplicações urbanas na lavagem de veículos (OLIVEIRA *et al.*, 2023), construção civil (BRANDÃO; CABRAL; de DEUS, 2019), em edificações (GONÇALVES; MARTINELLI; WANKE, 2010), e alguns serviços urbanos municipais, como lavagem

de pisos, pátios públicos e logradouros, desobstruções de galerias de águas pluviais e de redes e coletores de esgoto (ABCDOABC, 2014).

Figura 21: Submodalidades do reúso urbano não potável abordadas nos artigos.

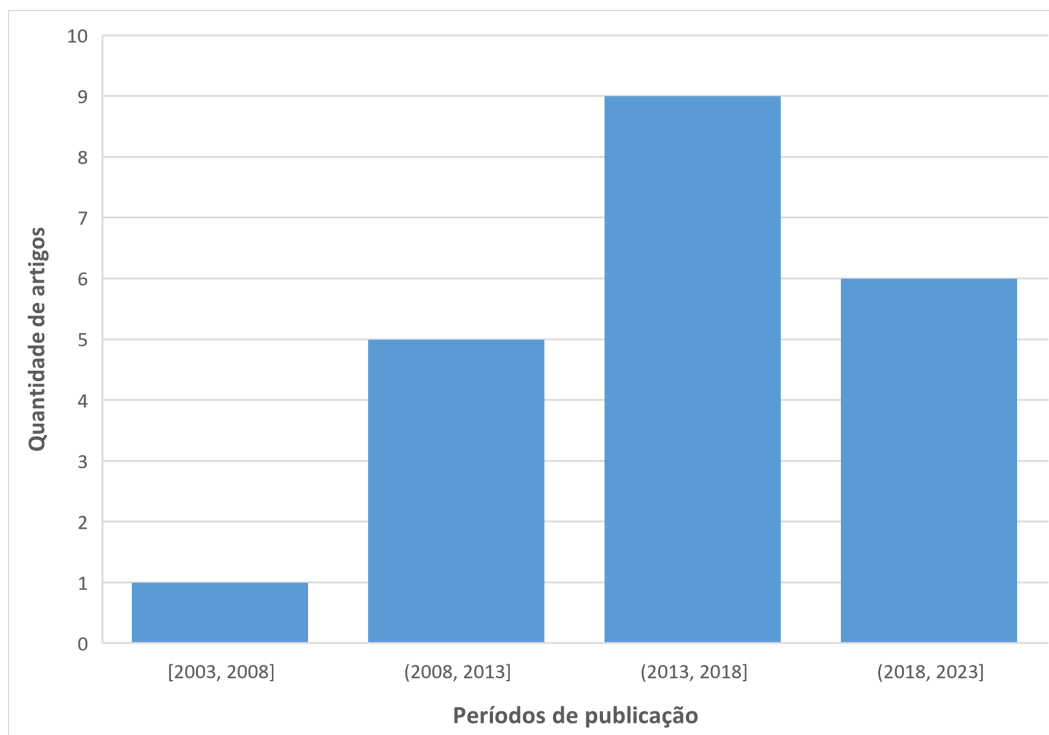


5.2.1.3 Reúso potável

Até o ano de 2008 havia apenas um artigo a respeito da aplicação da AQRM à modalidade de reúso potável de água, relacionado à aplicação de água para reúso para recarga de aquífero (OTTOSON, 2003). Entre os anos de 2008 a 2013, foi observado um crescimento nas pesquisas que abordam a modalidade, passando a ter mais 5 artigos. A faixa de 2013 a 2018 é o período em que houve maior contribuição de artigos a respeito da modalidade de reúso potável de água, representando 42,9% do total de pesquisas relacionadas à investigação quantitativa de riscos microbiológicos da modalidade. De 2018 a abril de 2023 foram observados mais 6 artigos.

A aplicação do reúso potável é observada principalmente em países como os Estados Unidos, país com o maior número de plantas de reúso potável do mundo (JEFFREY; YANG; JUDD, 2022), e na Austrália, que foi a primeira nação a desenvolver guia nacional para a prática de reúso nessa modalidade, além de deter um número expressivo de projetos de reúso para a água (KHAN e ANDERSON, 2018).

Figura 22: Contribuição de artigos que abordam a modalidade de reúso potável de água.



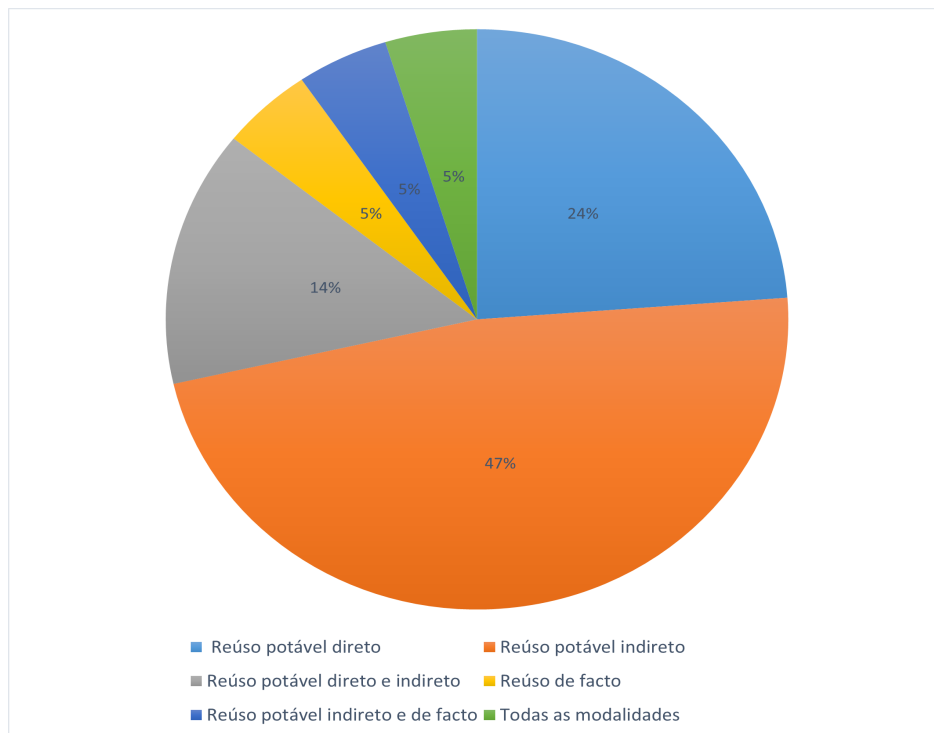
Em relação às submodalidades de reúso potável de água, a maior parte dos artigos refere-se ao reúso potável indireto (47%), que é definido como o efluente tratado com alta eficiência e armazenado em um "tampão" ambiental, como um aquífero de recarga ou um reservatório superficial, e então misturado com a fonte de água potável primária (LIM *et al.*, 2017). Já os artigos que abordam apenas a submodalidade de reúso potável direto, que é o efluente tratado direto para consumo, representa o segundo lugar entre a modalidade (24%). Há, ainda, artigos que abordam as duas modalidades (14%), comparando-as frente à quantificação de riscos microbiológicos, a submodalidade de reúso *de facto* (5%), que trata-se do reúso de efluentes tratados que não é oficialmente reconhecido pelos órgãos fiscalizadores e legislativos, sendo despejados em águas superficiais que funcionam como fontes de água potável (EPA, 2012). Há também os estudos que comparam os riscos microbiológicos em reúsos potáveis indiretos e *de facto* (5%) e que comparam todas as três submodalidades de reúso potável (5%), como o estudo de caso da quantificação dos riscos patogênicos associados ao reúso potável, em termos do patógeno *Cryptosporidium* (AMOUEYAN *et al.*, 2017).

A modalidade de reúso potável direto já é aplicada em algumas comunidades, principalmente nos Estados Unidos, sendo cada vez mais reconhecida como uma importante estratégia em períodos de escassez hídrica em lugares com condições climáticas mais secas, como o Texas (WESTER e BROAD, 2020). Tanto essa submodalidade quanto a de reúso potável indireto apresentam, no geral, riscos bem inferior ao reúso *de facto*,

sendo que não há aparente evidência de condições agudas e doenças que causam diarreia como consequência do consumo da água para reúso potável (JEFFREY; YANG; JUDD, 2022). No entanto, até mesmo as comunidades que desfrutam de água proveniente de efluente tratado se opõem consistentemente a algumas modalidades de reúso potável, principalmente a de reúso direto (SCRUGGS; PRATESI; FLECK, 2019).

Em relação às perspectivas da aplicação do reúso potável para o Brasil, há uma dificuldade considerável para a prática se tornar uma realidade no país, e essa situação fica evidente na ausência de artigos sobre aplicação da modalidade no país. O que tem sido efetivamente discutido no país é a adequação das estações de tratamento de esgoto (ETE's) para a produção de água para reúso não potável através de desenvolvimentos tecnológicos, como no estudo de Lippi *et al.*, 2023 sobre a avaliação de um teste piloto com tecnologia de ultrafiltração para produção da água para reúso em uma ETE com tratamento terciário. Desse modo, observa-se que o desafio no campo da prática de reúso potável para a água num país que ainda luta para conseguir a universalização do saneamento é uma realidade distante.

Figura 23: Submodalidades do reúso potável de água.



5.2.2 Microrganismos patógenos

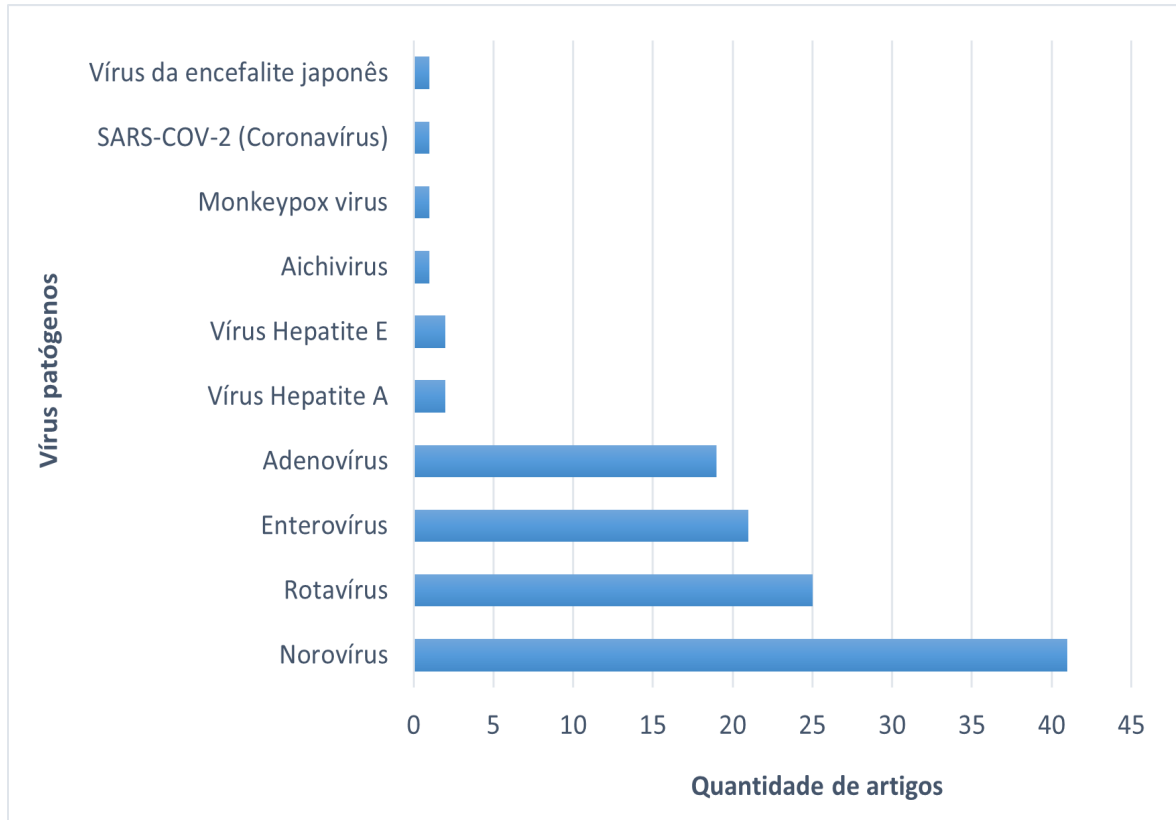
5.2.2.1 Vírus

Dentre os vírus de veiculação hídrica que podem apresentar potencial de causar implicações de agraves e riscos de doenças como a gastroenterite, afetando a saúde da

população humana, os *Norovírus* foram os principais estudados nos artigos referentes à pesquisa, presentes em 32,3% de todas as pesquisas, uma vez que se trata de um dos principais patógenos de referência da OMS (WHO, 2016), além de serem responsáveis pela maior causa de gastroenterite em diversos países, como na Alemanha (SEIS *et al.*, 2022), e principalmente pelo fato de serem bastante abundantes em água (GONZALES-GUSTAVSON, *et al.*, 2019), e requererem grande eficácia de remoção em mecanismos de tratamento de efluentes (SCHOEN, *et al.*, 2020).

Logo em seguida, aparecem os *Rotavírus* (19,7%), responsáveis pela causa mais comum de diarreia grave na infância em todo mundo (LINHARES, 2000) e os *Enterovírus* (16,5%), que são responsáveis por cerca de 58% das infecções em crianças diagnosticadas com meningite e encefalite (CHEN *et al.*, 2020). Os *Adenovírus* apresentam também significativa participação nos estudos (15%), sendo responsáveis por causas infecções conjuntivas, gastrointestinais e até respiratórias em crianças (SANCHEZ *et al.*, 2022). As contribuições de pesquisas relacionadas aos demais vírus são bem menores, como as dos vírus causadores das hepatites A e E, ambos com 1,6%, e os vírus SARS-COV-2, monkeypox, aichivírus e vírus da encefalite japonês (0,8%).

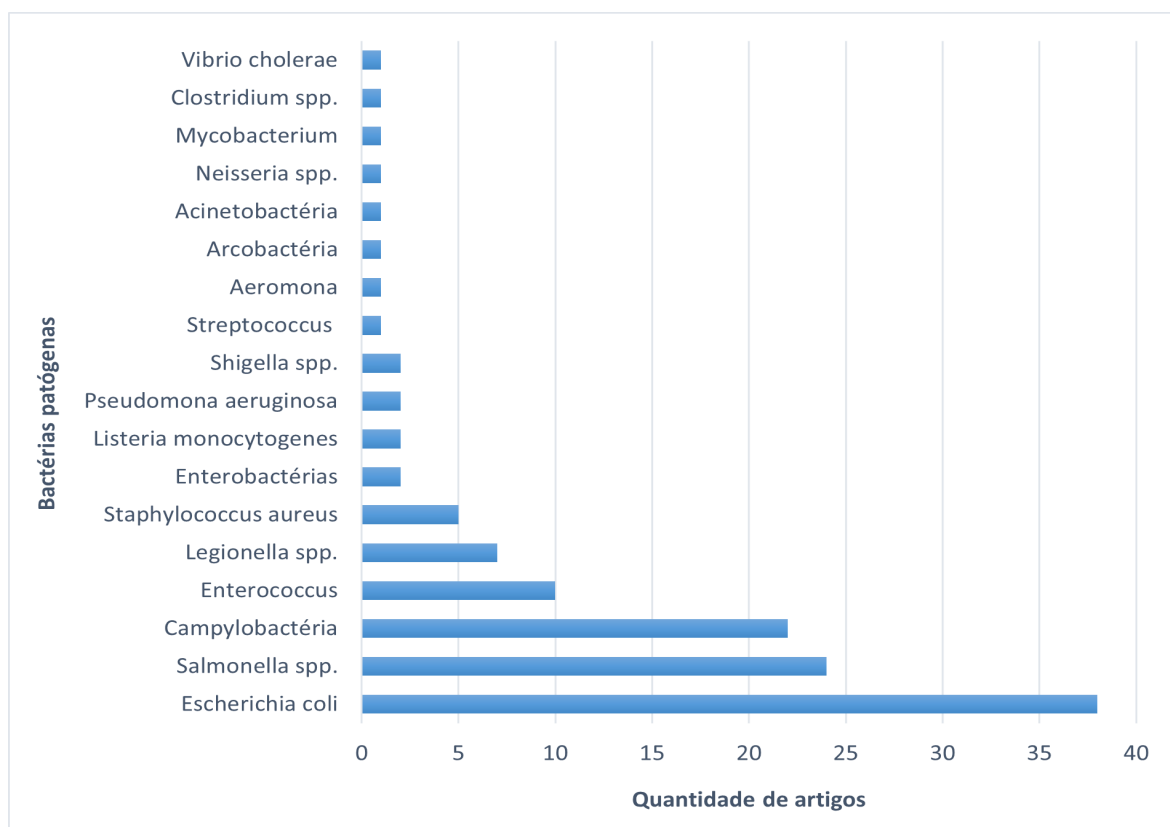
Figura 24: Vírus patógenos abordados nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.



5.2.2.2 Bactérias

Em relação às bactérias patógenas estudadas, observa-se um grande grupo de microrganismos, com destaque para *Escherichia coli* (29,9%), *Salmonella spp.* (18,9%) e *Campylobactéria*, que são espécies bacterianas que estão entre o grupo das responsáveis por mais de 90% dos casos de infecções (SALES *et al.*, 2015). Há, também, relevância quantitativa, em menores proporções, de *Enterococcus spp.* (7,9%) e *Staphylococcus aureus* (5,5%). A contribuição das demais bactérias abordadas também nos estudos podem ser observadas na figura 25.

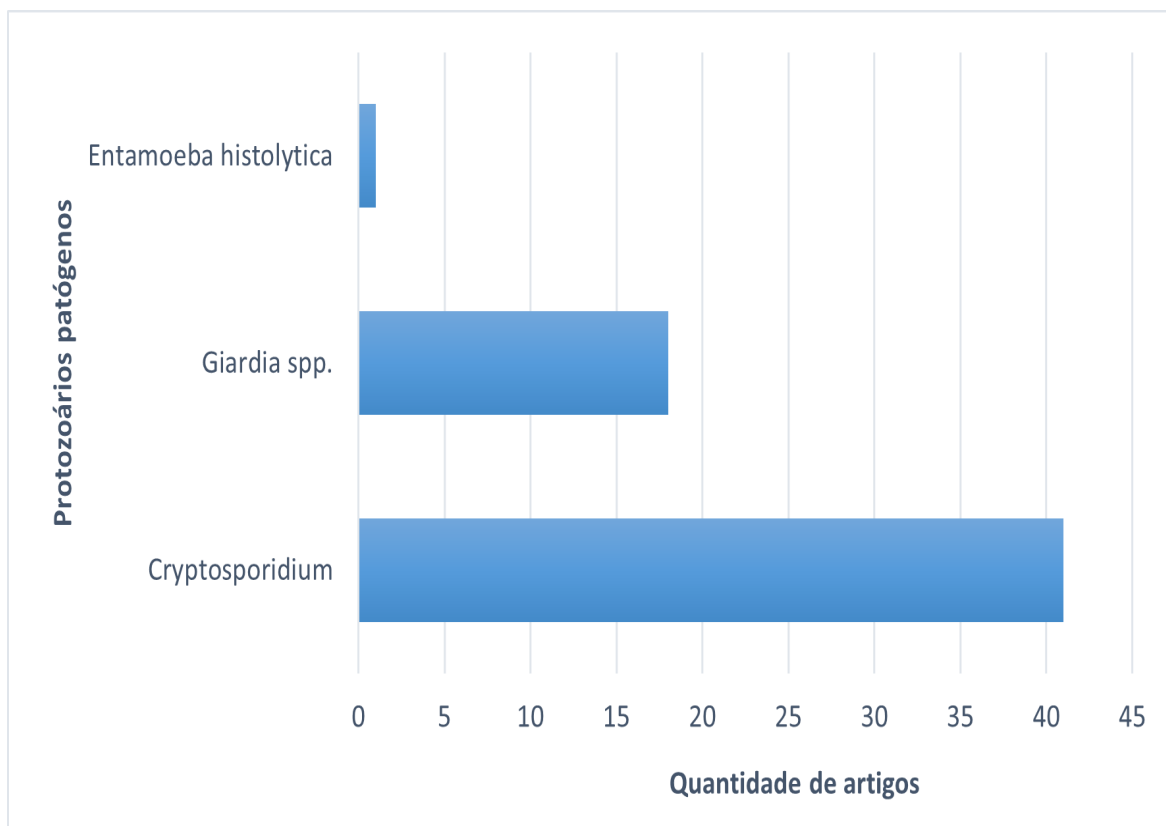
Figura 25: Bactérias patógenas abordadas nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.



5.2.2.3 Protozoários

Dentre os três protozoários identificados como microrganismos patógenos de estudo para quantificação de risco microbiológico em águas de reúso, há um grande destaque para o *Cryptosporidium*, presente em 32,28% dos artigos, e patógeno responsável pela segunda maior causa de diarreia e mortes de crianças ao redor do mundo (UNA e NAWAL, 2015). Logo em seguida, encontra-se a *Giardia spp.*, cuja presença e riscos associados é estudada em 14,17% dos artigos. O protozoário patógeno menos estudado dentre eles, foi a *Entamoeba histolytica*, abordada em apenas um estudo.

Figura 26: Protozoários patogênicos abordados nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.

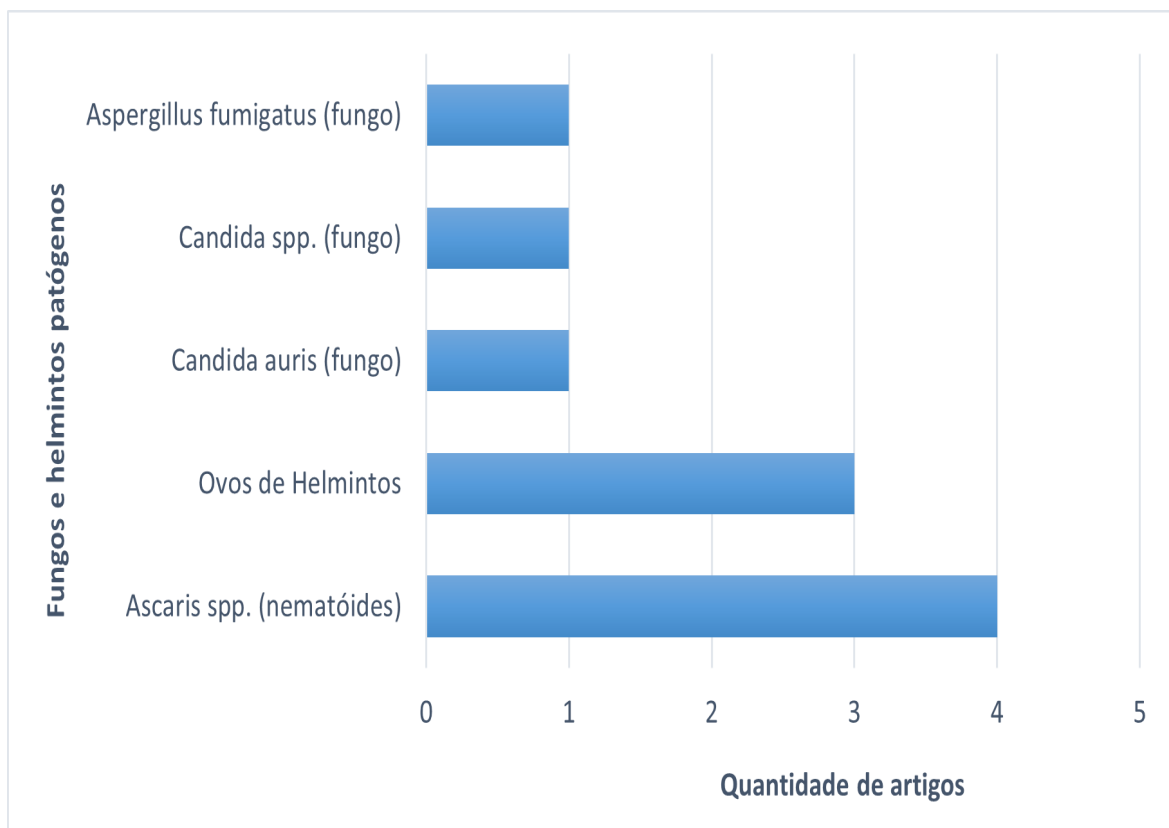


5.2.2.4 Fungos e Helmintos

Dentre o grupo dos helmintos, que engloba organismos parasitas, há um destaque para o nematóide *Ascaris spp.*, conhecido popularmente por lombriga, sendo estudado em 4 artigos relacionados à AQRM aplicada a águas de reúso, e para ovos de helmintos (espécies não especificadas), que é abordado em 3 estudos.

Destacam-se, também, três microrganismos do reino *Funghi*, que não são usualmente encontrados como microrganismos de referência, mas que podem ser transmitidos por via hídrica através de água para reúso, e são discutidos no artigo australiano *Managing emerging pathogen risks in recycled water* (SHORT *et al.*, 2022).

Figura 27: Fungos e Helmintos abordados nas pesquisas da AQRM aplicada a águas de reúso.



5.2.3 Relações entre as modalidades de reúso e microrganismos patógenos

A tabela 8 apresenta a contribuição de números de artigos sobre os patógenos em cada modalidade de reúso de água. Para cada modalidade, foi quantificada, em porcentagem, a participação de cada um dos patógenos em relação ao número total de artigos e pesquisas sobre a AQRM aplicada a essa modalidade.

Tabela 8: Relação entre os patógenos e as modalidades de reúso abordados nas pesquisas sobre a AQRM aplicada a águas de reúso.

Patógeno	Reúso Agrícola	Reúso Urbano Não Potável	Reúso Potável	Reúso Industrial
<i>Enterovírus</i>	22,1%	9,8%	4,8%	0,0%
<i>Adenovírus</i>	16,2%	19,5%	23,8%	0,0%
<i>Aichivírus</i>	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Rotavírus</i>	19,1%	26,8%	28,6%	25,0%
<i>Norovírus</i>	30,9%	31,7%	38,1%	0,0%
<i>Vírus Hepatite A</i>	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Vírus Hepatite E</i>	2,9%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Escherichia coli</i>	35,3%	43,9%	4,8%	75,0%
<i>Enterococcus spp.</i>	7,4%	7,3%	9,5%	0,0%
<i>Enterobactérias</i>	1,5%	2,4%	0,0%	0,0%
<i>Staphylococcus aureus</i>	2,9%	7,3%	0,0%	0,0%
<i>Salmonella spp.</i>	19,1%	22,0%	33,3%	25,0%
<i>Legionella spp.</i>	5,9%	7,3%	0,0%	0,0%
<i>Listeria monocytogenes</i>	0,0%	0,0%	0,0%	25,0%
<i>Pseudomona aeruginosa</i>	2,9%	4,9%	0,0%	0,0%
<i>Streptococcus spp.</i>	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Aeromona</i>	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Arcobactéria</i>	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Acinetobactéria</i>	1,5%	0,0%	0,0%	0,0%
<i>Neisseria spp.</i>	1,5%	0,0%	0%	0%
<i>Mycobacterium spp.</i>	1,5%	0,0%	0%	0%
<i>Shigella spp.</i>	1,5%	2,4%	0%	0%
<i>Clostridium spp.</i>	1,5%	2,4%	0%	0%
<i>Vibrio cholerae</i>	0,0%	2,4%	0%	0%
<i>Campylobactéria</i>	7,4%	31,7%	42,9%	0%
<i>Cryptosporidium spp.</i>	17,6%	39,0%	76,2%	25%
<i>Giardia spp.</i>	14,7%	22,0%	28,6%	25%
<i>Entamoeba histolytica</i>	1,5%	2,4%	0%	0%
<i>Ovos de Helmintos</i>	2,9%	0%	0%	0%
<i>Ascaris spp.</i>	4,4%	0%	0%	0%

Em relação à aplicação da AQRM à modalidade do reúso agrícola de água, é evidente o destaque da *Escherichia coli*, presente em mais de um terço dos artigos e pesquisas relacionados à modalidade, e do *Norovírus*. Dentre os demais vírus, destacam-se também o *Enterovírus*, o *Rotavírus* e o *Adenovírus*, presentes em mais de 10 pesquisas. Já entre as bactérias, outra que se destaca é a *Salmonella spp.*, abordada em 18,8% dos artigos da modalidade, ao passo que o *Cryptosporidium spp.* é o protozoário patógeno mais abordado nos estudos. Observa-se a ausência de estudos que avaliam a quantificação de risco devido à presença dos patógenos *Listeria monocytogenes* e *Vibrio cholerae* específico para águas de reúso destinadas a fins agrícolas. A presença de estudos que discutem os riscos envolvendo ovos de helmintos e ascaris spp., embora em quantidades menores do que outros patógenos, é observada, e condizente com a modalidade de reúso, uma vez que a transmissão de diversas doenças relacionadas a tais patógenos ocorre através da alimentação de vegetais crus, mal lavados e/ou cozidos.

Já em relação à modalidade de reúso urbano não potável, há também o destaque para os microrganismos patógenos *Escherichia coli*, presente em 18 artigos, *Norovírus*, *Rotavírus* e *Salmonella spp.* Além disso, outra bactéria patógena que se destaca em termos de avaliação quantitativa de risco microbiológico em águas de reúso na modali-

dade é a *Campylobactéria*, presente em 13 estudos. Dentre os protozoários patógenos, destaca-se principalmente o *Cryptosporidium spp.*, abordado em 16 estudos. Nota-se a ausência de diversas bactérias patógenas, assim como dos vírus *Aichivirus*, e das hepatites A e E, além de ovos de helmintos e *Ascaris spp.*, nos estudos do tema relacionados à modalidade.

Em relação ao reúso potável, também há certo destaque para os vírus *Norovírus* e *Rotavírus*, as bactéria *Salmonella spp.* e *Campylobactéria* e o protozoário *Giardia spp.*. O patógeno de maior destaque, no entanto é o parasita *Cryptosporidium spp.*, presente em 16 estudos que abordam a modalidade de reúso potável, representando 76,2% do total de artigos da modalidade. Assim como nos artigos da modalidade de reúso urbano não potável, há a ausência de diversas bactérias patógenas, helmintos, e os vírus *Aichivirus*, e das hepatites A e E.

Para o reúso industrial, modalidade que apresenta pouca participação nos estudos, o maior destaque é a bactéria *Escherichia coli*, presente em quase todas as pesquisas sobre a aplicação da AQRM à modalidade. Outros microrganismos patógenos presentes em pelo menos um estudo são o *Rotavírus*, os protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp.*, e as bactérias *Salmonella spp.* e *Listeria monocytogenes*.

Em termos comparativos entre as modalidades de reúso, destacam-se algumas outras observações:

- A bactéria *Listeria monocytogenes* foi abordada apenas em estudo sobre a aplicação da AQRM na modalidade de reúso industrial.
- A bactéria *Vibrio cholerae* foi estudada apenas em pesquisa de quantificação de riscos microbiológicos na modalidade do reúso urbano não potável.
- A bactéria patógena *Campylobactéria* e o protozoário *Cryptosporidium spp.* aparentam apresentar maior relevância (em termos de quantidade) nas modalidades de reúso urbano não potável e potável (ambos com 16 artigos de contribuição) do que na modalidade de reúso agrícola (13 artigos), tanto em participação relativa da modalidade, quanto em números absolutos.
- A bactéria *Escherichia coli* não aparenta apresentar tanta relevância (quantitativa) na modalidade de reúso potável quanto nas demais modalidades.

É importante frisar que essas relações quantitativas obtidas nas pesquisas não necessariamente referem-se ao grau de importância epidemiológica dada a um determinado patógeno, mas sim aos microrganismos patógenos escolhidos como relevantes pelos autores na pesquisa, seja por análise de amostras dos locais de pesquisa, como por outras metodologias, baseadas em documentos modelos, como o guia para aplicação da AQRM

da OMS (WHO, 2016), ou mesmo outras referências. Os resultados obtidos e discutidos servem como base de referência para pesquisas de implementações de AQRM aplicado a águas de reúso e para a elaboração de futuras normativas sobre o reúso de água.

5.2.3.1 Comparação dos microrganismos patógenos de destaque em relação às normativas brasileiras sobre reúso de água

Dentre todas as normativas brasileiras federais e estaduais a respeito do reúso de água, apenas a Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do Estado de São Paulo (SÃO PAULO, 2020) que aborda, dentre os seus padrões de uso, a bactéria *Escherichia coli*, o helminto *Ascaris spp.* e os protozoários *Giardia* e *Cryptosporidium* na modalidade de reúso urbano não potável, ao passo que as demais normativas só abordam a quantidade de coliformes termotolerantes em águas de reúso, e, portanto, deixam de considerar os diversos patógenos avaliados nas pesquisas de aplicação da AQRM a águas de reúso.

Para a modalidade de reúso urbano não potável, prevista pela resolução paulista, os resultados dessa pesquisa indicam destaque também para outros microrganismos patógenos além dos padronizados como microrganismos de referência pela resolução, como os vírus *Norovírus*, *Rotavírus*, e as bactérias *Salmonella spp.* e *Campylobactéria*, que não estão previstas no escopo de padrões da resolução.

6 CONCLUSÕES

Os artigos que abordam o tema indicam a influência da contextualização regional na produção de pesquisas de AQRM relacionadas a águas de reúso, uma vez que países como os Estados Unidos e a Austrália, que apresentam porcentagens de contribuição muito superiores a de outros países, são pioneiros na prática do reúso – principalmente na popular modalidade de reúso agrícola – e na elaboração de legislações para a regulamentação e padronização do uso em diversas modalidades. Em relação aos estudos brasileiros, destaca-se a popularidade da modalidade de reúso urbano não potável, que é a principal modalidade prevista nas normativas nacionais, estando presente em todas federais e em quase todas em âmbito estadual, e uma das modalidades mais praticadas no país. Já a tendência de aumento de contribuição das pesquisas de aplicação da AQRM a águas de reúso acompanha a ampliação de práticas de reúso ao redor do mundo, devido principalmente a problemas de escassez e do princípio de sustentabilidade.

A escolha dos microrganismos patógenos a serem estudados em cenários de risco de exposição da população à água para reúso, além de depender de análises *ex situ* e *in situ* de um determinado local de estudo, pode estar ligada à modalidade de reúso empregada, uma vez que os caminhos, a intensidade e a frequência de exposição da população a esses patógenos de veiculação hídrica varia significativamente entre cada modalidade. Essa questão está evidenciada nos casos da bactéria *Campylobactéria* e do protozoário *Cryptosporidium spp.*, que apresentaram maior relevância para as modalidades de reúso potável e reúso urbano não potável do que a modalidade de reúso agrícola, tanto em participação relativa da modalidade, quanto em números absolutos de artigos.

As normativas brasileiras sobre reúso da água no geral apresentam-se ainda muito simplificadas quanto aos padrões relacionados aos microrganismos patogênicos de veiculação hídrica, uma vez que a maioria delas abordam apenas coliformes termotolerantes, não prevendo outros patógenos de relevância epidemiológica e sanitária, que são estudados nas pesquisas de aplicação da AQRM. A existência de normativas específicas para uma modalidade de reúso, como a Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01/2020 do Estado de São Paulo, aparenta aumentar a percepção dos riscos microbiológicos em águas de reúso ao prever padrões para mais microrganismos patógenos relevantes, como o *Cryptosporidium spp.*, a *Giardia spp.* e o nematóide *Ascaris spp.*. No país, a prática do reúso para água apresenta-se mais difundida para as modalidades de reúso urbano não potável, que compreende diversas submodalidades, mas também há bastantes exemplos nos setores agrícola e industrial, e, considerando as análises dos microrganismos patógenos, há a evidência da necessidade de incorporar os estudos de

riscos microbiológicos para o aperfeiçoamento dos padrões previstos nas normativas, de modo a garantir uma prática de reúso mais segura.

A Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM) aplicada a águas de reúso realizada nesse trabalho traz, portanto, discussões e resultados relevantes, nos campos de modalidade de reúso e microrganismos patógenos, e espera-se servir como uma base para futuras discussões acerca de aspectos legais da prática do reúso de água no país.

Para aprimoração da pesquisa realizada e do estado da arte da Avaliação Quantitativa de Riscos Microbiológicos aplicada a águas de reúso, sugere-se a investigação de outros campos abordados pela ferramenta, como modelos matemáticos de dose-resposta e cenários com diferentes vias de exposição para cada modalidade de reúso, visando a caracterização e os resultados dos riscos quantitativos associados aos microrganismos patógenos estudados. É sugerido, ainda, que os resultados dos riscos sejam utilizados como base para atualizações de padrões previstos nas normativas que regulamentam a prática do reúso, e para a proposição de métodos mais eficientes de tratamento de efluentes para alcançar padrões adequados de reúso.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABCDOABC. DAE retorna ao Programa de Utilização de Água de Reúso, 2014. Disponível em: <https://www.abcdoabc.com.br/sao-caetano/noticia/dae-retorna-ao-programa-utilizacao-agua-reuso-19980>. Acesso em 15/04/2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2020: relatório pleno** / Agência Nacional de Águas. – Brasília: ANA, 2020.

AGENCIA NACIONAL DE AGUAS E SANEAMENTO BASICO – ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Brasília, DF, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 11 jul. 2022.

AGENCIA NACIONAL DE AGUAS E SANEAMENTO BASICO – ANA. **Novo Marco Regulatório do Saneamento**. Brasília, DF, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/saneamento-basico/novo-marco-legal-do-saneamento>. Acesso em: 21 jul. 2023.

AGÊNCIA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL (EPA). **Guidelines for Water Reuse, 2012**. Disponível em: <https://watereuse.org/wp-content/uploads/2015/04/epa-2012-guidelines-for-water-reuse.pdf>. Acesso em: 03 jul. 2023.

AGULLO-BARCELO, M.; CASAS-MANGAS, R.; LUCENA, F. **Direct and indirect QMRA of infectious Cryptosporidium oocysts in reclaimed water**. Journal of Water and Health, v. 10 (4), p. 539-548, 2012.

AL-JASSIM, N.; ANSARI, M.I.; HARB, M.; HONG, P.Y. **Removal of bacterial contaminants and antibiotic resistance genes by conventional wastewater treatment processes in Saudi Arabia: Is the treated wastewater safe to reuse for agricultural irrigation?**. Water Research, v. 73, p. 277-290, 2015.

AMHA, Y.M.; KUMARASWAMY, R.; AHMAD, F. **A probabilistic QMRA of Salmonella in direct agricultural reuse of treated municipal wastewater**. Water and Science Technology, v. 71 (8), p. 1203-1211, 2015.

AMOUEYAN, E.; AHMAD, S.; EISENBERG, J.N.S.; GERRITY, D. **Equivalency**

of indirect and direct potable reuse paradigms based on a quantitative microbial risk assessment framework. *Microbial Risk Analysis*, v. 12, p. 60-75, 2019.

AMOUEYAN, E.; AHMAD, S.; EISENBERG, J.N.S.; GERRITY, D. **A dynamic quantitative microbial risk assessment for norovirus in potable reuse systems.** *Microbial Risk Analysis*, v. 14, 2020.

AMOUEYAN, E.; AHMAD, S.; EISENBERG, J.N.S.; PECSON, B.; GERRITY, D. **Quantifying pathogen risks associated with potable reuse: A risk assessment case study for *Cryptosporidium*.** *Journal of Water Research*, v. 119., p. 252-266, ago. 2017.

AN, Y.J.; YOON, C.G.; JUNG, K.W.; HAM, J.H. **Estimating the microbial risk of E-coli in reclaimed wastewater irrigation on paddy field.** *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 129, p. 53-60, 2007.

ANGELAKIS, A. N.; ASANO, T.; BAHRI, A.; JIMENEZ, B. E.; TCHOBANOGLOUS, G. **Water Reuse: From ancient to modern times and the future.** *Frontiers Environmental Science*. v. 6, n. 26, 2018.

AQUINO, S. F.; BRANDT, E. M. F.; CHERNICHARO, C. A. L. **Remoção de fármacos e desreguladores endócrinos em estações de tratamento de esgoto: revisão da literatura.** *Eng. Sanit. Amb.*, v. 18, n. 3, p. 187-204, 2013.

ARDEN, S.; MORELLI, B.; SCHOEN, M.; CASHMAN, S.; JAHNE, M.; MA, X.; GARLAND, J. **Human Health, Economic and Environmental Assessment of Onsite Non-Potable Water Reuse Systems for a Large, Mixed-Use Urban Building.** *Sustainability*, v. 12 (13), 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 13.969/97. **Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos.** Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. NBR 16783/2019. **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações.** Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

AYUSO-GABELLA, N.; PAGE, D.; MASCIOPINTO, C.; AHARONIM A.; SALGOT,

M.; WINTGENS, T. **Quantifying the effect of Managed Aquifer Recharge on the microbiological human health risks of irrigating crops with recycled water.** *Agricultural Water Management*, v. 99 (1), p. 93-102, 2011.

BAHIA. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CONERH). **Resolução nº 75 de 29 de julho de 2010.** Estabelece procedimentos para disciplinar a prática de reúso direto não potável de água, na modalidade reúso para fins agrícolas e/ou florestais e dá outras providências. Bahia, 2010.

BAILEY, E.S.; SOBSEY, M.D. **Quantitative Microbial Risk Assessment of North Carolina Type 2 Reclaimed Water for Agricultural Reuse.** *Applied Sciences-Basel*, v. 12 (19), 2022.

BARBER, L. B.; VAJDA, A. M.; DOUVILLE, C.; NORRIS, D. O.; WRITER, J. H. **Fish Endocrine Disruption Responses to a Major Wastewater Treatment Facility Upgrade.** *Environmental Science Technology*, v. 46, n. 4, p. 2121-2131, 2012.

BARCELOS, D.S.; BARQUILHA, C.E.R.; OLIVEIRA, P.E.; PROKOPIUK, M.; ET-CHEPARE, R.G. **How has the COVID-19 pandemic impacted wastewater-based epidemiology?.** *Science of the Total Environment*, v. 892, 2023.

BARKER, S.F. **Risk of Norovirus Gastroenteritis from Consumption of Vegetables Irrigated with Highly Treated Municipal Wastewater-Evaluation of Methods to Estimate Sewage Quality.** *Risk Analysis*, v. 34 (5), p. 803-817, 2014.

BARKER, S.F.; O'TOOLE, J.; SINCLAIR, M.I.; LEDER, K.; MALAWARAARACHCHI, M.; HAMILTON, A.J. **A probabilistic model of norovirus disease burden associated with greywater irrigation of home-produced lettuce in Melbourne, Australia.** *Water Research*, v. 47 (3), p. 1421-1432, 2013.

BARKER, S.F.; PACKER, M.; SCALES, P.J.; GRAY, S.; SNAPE, I.; HAMILTON, A.J. **Pathogen reduction requirements for direct potable reuse in Antarctica: Evaluating human health risks in small communities.** *Science of the Total Environment*, v. 461, p. 723-733, 2013.

BARROS, H. M. M.; VERIATO, M. K. L.; SOUZA, L. P.; CHICÓ, L. R.; BAROSI,

K. X. L. **reúso de água na agricultura**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, v. 10, n. 5, p. 11-16, 2015.

BARROSO, L. B.; WOLFF, D. B. **Reúso de esgoto sanitário na irrigação de culturas agrícolas**. Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal, v. 8, n. 3, p. 225-236, jul. 2011.

BASTOS, R.B.; BARQUILHA, C.E.R.; KOZAK, C.; DEMINA, S.B.; LEITE, B.Z.; DA COSTA, F.J.O.G.; MARTINS, W.L.; OLIVEIRA, P.E.; PEREIRA, E.H.R.A.; FILHO, C.R.M.; DE SOUZA, E.M.; POSSETTI, G.R.C; VICENTE, A.V.; ETCHEPARE, R.G. **20-Month monitoring of SARS-CoV-2 in wastewater of Curitiba, in Southern Brazil**. Environmental Science and Pollution Research, maio 2023,

BEAUDEQUIN, D.; HARDEN, F.; ROIKO, A.; MENGERSEN, K. **Utility of Bayesian networks in QMRA-based evaluation of risk reduction options for recycled water** . Science of the Total Environment, v. 541, p. 1393-1409, 2016.

BEAUDEQUIN, D.; HARDEN, F.; ROIKO, A.; MENGERSEN, K. **Potential of Bayesian networks for adaptive management in water recycling**. Environmental Modelling & Software, v. 91, p. 251-270, 2017.

BLANKY, M.; SHARABY, Y.; RODRIGUEZ-MARTINEZ, S.; HALPERN, M.; FRIEDLER, E. **Greywater reuse - Assessment of the health risk induced by Legionella pneumophila**. Water Reseach, v. 125, p. 410-417, 2017.

BORDONALLI, A.C.O.; MENDES, C.G.N. **Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD**. Revista Eng. Sanit. Ambient., v. 14, n. 2, jun. 2009.

BRANDÃO, A.S.; CABRAL, A.E.B; DEUS, E.P.; SILVA, W.K.D.; SILVA, W.M.M. **Estudo de caso: uso de água recuperada na construção civil**. Revista DAE, v. 67, n. 217, p. 34-46, mai. 2019.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997**. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br>. Acesso em: 14 jul. 2022.

BRASIL. Ministério das Cidades. **PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DO SETOR ÁGUAS (INTERÁGUAS)**. Elaboração de proposta de plano de ações para instituir uma política de reúso de efluente sanitário tratado no Brasil. Produto III – Critérios de qualidade de água. 2018.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução CNRH nº 54, de 28 de novembro 2005**. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios para o reúso direto não potável de água, e dá outras providências. Brasília, DF, 2005.

BUSGANG, A.; FRIEDLER, E.; GILBOA, Y.; GROSS, A. **Quantitative Microbial Risk Analysis for Various Bacterial Exposure Scenarios Involving Greywater Reuse for Irrigation**. *Water*, v. 10 (4), 2018.

BUSGANG, A.; FRIEDLER, E.; OVADIA, O.; GROSS, A. **Epidemiological study for the assessment of health risks associated with graywater reuse for irrigation in arid regions**. *Science of the Total Environment*, v. 538, p. 230-239, 2015.

CANTELE, T. D.; LIMA, E. C.; BORGES, L. A. C. **Panorama dos recursos hídricos no mundo e no Brasil**. *Rev. Agro. Amb.*, v. 11, n. 4, p. 1259-1282, 2018.

CAPES. Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior. **Web of Science lança nova versão de base de dados**. Brasília: CAPES, 2012.

CARDOSO, Anna Paula Marques. **Uso do bioestimulante à base de algas marinhas e água residuária de piscicultura na produção de mudas de Mungu (*Erythrina Velutina Wild*) em solo de área degradada**. Orientadora: Profa. Dra. Fabíola Gomes de Carvalho. 2021. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2021. Disponível em: <https://memoria.ifrn.edu.br/bitstream/handle/1044/2151/Anna%20Paula%20Marques%20Cardoso.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 14 ago. 2022.

CEARÁ. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (COEMA). **Resolução COEMA nº 02 de janeiro de 2017**. Estabelece diretrizes, critérios e parâmetros

específicos para o reúso não potável de água de acordo com as modalidades regulamentadas e dá outras providências. Ceará, 2017.

CHACON, L.; BARRANTES, K.; SANTAMARIA-ULLOA, C.; SOLANO, M.; REYES, L.; TAYOR, L.; VALIENTE, C.; SYMONDS, E.M.; ACHI, R. **A Somatic Coliphage Threshold Approach To Improve the Management of Activated Sludge Wastewater Treatment Plant Effluents in Resource-Limited Regions**. Applied and Environmental Microbiology, v. 85 (17), 2020.

CHANDRASEKARAN, S.; JIANG, S.C. **A dynamic transport model for quantification of norovirus internalization in lettuce from irrigation water and associated health risk**. Science of the Total Environment, v. 643, p. 751-761, 2018.

CHAUDHRY, R.M.; HAMILTON, K.A.; HASSM C.N.; NELSON, K.L. **Drivers of Microbial Risk for Direct Potable Reuse and de Facto Reuse Treatment Schemes: The Impacts of Source Water Quality and Blending**. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 14 (6), 2017.

CHEN, B.S.; LEE, H.C.; LEE, K.M.; GONG, Y.N.; SHIH, S.R. **Enterovirus and Encephalitis**. Frontiers in Microbiology, v.11, 2020.

CHEN, M.H. SHI, L.L.; LIU, G.; WU, X.J, LU, Y. **Aerosol exposure assessment during reclaimed water utilization in China and risk evaluation in case of Legionella**. Frontiers of Environmental Science & Engineering, v. 16 (7), 2022.

CHEN, R.; GAO, T.T.; WANG, X.C.; ZHOU, J.H.; XU, L.M. **Health impact assessment of wastewater reuse for replenishing an urban landscape lake by disability-adjusted life year**. Journal of Water Reuse and Desalination, v. 6 (3), p. 371-381, 2016.

CHERNICHARO et al. **Processos de Tratamento de Esgoto**. [S.l.], 2008.

CHHIPI-SHRESTHA, G.; HEWAGE, K.; SADIQ, R. **Microbial quality of reclaimed water for urban reuses: Probabilistic risk-based investigation and recommendations**. Science of the Total Environment, v. 576, p. 738-751, 2017.

CHOI, J.; YOON, C.G.; RHEE, H.P.; SON, Y.; CHO, M.; RUYN, J.H. **National risk assessment of irrigation on farmland near wastewater treatment plants**

in Korea. *Paddy and Water Environment*, v. 14 (2), p. 281-288, 2016.

CHURCH, J.; VERBYLA, M.E.; LEE, W.H.; RANDAL, A.A.; AMUNDSEN, T.J.; ZASTROW, D.J. **Dishwashing water recycling system and related water quality standards for military use.** *Science of the Total Environment*, v. 529, p. 275-284, 2015.

CIRILO, J. A. **Crise hídrica: desafios e superação.** *Revista USP*, n. 106, p. 45-58, 2015.

CLARK, G.G.; JAMAL, R.; WEIDHASS, J. **Roofing material and irrigation frequency influence microbial risk from consuming homegrown lettuce irrigated with harvested rainwater.** *Science of the Total Environment*, v. 651, p. 1011-1019, 2019.

COSTA, M. T. V.; SILVA, D. F.; AISSE, M. M.; ETCHEPARE, R. G. **Uma análise crítica sobre a regulamentação do reúso de água urbano para fins não potáveis no Brasil.** 31º Congresso da Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), 2021.

COSSIO, C.; PEREZ-MERCADO, L.F.; NORRMAN, J.; DALAHMEH, S.; VINNERAS, B.; MERCADO, A.; MCCONVILLE, J. **Impact of treatment plant management on human health and ecological risks from wastewater irrigation in developing countries - case studies from Cochabamba, Bolivia.** *International Journal of Environmental Health Research*, v. 31 (4), p. 355-373, 2021.

COURAULT, D.; ALBERT, I.; PERELLE, S.; FRAISSE, A.; RENAULT, P.; SALEMKOUR, A.; AMATO, P. **Assessment and risk modeling of airborne enteric viruses emitted from wastewater reused for irrigation.** *Science of the Total Environment*, v. 592, p. 512-526, 2017.

CUNHA, A.P.M.A.; ALVALA, R.C.S.; NOBRE, C.A.; CARVALHO, M.A. **Monitoring vegetative drought dynamics in the Brazilian Semiarid Region.** *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 214, p. 494-505. 2015.

DALAHMEH, S.S.; LALANDER, C.; PELL, M.; VINNERAS, B.; JONSSON, H. **Quality of greywater treated in biochar filter and risk assessment of gastroenteritis due to household exposure during maintenance and irrigation.**

Journal of Applied Microbiology, v. 121 (5), p. 1427-1443, 2016.

DAVIES, C.M.; MITCHELL, V.G.; PETTERSON, S.M.; TAYLOR, G.D.; LEWIS, J.; KAUCHNER, C.; ASHBOLT, N.J. **Microbial challenge-testing of treatment processes for quantifying stormwater recycling risks and management.** Water Science and Technology, v. 57, p. 843-847, 2008.

DIAS, E.; EBDON, J.; TAYLOR, H. **Estimating the concentration of viral pathogens and indicator organisms in the final effluent of wastewater treatment processes using stochastic modelling.** Microbial Risk Analysis, v. 11, p. 47-56, 2019.

DOGAN, O.B.; MENESES, Y.E.; FLORES, R.A.; WANG, B. **Risk-based assessment and criteria specification of the microbial safety of wastewater reuse in food processing: Managing Listeria monocytogenes contamination in pasteurized fluid milk.** Water Research, v. 171, 2020.

DONALD, M.; MENGERSEN, K.; TOZE, S.; SIDHUM J.P.S.; COOK, A. **Incorporating parameter uncertainty into Quantitative Microbial Risk Assessment (QMRA).** Journal of Water and Health, v. 9 (1), p. 10-26, 2011.

DONG, S.K.; LI, J.; KIM, M.H.; PARK, S.J.; EDEN, J.G.; GUEST, J.S.; NGUYEN, T.H. **Human health trade-offs in the disinfection of wastewater for landscape irrigation: microplasma ozonation vs. chlorination.** Water Research & Technology, v. 3 (1), p. 106-118, 2017.

ENDOCRINE SOCIETY. **Introduction to endocrine disrupting chemicals (EDCs) a guide for public interest organizations and policy-makers.** Washington, D.C.: Endocrine Society, 2012. 76 p. Disponível em: <https://www.endocrine.org/-/media/endosociety/files/advocacy-and-outreach/important-documents/introduction-to-endocrine-disrupting-chemicals.pdf>. Acesso em: 14 jul. 2022.

EREGNO, F.E.; MOGES, M.E.; HEISTAD, A. **Treated Greywater Reuse for Hydroponic Lettuce Production in a Green Wall System: Quantitative Health Risk Assessment.** Water, v. 9 (7), 2017.

ERSAR – ENTIDADE REGULADORA DOS SERVIÇOS DE ÁGUA E RESÍDUOS. **Reutilização de águas residuais.** In Série GUIAS TÉCNICOS (Vol. 14). Lisboa:

ERSAR, 2019.

ESPINOZA, R. F. **Rivalidade entre os polos: a construção discursiva do Conselho Mundial da Água**. Tese (Doutorado em Sociologia) – Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2016.

EZZAT, S.M. **Applying Quantitative Microbial Risk Assessment Model in Developing Appropriate Standards for Irrigation Water**. *Integrated Environmental Assessment and Management*, v. 16 (3), p. 353-361, 2020.

FAO. Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Fishery and Aquaculture Statistics. Statistiques des pêches et de l'aquaculture. Estadísticas de pesca y acuicultura 2017**. Roma, 2019.

FARHADKHANI, M.; NIKAEEN, M.; HADI, M.; GHOLIPOUR, S.; YADEGARFAR, G. **Campylobacter risk for the consumers of wastewater-irrigated vegetables based on field experiments**. *Chemosphere*, v. 251, 2020.

FERRER, A.; NGUYEN-VIET, H.; ZINSSTAG, J. **Quantification of Diarrhea Risk Related to Wastewater Contact in Thailand**. *Ecohealth*, v. 9 (1), p. 49-59, 2012.

FORSLUND, A.; BATTILANI, A.; ENSINK, J.H.J; MARCUSSEN, B.; GOLA, S.; SANDEI, L.; SOLIMANDO, D.; DALSGAARD, A. **Faecal Contamination and Health Aspects of Processing Tomatoes (*Solanum lycopersicum*) Irrigated with Wastewater Treated by Decentralised Wastewater Treatment Technologies**. 12º Simpósio Internacional no Processamento de Tomate, v. 971, p. 85-92, 2013.

FURIGO, R. F. R.; SAMORA, P. R. **O Fórum Mundial da Água e o FAMA: conflitos e perspectivas para o século XXI**. *Revista Paranaense de Desenvolvimento*, v. 40, n. 136, p. 31-45, 2019.

FLORENCIO, L; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. (coordenador). **Tratamento e utilização de esgotos Sanitários**. PROSAB –Edital IV. Recife: ABES, 2006. 427p.

GALE, P. **Land application of treated sewage sludge: quantifying pathogen**

risks from consumption of crops. Journal of Applied Microbiology. p. 380–396, 2005.

GAO, T.T.; CHEN, R.; WANG, X.C.; NGO, H.H.; LI, Y.Y.; ZHOU, J.H.; ZHANG, L. **Application of disease burden to quantitative assessment of health hazards for a decentralized water reuse system.** Science of the Total Environment, v. 551, p. 83-91, 2016.

GAO, T.T.; XU, P.C.; CHEN, R.; WANG, X.C.; DZKPASU, M. **Environmental risk assessment by using disability adjusted life year via constructing of a generalized linear model for morbidity estimation of waterborne pathogens.** Journal of Environmental Management, 2021.

GHOLIPOUR, S.; HOSSEINI, M.; NIKAEEN, M.; HADI, M.; SARDAMI, M.; SADERI, H.; HASSANZADEH, A. **Quantification of human adenovirus in irrigation water-soil-crop continuum: are consumers of wastewater-irrigated vegetables at risk?.** Environmental Science and Pollution Research, v. 29 (36), 2022.

GIL, T. et al. **A análise da disponibilidade de recursos hídricos na região metropolitana de Curitiba e a importância das indústrias em buscar fontes alternativas de captação de água.** Brazilian Journal of Development, 2020.

GODFREY, S.; SINGH, S.; LABHASETWAR, P.; DWIVEDI, H.B.; PARIHAR, G.; WATE, S.R. **Health-based targets for greywater reuse in residential schools in Madhya Pradesh, India.** Water and Environmental Journal, v. 24 (3), p. 215-222, 2010.

GOMES, A. S.; ANDRADE, J. B.; ANJOS, J. P.; GUERIEIRO, L. L. N. **Panorama Ambiental Hídrico no Brasil.** Anais... V Simpósio Internacional de Inovação e Tecnologia, Salvador, BA, 2019. 8 p.

GONCALVES, R. F.; MARTINELLI, G.; WANKE, R. **reúso de águas cinzas em edificações urbanas - Estudo de Caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ).** Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, v. 3, p. 120-131, 2010.

GONCALVES, R.F.; VAZ, L.D.; PERES, M.; MERLO, S.S. **Microbiological risk from non-potable reuse of greywater treated by anaerobic filters associated to vertical constructed wetlands.** Journal of Water Process Engineering, v. 39,

2021.

GONZALES-GUSTAVSON, E.; RUSINOL, M.; MEDEMA, G.; CALVO, M.; GIRO-
NES, R. **Quantitative risk assessment of norovirus and adenovirus for the use
of reclaimed water to irrigate lettuce in Catalonia.** Journal of Water Research,
v. 153, p. 91-99, 2019.

HAAS, Charles N; ROSE, Joan B.; GERBA, Charles P. **Quantitative Microbial
Risk Assessment.** 1^a ed. Wiley, 2004. 440 p.

HACHICH, E.M.; GALVANI, A.T.; PADULA, J.A.; STOPPE, N.C.; GARCIA, S.C.;
BONANNO, V.M.S.; BARBOSA, M.R.F.; SATO, M.I.Z. **Pathogenic parasites and
enteroviruses in wastewater: support for a regulation on water reuse.** Water
Science and Technology, v. 67 (7), p. 1512-1518, 2013.

HAMILTON, A.J.; STAGNITTI, F.; PREMIER, R.; BOLAND, A.M. **Is the risk of
illness through consuming vegetables irrigated with reclaimed wastewater
different for different population groups?.** WATER SCIENCE AND TECHNO-
LOGY, v. 54, n. 11, p. 379-386, 2006.

HAMILTON, A.J.; STAGNITTI, F.; PREMIER, R.; BOLAND, A.M.; HALE, G.
**Quantitative microbial risk assessment models for consumption of raw ve-
getables irrigated with reclaimed water.** Journal of Applied and Environmental
Microbiology, v. 72, n.5, p. 3284-3290, 2006.

HAMILTON, A.J.; STAGNITTI, F. **Deterministic versus stochastic quantitative
microbial risk assessment models for wastewater irrigation of food crops.**
Proceeding of the 50th International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops,
v. 792, 2008.

HASHEMI, S.Y.; SHAHMAHMOODI, S.; HADI, M.; NODEHI, R.N.; ALIMOHAM-
MADI, M.; NEJATI, A.; MESDAGHINIA, A. **Quantitative microbial risk asses-
sment of enteroviruses in raw-eatable vegetables irrigated by wastewater:
examining different scenarios of washing.** Journal of Environmental Health Sci-
ence and Engineering, v. 20 (2), p. 629-640, 2022,

HAJARE, R.; LABHASETWAR, P.; NAGARNAIK, P. **Evaluation of pathogen
risks using QMRA to explore wastewater reuse options: A case study from**

New Delhi in India. Water Science and Technology, v.83 (3), p. 543-555, 2021.

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano.** 1. ed. Minas Gerais: UFMG: [s.n.], 2006.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de Água no Brasil: Agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 7, n. 4, p. 75–95, out. 2002.

HOGLUND, C.; STENSTROM, T.A.; ASHBOLT, N. **Microbial risk assessment of source-separated urine used in agriculture.** WASTE MANAGEMENT RESEARCH, v. 20, n. 2, p. 150-161, 2002.

ITO, T.; KITAJIMA, M.; KATO, T.; ISHII, S.; SEGAWA, T.; OKABE, S.; SANO, D. **Target virus log(10) reduction values determined for two reclaimed wastewater irrigation scenarios in Japan based on tolerable annual disease burden.** Water research, v. 125, p. 438-448, 2017.

JAHNE, M.A.; BRINKMAN, N.E.; KEELY, S.O.; ZIMMERMAN, B.D.; WHEATON, E.A.; GARLAND, J.L. **Droplet digital PCR quantification of norovirus and adenovirus in decentralized wastewater and graywater collections: Implications for onsite reuse.** Water Research, v. 169, 2020.

JAHNE, M.A.; SCHOEN, M.E.; KAUFMANN, A.; PECSON, B.M.; OLIVIERI, A.; SHARVELLE, S.; ANDERSON, A.; ASHBOLT, N.J.; GARLAND, J.L. **Enteric pathogen reduction targets for onsite non-potable water systems: A critical evaluation.** Water Research, 2023.

JEFFREY, P.; YANG, Z.; JUDD, S.J. **The status of potable water reuse implementation.** Water Research, v. 214, maio 2022.

JIANG, S.C.; BISCHER, H.N.; GOEL, R.; ROSSO, D.; SCHERCHAN, S.P.; WHITESON, K.L.; YAN, T.; G, H.M. **Integrating Virus Monitoring Strategies for Safe Non-Potable Water Reuse.** Water - v. 14 (8), 2022.

JONES, C.H.; WYLIE, V.; FORD, H.; FAWELL, J.; HOLMER, M.; BELL, K. **A robust scenario analysis approach to water recycling quantitative microbial risk assessment.** Journal of Applied Microbiology, v. 134 (3), 2023.

JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 6^a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2011. 969 p.

JORDÃO, E.P e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 7^a ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014. 1087 p.

JÚNIOR, V.C.; ANDRADE, L.N.; BEZERRA, L.N.; GURJÃO, L.M. **Reúso de água em um sistema integrado com peixes, sedimentação, ostras e macroalgas**. Revista brasileira de engenharia agrícola ambiental, v.9, dez. 2005.

KARAVARSAMIS, N.; HAMILTON, A.J. **Estimators of annual probability of infection for quantitative microbial risk assessment**. Journal of Water and Health, v. 8 (2), p. 365-373, 2010.

KHAN, S.J.; ANDERSON, R. **Potable reuse: Experiences in Australia**. Current Opinion in Environmental Science & Health, v. 2, p. 55-60, abril de 2018.

KING, B.; FANOK, S.; PHILLIPS, R.; LAU, M.; van den AKKER, B.; MONIS, P. **Cryptosporidium Attenuation across the Wastewater Treatment Train: Recycled Water Fit for Purpose**. Applied and Environmental Microbiology, v. 83 (5), 2017.

KOBAYASHI, Y.; PETERS, G.M.; ASHBOLT, N.J.; HEIMERSSON, S.; SVANSTROM, M.; KHAN, S.J. **Global and local health burden trade-off through the hybridisation of quantitative microbial risk assessment and life cycle assessment to aid water management**. Water Research, v. 79, p. 26-38, 2015.

KONGPRAJUG, A.; DENPETKUL, T.; CHYERACHANA, N.; MONGKOLSUK, S.; SIRIKANACHANA, K. **Human Fecal Pollution Monitoring and Microbial Risk Assessment for Water Reuse Potential in a Coastal Industrial-Residential Mixed-Use Watershed**. Frontiers in Microbiology, v. 12, 2021.

KOZAK, S.; XIE, G.; LEUSCHM F.; ROIKO, A. **The value of stochastic modelling for the characterisation of maturation pond performance and health risk assessment of effluent reuse options**. Congresso Internacional de Modelagem e Simulação, 21^a ed., p. 2500-2506, 2015.

KUSUMAWARDHANA, A.; ZLATANOVIC, L.; BOSCH, A.; van der HOEK, J.P. **Microbiological Health Risk Assessment of Water Conservation Strategies: A Case Study in Amsterdam.** International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18 (5), 2021.

LAGOS-CABRÉ, R.; MORENO, R. D. **Contribution of environmental pollutants to male infertility: a working model of germ cell apoptosis induced by plasticizers.** Biological Research, v. 45, n. 1, p. 5-14, 2012.

LEE, K.; WENDY, J. **Drivers and barriers to urban water reuse: A systematic review.** Water Security, v. 11, dez. 2020.

LEGNER, C. **Reúso de água e seus benefícios para a indústria e meio ambiente** Revista TAE, n. 12, 2013. Disponível em: <http://www.revistatae.com.br/artigos.asp?id=138fase=c>. Acesso em: 12 jul. 2022.

LEITE, D.B.P.; MORUZZI, R.B. **Considerations on the maximum permitted values (VMP) of E. coli for grey water reuse by means of quantitative risk assessment of microbiology (QRMA).** Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 22 (1), p. 57-64, 2017.

LIM, K.Y.; HAMILTON, A.J.; JIANG, S.C. **Assessment of public health risk associated with viral contamination in harvested urban stormwater for domestic applications.** Science of the Total Environment, v. 523, p. 95-108, 2015.

LIM, K.Y.; WU, Y.W.; JIANG, S.C. **Assessment of Cryptosporidium and norovirus risk associated with de facto wastewater reuse in Trinity River, Texas.** Journal of Microbial Risk Analysis, v.5, n.0, p. 15-24, dez. 2017.

LIMA, M. A. M.; SANTOS, A. S. P.; VIEIRA, J. M. P. **Irrigação com água de reúso no Brasil: aplicação do modelo semiquantitativo de avaliação de risco microbiológico para saúde humana.** GESTA, v. 9, n. 2, p. 71-86, 2021.

LINHARES, A.C. **Norovírus: uma visão geral.** Revista da Sociedade Médica Brasileira, v.57, n.4, 2021.

LIPPI, M.; SAMPAIO, R.; CHATAQUE, M.F.S.; LERMONTOV, A.; JUNIOR, W.R. **AVALIAÇÃO DE UM TESTE PILOTO COM TECNOLOGIA DE ULTRAFILTRAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA DE REUSO EM**

UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO COM TRATAMENTO TERCIÁRIO. 32º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2023.

LIU, P.; LI, Z.H.; CHE, Z.F.; HU, X.R.; YING, M.; REN, H.Q.; ZHANG, X.X. **Prevalence of common enteric viruses in municipal wastewater treatment plants and their health risks arising from wastewater reuse.** Bluee-green Systems, v. 3 (1), p. 95-106, 2021.

LIU, S.; PERSSON, K.M.; LIU, SHUANG. **Estimating microbial risk in treated wastewater for reuse: a case study in Lund, Sweden.** Journal of Water Reuse and Desalination, v. 4 (4), p. 263-275, 2014.

LOPES, S.R. **A utilização do reúso de efluente industrial: uma análise do impacto no consumo de água na cervejaria no Brasil.** 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2022.

LOPEZ-GALVEZ. F.; TUDELA, J.A.; GIL, M.I.; ALLENDE, A. **Use of Chlorine Dioxide to Treat Recirculated Process Water in a Commercial Tomato Packinghouse: Microbiological and Chemical Risks.** Frontiers in Sustainable Food Systems, v. 4, 2020.

MACEDO, J. A. B. **Águas Águas.** 3. ed. [S.l.: s.n.], 2007.

MADDOCKS, A.; YOUNG, R. S.; REIG, P. **Ranking the World's Most Water-Stressed Countries in 2040.** World Resources Institute, 2015. Disponível em: <http://www.wri.org/blog/2015/08/ranking-world%E2%80%99s-most-water-stressed-countries-2040>. Acesso em: 10 jul. 2022.

MALINOWSKI, A. **Aplicação de metodologia para a estruturação de diretrizes para o planejamento do reúso de água no meio urbano.** Dissertação de Mestrado - Universidade Federal do Paraná, Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, 2006.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS H. F. **Reúso de Água.** Barueri: Manole, 2003. Acesso em: 14 jul. 2022.

MASCIOPINTO, C.; YURRO, M.; LORUSSO, N.; SANTORO, D.; HAAS, C.N. **Ap-**

plication of QMRA to MAR operations for safe agricultural water reuses in coastal areas. *Water Research*, v. 8, 2020.

MASSIOT, G.; COURAULT, D.; JACOB, P.; ALBERT, I. **Monitoring the risk of Legionella infection using a general Bayesian network updated from temporal measurements in agricultural irrigation with reclaimed wastewater.** *Environmental Science - Water Search & Technology*, v. 9 (1), p. 176-192, 2022.

MELO, M. C.; PEREIRA SANTOS, A. S. .; PINHEIRO SANTOS, . N. A. .; MAGALHÃES DE ARAÚJO, B.; ROSA SILVA DE OLIVEIRA, J.; RIBEIRO CAMPOS, A. **EVALUATION OF POTENTIAL USE OF DOMESTIC TREATED EFFLUENTS FOR IRRIGATION IN AREAS SUBJECT TO CONFLICTS OVER WATER USE IN PARACATU RIVER BASIN .** *Caminhos de Geografia*, [S. l.], v. 21, n. 75, p. 52–63, 2020.

METCALF EDDY, Inc. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** 4 ed. Nova York, USA: McGraw-Hill Higher Education, 2003.

MINAS GERAIS. CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. **Deliberação Normativa CERH-MG nº 65 de 18 de junho de 2020.** Estabelece diretrizes, modalidades e procedimentos para o reúso direto de água não potável, proveniente de Estações de Tratamento de Esgotos Sani- tários (ETE) de sistemas públicos e privados e dá outras providências. Minas Gerais, 2020.

MOAZENI, M.; NIKAEEN, M.; HADI, M.; MOGHIM, S.; MOUHEBAT, L.; HATAMZADEH, M.; HASSANZADEH, A. **Estimation of health risks caused by exposure to enteroviruses from agricultural application of wastewater effluents.** *Water Research*, v. 125, p. 104-1143, 2017.

MOHR, M.; DOCKHORN, T.; DREWES, J.E.; KARWAT, S.; LACKNER, S.; LOTZ, B.; NAHRSTEDT, A.; NOCKER, A.; SCHARAMM, E.; ZIMMERMANN, M. **Assuring water quality along multi-barrier treatment systems for agricultural water reuse.** *Journal of Water Reuse and Desalination*, v. 10 (4), p. 332 - 346, 2020.

MOK, H.F.; HAMILTON, A.J. **Exposure Factors for Wastewater-Irrigated Asian Vegetables and a Probabilistic Rotavirus Disease Burden Model for Their Consumption.** *Risk Analysis*, v. 34 (4), p. 602-613, 2014.

MOK, H.F.; HAMILTON, A.J.; BARKER, S.F.. **A probabilistic quantitative microbial risk assessment model of norovirus disease burden from wastewater irrigation of vegetables in Shepparton, Australia.** *Water Research*, v. 54, p. 347-364, 2014.

MORI, J.; SMITH, R.L. **Risk of Legionellosis in residential areas around farms irrigating with municipal wastewater.** *Risk Analysis*, 2022.

MOURA, P. G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.; SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO-MARTINS, A. **Água de reúso: uma alternativa sustentável para o Brasil.** *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 25, n. 6, p. 791-808, 2020.

MUKHERJEE, M.; JENSEN, O. **Making water reuse safe: A comparative analysis of the development of regulation and technology uptake in the US and Australia.** *Safety Science*, v. 121, p. 5-14, 2020.

MUNOZ, I.; TOMAS, N.; MAS, J.; GARCIA-REYES, J.F.; MOLINA-DIAZ, A.; FERNANDEZ-ALBA, A.R. **Potential chemical and microbiological risks on human health from urban wastewater reuse in agriculture. Case study of wastewater effluents in Spain.** *Journal of Environmental Science and Health*, v. 45(4), p. 300-309, 2010.

MURPHY, H.M.; MENG, Z.; HENRY, R.; DELETIC, A.; MCCARTHY, D.T. **Current Stormwater Harvesting Guidelines Are Inadequate for Mitigating Risk from Campylobacter During Nonpotable Reuse Activities.** *Environmental Science & Technology*, v. 51 (21), 2017.

NAVARRO, I.; JIMENEZ, B. **Evaluation of the WHO helminth eggs criteria using a QMRA approach for the safe reuse of wastewater and sludge in developing countries.** *Water Science and Technology*, v. 63 (7), p. 1499-1505, 2011.

NAHIM, S.G.; MARTINEZ, A.B.P; RIVAS, G.I; PLAZA, P.B.; OLLER, I.; MALATO, S.; PEREZ, J.A.S.; AGUERAM A.; POLO, M.I.L. **Solar processes and ozonation for fresh-cut wastewater reclamation and reuse: Assessment of chemical, microbiological and chlorosis risks of raw-eaten crops.** *Water Research*, v. 203, 2021.

NOBRE,C.,MARENGO,J.,SELUCHI,M.,CUARTAS,L.andALVES,L. **Some Characteristics and Impacts of the Drought and Water Crisis in Southeastern Brazil during 2014 and 2015**. Journal of Water Resource and Protection, v.8 ,p. 252-262, 2016.

OECD – ORGANIZATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. **OECD Environmental Outlook to 2050: the consequences of inaction**. Paris: OECD Publishing, 2012. 349 p.

OKUBO, T.; IGUCHI A.; TANAKA, S.; UCHIDA, S.; TAGAWA, T.; OSHIKI, M.; ARAKI, N.; TAWFIK, A.; TAKAHASHI, M.; KUBOTA, K.; HARADA, H.; UEMURA, S. **Health Impact of Agricultural Drainage Water for Farmers in the West Nile Delta**. International Journal of Environmental Research, v. 13 (2), p. 319-325, 2019.

OLIVEIRA, J.L.M.; GIL, A.D.; SANTOS, A.M.F.; FELISMINO, T.R.; SARON, A. **Projeto básico de estação de tratamento de água para reúso de efluente da lavagem de veículos em lava-rápido**. Caderno Técnico Engenharia Sanitária Ambiental, v. 3, n. 1, p. 39-48, 2023.

OMS. Organização Mundial de Saúde. **Potable Reuse: Guidance for producing safe drinking-water**. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2017. 152 p.

OMS. Organização Mundial de Saúde. **Quantitative microbial risk assessment: application for water safety management**. Geneva, Switzerland: World Health Organization. 2016. 187 p.

OTTOSON, J; STENSTROM, T.A.. **Faecal contamination of greywater and associated microbial risks**. Journal of Water Research, v.37, n.3, p. 645-655, 2003.

PAGE, D.; DILLON, P. **Microbiological risks of recycling urban stormwater via aquifers**. Water Science and Technology, v. 65 (9), p. 1692-1695, 2012.

PAGE, D.; DILLON, P.; TOZE, S.; BIXIO, D.; GENTHE, B.; CISNEROS, B.E.J.; WINTGENS, T. **Valuing the subsurface pathogen treatment barrier in water recycling via aquifers for drinking supplies**. Water Reseach, v. 44 (6), p. 1841-1852, 2010.

PAGE D.; SIDHU, J.P.S.; TOZE, S. **Microbial risk reduction of withholding periods during public open space irrigation with recycled water.** Urban Water Journal, v. 12 (7), p. 581-587, 2015.

PAGE D.; DILLON, P.; SIDHU, J.P.S.; TOZE, S.; TORKZABAN, S. **Assessment of treatment options of recycling urban stormwater recycling via aquifers to produce drinking water quality .**Urban Water Journal, v. 13 (6), p. 657-662, 2016.

PAGE, D.W.; BARRY, K.; GONZALEZ, D.; KEEGAN, A.; DILLON, P. **Reference pathogen numbers in urban stormwater for drinking water risk assessment.** Journal of Water Reuse and Desalination, v. 6 (1), p. 30-39, 2016.

PANAGIOTOU, C.F.; STEFAN, C.; PAPANASTASIOU, P.; SPRENGER, C. **Quantitative microbial risk assessment (QMRA) for setting health-based performance targets during soil aquifer treatment.** Environmental Science and Pollution Research, v. 30 (6), 2023.

PAPADOPOULOS, T.; ALLENDE, A.; EGEEA, J.A.; GOMEZ, A.P.; ESCAMEZ, P.S.F. **Training in tools to develop quantitative risk assessment of fresh produce using water reuse systems in Mediterranean production.** ESFA Journal - v. 20, 2022;

PARANÁ. SECRETARIA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL. **Minuta de Resolução - Reúso de Água**, 2023. Disponível em: <https://www.sedest.pr.gov.br/Pagina/Convocacoes>. Acesso em: 21 jun. 2023.

PASCHOALATO, C. F. P. R.; MELLIS, G. V.; CIRINO, T. M. A. **O Enquadramento legal específico para o reúso de águas residuárias de ETE frente ao CONAMA 20.** In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL, 29, 2004.

PASIN, D. B. **Avaliação quantitativa de riscos microbiológicos (AQRM) associados à E. coli em águas cinza.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Bauru, São Paulo, 2013.

PECSON, B.; KAUFMANN, A.; SHARVELLE, S.; POST, B.; LEVERENZ, H.; ASHBOLT, N.; OLIVIERI, A. **Risk-based treatment targets for onsite non-potable**

water systems using new pathogen data. Journal of Water and Health, v. 20 (10), 2022.

PECSON, B.M.; TRIOLO, S.C.; OLIVIERI, S.; CHEN, .C.; PISARENKO, A.N.; YANG, C.C.; OLIVIERI, A.; HAAS, C.N.; TRUSSELL, R.S.; TRUSSELL, R.R. **Reliability of pathogen control in direct potable reuse: Performance evaluation and QMRA of a full-scale 1 MGD advanced treatment train.** Water Reseach, v. 122, p. 258-268, 2017.

PETTERSON, S.R.; ASHBOLT, N.J.; SHARMA, A. **Microbial risks from wastewater irrigation of salad crops: A screening-level risk assessment.** Water Environmental Reseach, v.73, p. 667-672, 2001.

PINTO, H. S.; FARIA, I. D.; BAPTISTA, R.; KASSMAYER, K.; ABBUD, A.; PINTO, V. C. **A Crise Hídrica e suas Consequências.** Núcleo de Estudo e Pesquisas, Senado Federal, 2014. 32 p.

PORTER, A.L. **How tech mining can enhance RD management.** Research Technology Management, n.50 v. 2, 15 p., 2007.

PROLAGOS. **Estação de tratamento de Água de Reúso (ETAR).** 2015. Disponível em: <https://www.prolagos.com.br/esgotamento-sanitario>. Acesso em: 13 jul. 2022.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO. Ministério da Ciência e Tecnologia (2006). Diretriz técnica, 2006.

PURNELL, S.; HALLIDAY, A.; NEWMAN, F.; SINCLAIR, C.; EBDON, J. **Pathogen infection risk to recreational water users, associated with surface waters impacted by de facto and indirect potable reuse activities.** Science of the Total Environment, v. 722, 2020.

RACHMADI, A.T.; AZIZKHAN, Z.M.; HONG, P.Y. **Enteric virus in reclaimed water from treatment plants with different multi-barrier strategies: Trade-off assessment in treatment extent and risks.** Science of the Total Enviroment, v. 776, 2021.

RAMOS, A. G. B. **O panorama hídrico do Brasil e a ambiguidade de soluções:**

direitos humanos, participação popular e a experiência da América Latina. Revista Eletrônica Direito e Política, v. 10, n. 2, p. 704-727, 2015. Disponível em: www.univali.br/direitoepolitica. Acesso em: 13 jul. 2022.

REBOUÇAS, L. et al. **Crescimento do feijão-caupi irrigado com água residuária de esgoto doméstico tratado.** Revista Caatinga, v. 23, n. 1, p. 97-102, jan. 2010.

REIS, D. I.; QUEVEDO, D. M.; NAIME, R. H. **Gestão de recursos hídricos: panorama mundial, brasileiro e desafios institucionais.** Anais... XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, Bento Gonçalves, RS, ISSN 2318-0358, 2013. 8 p.

REIS, R. P. A.; FLEURY, G. C. E.; CUBA, R. M. F. **Saneamento Básico Rural, 2 Tecnologias sociais de saneamento rural,** Tema 6, Conservação da água. SanRural - Saneamento e Saúde Ambiental Rural, Universidade Federal de Goiás, 2013.

REGO, J. de L. et al. **Uso de esgoto doméstico tratado uso de esgoto doméstico tratado na irrigação da cultura da melancia.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, p. 155-159, 2005.

REZENDE, Lucas Ávila. **Sistema de recirculação de água para piscicultura urbana (Tilápia do Nilo).** Orientador: Eleonora D'Avila Erbesdobler. 2021. 23f. Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Centro Universitário do Planalto Central Aparecido dos Santos, Faculdade de Medicina Veterinária, 2021.

REMY, C.; SEIS, W.; MIEHE, U.; ORSONI, J.; BORTOLI, J. **Risk management and environmental benefits of a prospective system for indirect potable reuse of municipal wastewater in France.** Water Supply, v. 19 (5), p. 1533-1540. 2019.

RHEE, H.P.; YOON, C.G.; SON, Y.K; JANG, J.H. **Quantitative risk assessment for reclaimed wastewater irrigation on paddy rice field in Korea.** Paddy and Water Environment, v. 9 (2), p. 183-191, 2011.

RIBEIRO, W. C.; SANTOS, S. L. S.; SILVA, L. P. B. **Conflito pela água, entre a escassez e a abundância: Marcos teóricos.** Ambientes, v. 1, n. 2, p. 11-37, 2019.

RIO GRANDE DO SUL. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONSEMA nº 419 de 13 de fevereiro de 2020.** Estabelece critérios e procedimentos para a utilização não potável de água de reúso proveniente de efluentes líquidos tratados de origem industrial ou sanitário, para fins urbanos, industriais, agrícolas e florestais, no Estado do Rio Grande do Sul. Rio Grande do Sul, 2020.

SAKS, F. C. (2005). **Busca booleana: Teoria e prática.** Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2005.

SALES, W. B.; TUNALA, J. F.; VASCO, J. F. M.; RAVAZZANI, E. D. A. **Ocorrência de Coliformes Totais e Termotolerantes em pastéis fritos vendidos em bares no centro de Curitiba-PR.** DEMETRA: Alimentação, Nutrição Saúde, v. 10, n. 1, p. 77-85, 2015.

SALES-ORTELLS, H.; FERNANDEZ-CASSI, X.; TIMONEDA, N.; DURING, W.; FIRONES, R.; MEDEMA, G. **Health risks derived from consumption of lettuces irrigated with tertiary effluent containing norovirus.** Food Research International, v. 68, p. 70-77, 2015.

SANCHEZ, L.H.G.; SHIAU, H.; BAKER, J.M.; SAAYBI, S. **A Case Series of Children with Acute Hepatitis and Human Adenovirus Infection.** The New England Journal of Medicine, 2022.

SANTOS, A.S.P; LIMA, M.A.M. **Nota Técnica 2 - Aspectos legais relacionados a águas de reúso como diretriz de institucionalização da prática no Brasil.** Cadernos Técnicos Eng. Sanit. Ambient., v.2, n. 3, p. 15-27, 2022.

SANTOS, S.A.R; KOLICHESKI, M.B; GARCIA, L.V.; AMARAL, K.J.; MENZEL, U.B. **Reúso de água: estudo de caso em uma fábrica de cabines de caminhões.** Revista DAE, v. 67, n. 217, p. 60-74, maio 2019.

SÃO PAULO. Resolução Conjunta SES/SIMA nº 01 de 13 de fevereiro de 2020. **Disciplina o reúso direto não potável de água, para fins urbanos, proveniente de Estações de Tratamento de Esgoto Sanitário e dá providências correlatas.** São Paulo, 2020.

SCHIAVO, M. **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento.** Porto Alegre: [s.n.], 2007.

SCHOEN, M.E.; JAHNE, M.A.; GARLAND, J.L. **Human health impact of non-potable reuse of distributed wastewater and greywater treated by membrane bioreactors.** *Microbial Risk Analysis*, v. 9, p. 72-81, 2018.

SCHOEN, M.E.; JAHNE, M.A.; GARLAND, J.L. **Human Health Impact of Cross-Connections in Non-Potable Reuse Systems.** *Water*, v. 10 (10), 2018.

SCHOEN, M.E.; JAHNE, M.A.; GARLAND, J.L. **A risk-based evaluation of on-site, non-potable reuse systems developed in compliance with conventional water quality measures.** *Journal of Water and Health*, v. 18, n.3, p. 331-334, 2020.

SCHOEN, M.E.; JAHNE, M.A.; GARLAND, J.L. **Enteric Pathogen Treatment Requirements for Nonpotable Water Reuse Despite Limited Exposure Data.** *Environmental Science & Technology Letters*, v. 7 (12), p. 943-947, 2020.

SCHOEN, M.E.; JAHNE, M.A.; GARLAND, J.L.; RAMIREZ, L.; LOPATKIN, A.J.; HAMILTON, K.A. **Quantitative Microbial Risk Assessment of Antimicrobial Resistant and Susceptible Staphylococcus aureus in Reclaimed Wastewaters.** *Environmental Science & Technology*, v. 55 (22), 2021.

SCRUGGS, C.E.; PRATESI, C.B.; FLECK, J.R. **Direct potable water reuse in five arid inland communities: an analysis of factors influencing public acceptance.** *Journal of Environmental Planning and Management*, v. 63 (8), p. 1470-1500, out. 2020.

SEIDU, R.; HEISTAD, A.; AMOAH, P., DRECHSEL, P.; JENSSEN, P.D.; STENSTROM, T.A. **Quantification of the health risk associated with wastewater reuse in Accra, Ghana: a contribution toward local guidelines.** *Journal of Water Health*. v. 6(4), p. 461–471, 2008.

SEIS, W.; ROUAULT, P.; MIEHE, U.; ten VELDHUIS, M.C.; MEDEMA, G. **Bayesian estimation of seasonal and between year variability of norovirus infection risks for workers in agricultural water reuse using epidemiological data.** *Journal of Water Research*, v. 224, 2022.

SHI, K.W.; WANG, C.W.; JIANG, S.C. **Quantitative microbial risk assessment of Greywater on-site reuse.** *Science of the Total Environment*, v. 635, p. 1507-

1519, 2018.

SHORT, M.D; AKKER, B. van den; MONIS, P.; DONNER, E. **Managing emerging pathogen risks in recycled water**. Microbiology Australia, 2022.

SHOUSHTARIAN, F.; NEGAHBAN-AZAR, M. **Worldwide regulations and guidelines for agricultural water reuse: a critical review**. Water, v. 12, n.971, 2020.

SIGNOR, R.S.; ASHBOLT, N.J. **Pathogen monitoring offers questionable protection against drinking-water risks: a QMRA (quantitative microbial risk analysis) approach to assess management strategies**. Journal of Water Science Technology, v.54, n.3, p. 261-268, 2006.

SILVA, C. H. R. T. **Recursos Hídricos e Desenvolvimento Sustentável no Brasil**. Boletim do Legislativo nº 23, de 2012. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/publicacoes/estudos-legislativos/tipos-de-estudos/outras-publicacoes/temas-e-agendas-para-o-desenvolvimento-sustentavel/recursos-hidricos-e-desenvolvimento-sustentavel-no-brasil>. Acesso em 12 ago. 2022.

SILVA, S.S. **Recuperação de área degradada no Semiárido Brasileiro utilizando água residuária num sistema agroflorestal**. Orientador: Dr. José Dantas Neto. 2019. 108 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, 2019.

SILVERMAN, A.I.; AKRONG, M.O.; AMOAH, P.; DRECHSEL, P.; NELSON, K.L. **Quantification of human norovirus GII, human adenovirus, and fecal indicator organisms in wastewater used for irrigation in Accra, Ghana**. Journal of Water and Health, v. 11 (3), p. 473-488, 2013.

SIMHON, A.; PILEGGI, V.; FLEMMING, C.A.; LAI, G. MANOHARAN, M. **Norovirus risk at a golf course irrigated with reclaimed water: Should QMRA doses be adjusted for infectiousness?**. Water Research, v.183, 2020.

SOLLER, J.A.; EFTIM, S.E.; NAPPIER, S.P. **Direct potable reuse microbial risk assessment methodology: Sensitivity analysis and application to State log credit allocations**. Water Research, v. 128, p. 286-292, 2018.

SOLLER, J.A.; EFTIM, S.E.; WARREN, I.; NAPPIER, S.P. **Evaluation of microbiological risks associated with direct potable reuse.** *Microbial Risk Analysis*, v. 5, p. 3-14, 2017.

SOUZA, A. S. **Avaliação do potencial para reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em uma edificação comercial de grande porte.** Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão, Sergipe, 2015.

SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, Belo Horizonte, 2014.

STEVENS, D.P.; SURAPANENI, A.; THODUPUNURI, R.; O’CONNOR, N.A.; SMITH, D. **Helminth log reduction values for recycling water from sewage for the protection of human and stock health.** *Water Reseach*, v. 125, p. 501-511, 2017.

STEVENS, D.P.; SURAPANENI, A.; DEERE, D.; O’CONNOR, N.; CROSBIE, N.; KEEGAN, A.; STACKPOLE, L.; ROBARDS, M. **The probability of cysticercus bovis detection in livestock from exposure to recycled water in non-endemic countries.** *Microbial Risk Analysis*, v. 18, 2021.

STOREY, M.V.; ASHBOLT, N.J. **A risk model for enteric virus accumulation and release from recycled water distribution pipe biofilms.** *3rd World Water Crongress: Efficient water sypply and water reuse*, v. 3, n. 3, p. 93-100, 2003.

SYMONDS, E.M.; VERBYLA, M.E.; LUKASIK, J.O.; KAFLE, R.C.; BREITBAR, M.; MIHELICIC, J.R. **A case study of enteric virus removal and insights into the associated risk of water reuse for two wastewater treatment pond systems in Bolivia.** *Water Research*, v. 65, p. 257-270, 2014.

SWYNGEDOUW, E. **United Nations Water Report 2012: depoliticizing water.** *Development and Change*, [s. 1.], v. 44, n. 3, p. 823-835, 2013.

TEIXEIRA, P.; DIAS, D.; COSTA, S.; BROWN, B.; SILVA, S.; VALERIO, E.; **Bacteroides spp. and traditional fecal indicator bacteria in water quality assesment - An integrated approach for hydric resources management in urban centers.** *Journal of Environmental Management*, v. 271, 2020.

TEUNIS, P.F.; HAVELAAR, A.H. **The Beta Poisson dose-response model is not a single-hit model.** *Journal of Risk Analysis*, v.20, n.4, p. 513-520, 2000.

THU, L.T.; PHUC, P.D.; ZURBRUGG, C.; TOAN, L.Q.; HUONG, N.M. TU, V.V.; HUNG, N.V. **Diarrhea risks by exposure to livestock waste in Vietnam using quantitative microbial risk assessment.** *International Journal of Public Health*, v. 62, p. 583-591, 2017.

TOZE, S.; BEKELE, E.; PAGE, D.; SIDHU, J.; SHACKLETON, M. **Use of static Quantitative Microbial Risk Assessment to determine pathogen risks in an unconfined carbonate aquifer used for Managed Aquifer Recharge.** *Water Research*, v. 44 (4), p. 1038-1049, 2010.

TROLDBORG, M.; DUCKETT, D.; ALLAN, R.; HASTINGS, E.; HOUGH, R.L. **A risk-based approach for developing standards for irrigation with reclaimed water.** *Water Research*, v. 126, p. 372-384, 2017.

UNA, Ryan; NAWAL, Hijjawi. **New developments in Cryptosporidium research.** *International Journal for Parasitology*, v. 45, n.6, p. 367-373, 2015.

VARELA, M.F.; OUARDANI, I.; KATO, T.; KADOYA, S.; AOUNI, M.; SANO, D.; ROMALDE, J.L. **Sapovirus in Wastewater Treatment Plants in Tunisia: Prevalence, Removal, and Genetic Characterization.** *Applied and Environmental Microbiology*, v. 84 (6), 2018.

VELA. **Tratamento de esgoto sanitário em reator aneróbio operado em bateladas sequenciais e periodicamente aerado.** Tese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, 2006.

VENANCIO, D. F. V.; SANTOS, R. M.; CASSARO, S.; PIERRO, P. C. C. **A crise hídrica e sua contextualização mundial.** *Enciclopédia Biosfera*, v. 11, n. 22, p. 1, 2015.

VERBYLA, M.E.; SYMONDS, E.M.; KAFLE, R.C.; CAIRNS, M.R.; IRIARTE, M.; GUZMAN, A.M.; CORONADO, O.; BREITBART, M.; LEDO, C.; MIHELICIC, J.R. **Managing Microbial Risks from Indirect Wastewater Reuse for Irrigation in Urbanizing Watersheds.** *Environmental Science & Technology*, v. 50 (13), p. 6803-6813, 2016.

WESTER, J.; BROAD, K. **Direct potable water recycling in Texas: case studies and policy implications.** Journal of Environmental Policy Planning, v. 23 (1), p. 66-83, 2021.

WESTRELL, T.; SCHONNING C.; STENSTROM, T.A.; ASHBOLT, N.J. **QMRA (quantitative microbial risk assessment) and HACCP (hazard analysis and critical control points) for management of pathogens in wastewater and sewage sludge treatment and reuse.** Water Sci Technol. v.50(2); p. 23–30, 2004.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Quantitative Microbial Risk Assessment: Application for Water Safety Management.** WHO Press, p. 187. Geneva, Switzerland: WHO, 2016.

WORLD WATER ASSESSMENT PROGRAMME. **The United Nations World Water Development Report 2022: Groundwater: Making the invisible visible.** UNESCO, 2022. Disponível em: <http://unesdoc.unesco.org/images/0012/001295/129556e.pdf>. Acesso em: 11 jul. 2022.

YAPO, R.I.; KONE, B.; BONFOH B.; CISSE, G.; ZINSSTAG, J.; NGUYEN-VIET, H. **Quantitative microbial risk assessment related to urban wastewater and lagoon water reuse in Abidjan, Cote d'Ivoire.** Journal of Water and Health, v. 12 (2), p. 301-309, 2014.

YOSHIDA, N.D. **Análise Bibliométrica: Um estudo aplicado à previsão tecnológica.** Future Studies Research Journal. São Paulo, v. 2, n. 1, p. 52-84, jan./jun. 2010.

ZAHEDI, A.; GOFTON, A.; GREAY, T.; MONIS, P.; OSKAM, C.; BALL, A.; BATH, A.; WATSKINSON, A.; ROBERTSON, I.; RYAN, U. **Profiling the diversity of Cryptosporidium species and genotypes in wastewater treatment plants in Australia using next generation sequencing.** Science of the Total Environment, v. 664, p. 635-648, 2018.

ZANETI, R.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. **More environmentally friendly vehicle washes: water reclamation.** Journal of Cleaner Production, v. 37, p. 115-124, 2012.

ZHITENEVA, V.; HUBNER, U.; CARVAJAL, G.; DREWES, J.E. **Quantitative microbial risk assessment of a non-membrane based indirect potable water reuse system using Bayesian networks.** Science of the Total Environment, v. 780, 2021.

ZHITENEVA, V.; HUBNER, U.; NEDENAM G.J.; DREWESM J.E. **Trends in conducting quantitative microbial risk assessments for water reuse systems: A review.** Journal of Microbial Risk Analysis, n.16, 2020.

ZIMMER-FAUST, A.G.; THULSIRAJ, V.; LEE, C.M.; WHITENEVER, V.; RUGH, M.; MENDOZA-ESPINOSA, L.; JAY, J.A. **Multi-tiered approach utilizing microbial source tracking and human associated-IMS/ATP for surveillance of human fecal contamination in Baja California, Mexico.** Science of the Total Environment, v. 640, p. 475-484, 2018.

ANEXOS

A Artigos da pesquisa sobre a AQRM aplicada a águas de reúso

Tabela 9: Relação dos artigos com as modalidades de reúso abordadas

Artigo	Modalidade de Reúso
Petterson, S.R.; Ashbolt, N.J.; Sharma, A. (2001)	Agrícola
Hoglund, C.; Stenstrom, T.A.; Ashbolt, N. (2002)	Agrícola
Storey, M.V.; Ashbolt, N.J. (2003)	-
Ottoson, J.; Stenstrom, T.A. (2003)	Urbano não potável e reúso potável indireto
Westrell, T. et al. (2004)	Agrícola e urbano não potável
Hamilton, A.J. et al. (2006)	Agrícola
Hamilton, A.J. et al. (2006)	Agrícola
AN, Y.J. et al. (2007)	Agrícola
Davies, C.M. et al. (2008)	Urbano não potável
Hamilton, A.J.; Stagnitti, F (2008)	Agrícola
Seidu, R. et al. (2008)	Agrícola
Munoz, I. et al. (2010)	Agrícola
Karavarsamis, N.; Hamilton, A.J. (2010)	Agrícola
Toze, S. et al. (2010)	Potável indireto
Page, D. et al. (2010)	Potável indireto
Godfrey, S. et al. (2010)	Urbano não potável
Navarro, I.; Jimenez, B. (2011)	Agrícola
Donald, M. et al. (2011)	-
Rhee, H.P. et al. (2011)	Agrícola
Ayuso-Gabella, N. et al. (2011)	Agrícola e potável indireto
Agullo-Barcelo, M.; Casas-Mangas, R.; Lucena, F. (2012)	-
Page, D.; Gonzalez, D.; Dillon, P. (2012)	Potável indireto
Ferrer, A.; Nguyen-Viet, H.; Zinsstag, J. (2012)	Agrícola e urbano não potável
Zaneti, R.; Etchepare, R.; Rubio, J. (2012)	Urbano não potável
Hachich, E.M. et al. (2013)	-
Forslund, A. et al. (2013)	Agrícola

Artigo	Modalidade de Reúso
Silverman, A.I. et al. (2013)	Agrícola
Barker, S.F. et al. (2013)	Agrícola
Barker, S.F. et al. (2013)	Potável direto
Yapo, R.I. et al. (2014)	Urbano não potável
Liu, S.; Persson, K.M. (2014)	Agrícola
Mok, H.F.; Hamilton, A.J. (2014)	Agrícola
Barker, S.F. (2014)	Agrícola
Mok, H.F.; Barker, S.F.; Hamilton, A.J.	Agrícola
Symonds, E.M. et al. (2014)	Agrícola
Kozak, S. et al. (2015)	Agrícola
Amha, Y.M.; Kumaraswamy, R.; Ahmad, F. (2015)	Agrícola
Sales-Ortells, H. et al. (2015)	Agrícola
Al-Jassim, N. et al. (2015)	Agrícola
Lim, K.Y.; Hamilton, A.J.; Jiang, S.C. (2015)	Urbano não potável
Kobayashi, Y. et al. (2015)	Urbano não potável
Church, J. et al. (2015)	Urbano não potável
Page, D.; Sidhu, J.P.S.; Toze, S. (2015)	Urbano não potável
Busgang, A. et al. (2015)	Agrícola
Page, D. et al. (2015)	Urbano não potável e potável indireto
Beaudequin, D. et al. (2016)	Agrícola
Page, D. et al. (2016)	Potável e urbano não potável
Choi, J. et al. (2016)	Agrícola
Gao, T.T. et al. (2016)	Urbano não potável
Verbyla, M.E. et al. (2016)	Agrícola
Chen, R. et al. (2016)	Urbano não potável
Dalahmeh, S.S. et al. (2016)	Agrícola
Leite, D.B.P.; Moruzzi, R.B. (2017)	Agrícola e urbano não potável
Dong, S.K. et al. (2017)	Agrícola e urbano não potável
Chhipi-Shrestha, G.; Hewage, K.; Sadiq, R. (2017)	Agrícola e urbano não potável
Thu, L.T. et al. (2017)	Agrícola
King, B. et al. (2017)	-
Soller, J.A. et al. (2017)	Potável direto
Lim, K.Y.; Wu, Y.W.; Jiang, S.C. (2017)	Potável de facto
Beaudequin, D. et al. (2017)	Urbano

Artigo	Modalidade de Reúso
Chaudhry, R.M. et al. (2017)	Potável de facto
Eregno, F.E.; Moges, M.E.; Heistad, A. (2017)	Agrícola
Amoueyan, E. et al. (2017)	Potável de facto
Courault, D. et al. (2017)	Agrícola
Pecson, B.M. et al. (2017)	Potável direto
Murphy, H.M. et al. (2017)	Urbano não potável
Stevens, D.P. et al. (2017)	-
Blanky, M. et al. (2017)	Urban não potável
Ito, T. et al. (2017)	Agrícola
Moazeni, M. et al. (2017)	Agrícola
Troldborg, M. et al. (2017)	Agrícola
Soller, J.A.; Eftim, S.E.; Nappier, S.P. (2018)	Potável direto
Varela, M.F. et al. (2018)	Agrícola
Busgang, A. et al. (2018)	Agrícola
Schoen, M.E.; Jahne, M.A.; Garland, J. (2018)	Urbano não potável
Shi, K.W.; Wang, C.W.; Jiang, S.C. (2018)	Agrícola e urbano não potável
Schoen, M.E.; Jahne, M.A.; Garland, J.L. (2018)	Urbano não potável
Zimmer-Faust, A.G. et al. (2018)	Agrícola e potável indireto
Chandrasekaran, S.; Jiang, S.C. (2018)	Agrícola
Zahedi, A. et al. (2018)	-
Clark, G.G.; Jamal, R.; Weidhaas, J. (2019)	Agrícola
Okubo, T. et al. (2019)	Agrícola
Dias, E.; Ebdon, J.; Taylor, H. (2019)	-
Gonzales-Gustavson, E. et al. (2019)	Agrícola
Amoueyan, E. et al. (2019)	Potável indireto e de facto
Remy, C. et al. (2019)	Potável indireto
Jahne, M.A. et al. (2020)	Urbano não potável
Dogan, O.B. et al. (2020)	Industrial
Amoueyan, E. et al. (2020)	Potável direto
Lopez-Galvez, F. et al. (2020)	Industrial
Ezzat, S.M. (2020)	Agrícola
Schoen, M.E.; Jahne, M.A.; Garland, J. (2020)	Urbano não potável
Purnell, S. et al. (2020)	Potável indireto e de facto
Arden, S. et al. (2020)	Urbano não potável
Farhadkhani, M. et al. (2020)	Agrícola

Artigo	Modalidade de Reúso
Masciopinto, C. et al. (2020)	Agrícola
Chacon, L. et al. (2020)	-
Simhon, A. et al. (2020)	Urbano não potável
Teixeira, P. et al. (2020)	Urbano não potável
Mohr, M. et al. (2020)	Agrícola
Schoen, M.E.; Jahne, M.A.; Garland, J. (2020)	Urbano não potável
Liu, P. et al. (2021)	Agrícola e urbano não potável
Hajare, R.; Labhasetwar, P.; Nagarnaik, P. (2021)	Agrícola, urbano não potável e industrial
Goncalves, R.F. et al. (2021)	Urbano não potável
Kusumawardhana, A. et al. (2021)	Urbano não potável
Kongprajug, A. et al. (2021)	Agrícola, urbano não potável e aquicultura
Cossio, C. et al. (2021)	Agrícola
Rachmadi, A.T.; Azizkhan, Z.M.; Hong, P.Y. (2021)	-
Zhiteneva, V. et al. (2021)	Potável indireto
Stevens, D. et al. (2021)	Agrícola
Nahim-Granados, S. et al. (2021)	Agrícola
Schoen, M.E. et al. (2021)	Urbano não potável
Gao, T.T. et al. (2021)	Urbano não potável
Mori, J.; Smith, R.L. (2022)	Agrícola
Short, M.D. et al. (2022)	-
Jiang, S.C. et al. (2022)	-
Papadopoulos, T. et al. (2022)	Agrícola
Chen, M.H. et al. (2022)	Urbano não potável
Gholipour, S. et al. (2022)	Agrícola
Pecson, B.M. et al. (2022)	Agrícola e urbano não potável
Seis, W. et al. (2022)	Agrícola
Bailey, E.S.; Sobsey, M.D. (2022)	Agrícola
Hashemi, S.Y. et al. (2022)	Agrícola
Massiot, G. et al. (2022)	Agrícola
Panagiotu, C.F. et al. (2023)	Agrícola
Jones, C.H. et al. (2023)	Potável indireto
Jahne, M.A. et al. (2023)	Agrícola e urbano não potável