EFEITOS NOCIVOS DOS TRIHALOMETANOS NA SAÚDE HUMANA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

THE HARMFUL EFFECTS OF TRIHALOMETHANES ON HUMAN HEALTH: AN INTEGRATIVE REVIEW

Camila Silva de Oliveira[1], Viviane Farias Silva[2], Vanessa Nóbrega da Silva[1], Pollyana Kécia Cordeiro Grangeiro[1], Maria do Carmo Pinto Lima[3]

1 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais - CTRN. Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN. Campina Grande, PB, Brasil.

2 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Unidade Acadêmica de Engenharia Florestal. Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN. Campina Grande, PB, Brasil.

3 Universidade Federal de Campina Grande – UFCG. Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos. Programa de Pós-Graduação stricto sensu em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais – PPGEGRN. Campina Grande, PB, Brasil.

Resumo

Introdução: a adoção do cloro e seus compostos nas estações de tratamento de água reduziu os casos de doenças de veiculação hídrica e melhorou a qualidade de vida da população. Porém, a água fornecida nas residências apresentava subprodutos de desinfecção, como os trihalometanos, relacionados a riscos cancerígenos, problemas respiratórios, gestacionais e reprodutivos. **Objetivo**: verificar os efeitos nocivos trihalometanos na saúde humana. **Metodologia:** foi realizada uma revisão integrativa nos bancos de dados da biblioteca virtual em saúde e do National Institute of Health, empregando os descritores: “Trihalomethanes” AND “Water supply”. Foram incluídos artigos publicados nos últimos cinco anos, em inglês e português. **Resultados:** após análise dos 88 artigos, encontrados inicialmente, apenas oito foram considerados para os resultados. Os principais subgrupos de trihalometanos gerados nas estações de tratamento de água foram clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio, e a exposição, em longo prazo, foi relacionada ao risco aumentado de câncer cerebral e de bexiga, além de parto prematuro. **Conclusão:** Os efeitos nocivos dos trihalometanos à saúde humana alertam para a importância de um controle operacional eficiente nas estações de tratamento de água e para a criação de alternativas tecnológicas que evitem esses subprodutos.

Palavras-chave: Trihalometanos; Meio ambiente e saúde pública; Estações de Tratamento de Água; Saneamento urbano.

Abstract

Introduction: the adoption of chlorine and its compounds in water treatment plants reduced cases of waterborne diseases and improved the population's quality of life. However, the water supplied to households presented disinfection by-products, such as trihalomethanes, associated with carcinogenic risks, respiratory, gestational, and reproductive problems. Objective: to verify the harmful effects of trihalomethanes on human health. Methodology: an integrative review was carried out using the databases of the Virtual Health Library and the National Institute of Health, employing the descriptors: "Trihalomethanes" AND "Water supply". Articles published in the last five years, in English and Portuguese, were included. Results: after analysis of the 88 articles initially found, only eight were considered for the results. The main subgroups of trihalomethanes generated in water treatment plants were chloroform, bromodichloromethane, dibromochloromethane, and bromoform, and long-term exposure was associated with an increased risk of brain and bladder cancer, in addition to preterm birth. Conclusion: the harmful effects of trihalomethanes on human health highlight the importance of efficient operational control in water treatment plants and the development of technological alternatives to prevent these by-products.

Keywords: Trihalomethanes; Environment and public health; Water Treatment Plants; Urban sanitation.

Recebido em: 06-10-2024 Publicado em: 25-11-2026

Autor correspondente
Camila Silva de Oliveira
Rua Josinaldo Faustino Vasconcelos, 215, Santa Cruz, 58417-060, Campina Grande Paraíba, Brasil.
E-mail: camila.oliveira.esa@gmail.com

1. Introdução

Desde os povos mais antigos, existe a consciência da importância da implementação de um saneamento adequado, pois está diretamente relacionado à transmissão de doenças de veiculação hídrica. Entretanto, somente no século XIX, com a Revolução Industrial e o aumento da concentração de residentes nas cidades, houve a elevação do número de pessoas doentes, devido à falta ou precariedade de sistemas sanitários. Esse fato tornou necessária a melhoria tanto dos costumes relacionados à higiene como dos sistemas sanitários, com o objetivo de reduzir a disseminação de epidemias[1].

A população mundial tem crescido a uma velocidade exponencial nas últimas décadas e a densidade urbana dobrou de 25% em 1950 para cerca de 50% em 2020, prevendo-se que aumente lentamente

para 58% ao longo dos próximos 50 anos. Dados recentes indicaram que metade da população mundial não tem acesso à água potável, saneamento e higiene. A Organização Mundial da Saúde (OMS) afirmou que, se o mundo for capaz de reverter este quadro, 1,4 milhão de vidas poderão ser salvas. De acordo com o levantamento, 69% de todas as mortes por diarreia em 2019 foram resultado da falta desses serviços básicos, o que representou mais de um milhão de vidas perdidas[2,3].

A Portaria de Consolidação N°888/2021 do Ministério da Saúde estabelece os requisitos do padrão de qualidade para a água potável, determinando a ausência de micro-organismos patogênicos. Para adequar-se aos parâmetros, a água bruta passa por uma sequência de processos físicos e químicos, ou até mesmo a combinação dos dois, com o intuito de torná-la apta para o abastecimento doméstico. Nas estações de tratamento de água (ETA), são realizados procedimentos no ciclo completo convencional para garantir a qualidade da água de abastecimento à comunidade: processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, desinfecção e fluoretação[4,5].

Porém, na etapa de filtração na ETA, a matéria orgânica dissolvida, que compreende moléculas menores que 0,45µm (carbono orgânico dissolvido, ácido húmico e ácido fúlvico) não pode ser efetivamente removida do tanque do filtro de areia. Esses componentes passam para a etapa de desinfecção com o cloro, onde reagem entre si, formando subprodutos de desinfecção que incluem substâncias prejudiciais à saúde, dentre elas os trihalometanos (THM)[6].

Ao longo dos anos, tem sido dada cada vez maior atenção aos riscos para a saúde humana decorrentes da presença dos THM no abastecimento de água. Os THM consistem em quatro compostos, clorofórmio (CHCl3), bromodiclorometano (CHBrCl2), dibromoclorometano (CHBr2Cl) e bromofórmio (CHBr3)[7].

Há uma associação consistente entre a exposição prolongada aos THM e câncer de cólon, reto, pâncreas, rim, cérebro, mama, esôfago e pulmão, além de leucemia, melanoma e câncer de pele não melanoma, o mais comum é o de bexiga. Esses autores também alertaram para outros problemas relacionados com a saúde da mulher, citando malefícios no período de gestação, diminuição na fecundabilidade, risco aumentado de aborto espontâneo, recém-nascidos com baixo peso, parto prematuro e malformação congênita, com influência significativa negativa na saúde da população[8].

Considerando que a desinfecção da água nas ETA é indispensável para combater doenças transmitidas pela presença de microrganismos e considerando a associação dos subprodutos dessa etapa com efeitos nocivos à saúde humana, torna-se importante o entendimento mais claro dos riscos de exposição aos subprodutos da desinfecção, em particular os THM. Nesse contexto, o estudo foi realizado com o objetivo de verificar os efeitos nocivos dos THM na saúde humana.

2. Metodologia

Trata-se de revisão integrativa, de caráter exploratório, descritivo e analítico, com abordagem quantitativa. As etapas de desenvolvimento do estudo incluíram: 1)

escolha do objeto de estudo; 2) mapeamento das produções acadêmicas existentes sobre o assunto; 3) seleção dos artigos que atendessem à temática do trabalho; 4) estudo do conteúdo dos artigos; 5) compreensão dos resultados apresentados; 6) elaboração do estudo.

Foi realizada busca de material nos bancos de dados eletrônicos, Biblioteca Virtual de Saúde (BVS) e National Institute of Health (NIH/PubMed), no mês de maio de 2024, empregando os seguintes descritores com o respectivo operador booleano: “Trihalomethanes” AND “Water supply”.

Como critérios de elegibilidade, foram considerados para a revisão estudos experimentais (ensaios clínicos randomizados, agrupados ou individuais e ensaios controlados não randomizados) e observacionais (corte transversal, coortes prospectivas ou retrospectivas e caso-controle), publicados na língua portuguesa ou inglesa, com textos completos e de acesso gratuito, nos últimos cinco anos. Foram excluídos da pesquisa os estudos do tipo opiniões, editoriais, revisões da literatura, cartas e resumos de conferências com abordagem qualitativa, incompletos e/ou repetidos nas bases de dados analisadas e aqueles que não estiveram de acordo com a proposta.

O conteúdo foi elaborado em consonância com o que determina a declaração Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses (PRISMA) de 2020, possibilitando descrever com clareza como a revisão foi concebida[9]. Além dos passos supracitados, foi confeccionado um quadro bibliográfico, contendo as informações acerca dos artigos: autor(es), ano, país, título, objetivo, tipo de estudo e resultados.

3. Resultados

Foram encontrados 79 artigos na BVS e 9 no PubMed, após a aplicação dos critérios de elegibilidade. Em seguida, foram excluídos quatro estudos por estarem duplicados nas bases de dados utilizadas, restando 84 artigos. Depois da leitura dos títulos e resumos, foram excluídos 72 estudos por não estarem relacionados ao tema da revisão. Os 12 artigos restantes foram lidos na íntegra, e foram excluídos quatro por não responderem à pergunta da pesquisa. Na amostra final, foram incluídos oito estudos. Os procedimentos foram descritos na Figura 1, de acordo com a orientação do PRISMA Flow Diagram.

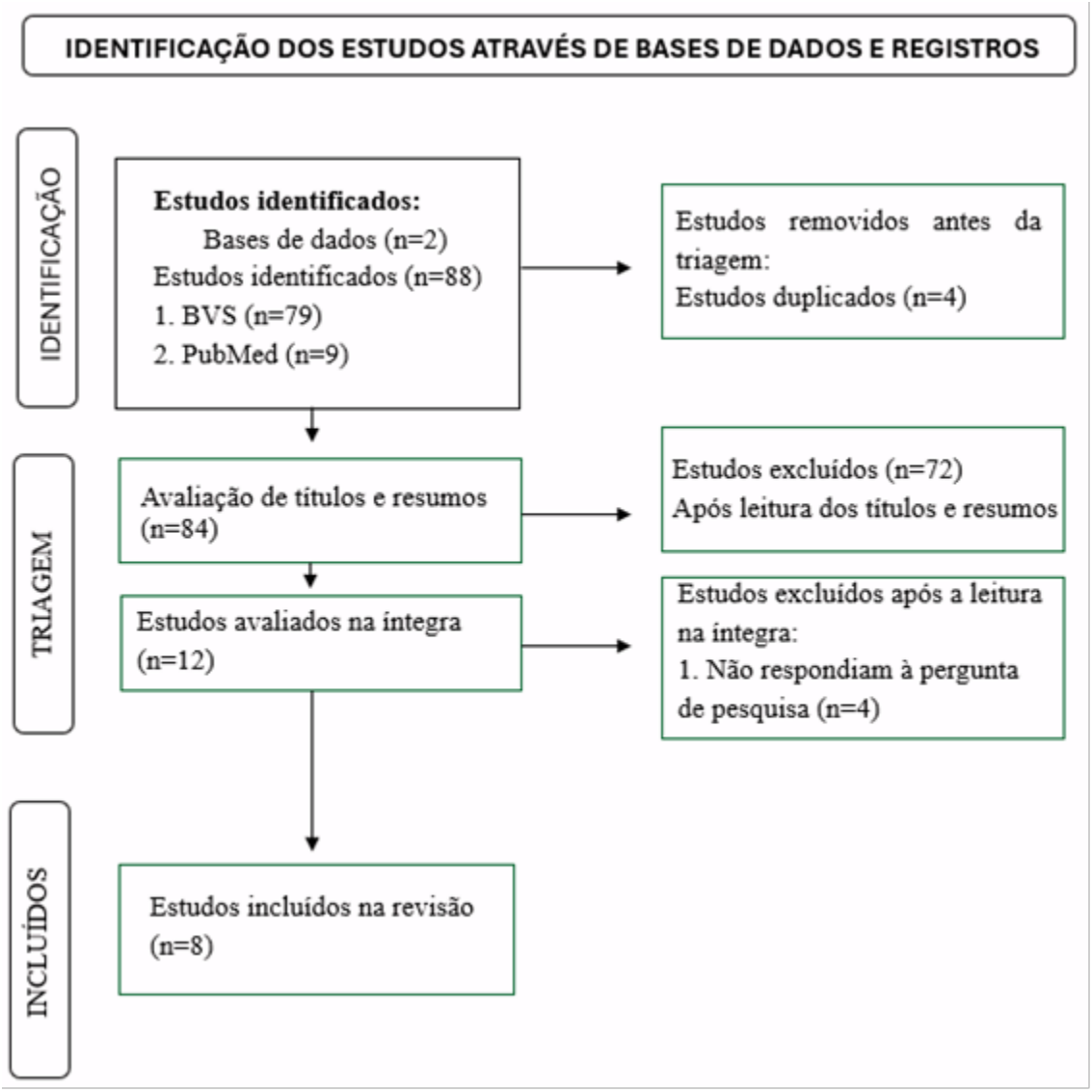

FIGURA 1 - Fluxograma de seleção dos estudos segundo critérios do PRISMA-ScR: Checklist and Explanation. Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 1, pode-se observar os artigos avaliados e incorporados nesta revisão integrativa contendo as informações sobre autor(es), ano de publicação, país, título dos artigos identificados, tipo de estudo, número de participantes ou amostras adicionadas à pesquisa e seus resultados (efeitos nocivos dos THM na saúde humana).

TABELA 1 - Caracterização dos estudos incluídos na revisão integrativa intitulada Trihalometanos e seus efeitos nocivos na saúde humana. Campina Grande/PB, Brasil, 2024.

Estudo/ País	Título	Objetivo	Tipo de Estudo	n	Efeitos nocivos dos THM na saúde humana

Zuthi et al., (2023)[10]/ Bangladesh.	Aplicação combinada do EPANET e modelo empírico para possível formação de trihalometanos na rede de distribuição de água da cidade de Chattogram para identificar zona de risco potencial para a saúde cancerígena	Avaliar riscos cancerígenos potenciais através da via de exposição múltipla da água fornecida devido à formação de THM na área estudada da cidade de Chattogram, Bangladesh.	Caso-controle	38	Houve risco carcinogênico associado ao THM na água de abastecimento de 5,39 × 10 − 4, 100 vezes maior do que as diretrizes da USEPA (1 × 10 – 6). O risco médio de câncer ao longo da vida para ingestão oral, inalação e dérmica de THM foi de 1,7 × 10 −4, 7,5 × 10 −6 e 2,0 × 10 −7, respectivamente.
Parveen e Goel, (2023)[11]/ Índia.	Avaliação do risco de câncer por trihalometano em residências privadas e compartilhadas: abordando as diferenças na exposição por inalação.	Determinar o risco de câncer da exposição ao THM para uma comunidade com dois tipos diferentes de residências: casas individuais equipadas com banheiros privativos e albergues onde os banheiros são comunitários. Investigar o efeito da duração do banho e da taxa de ventilação na exposição por inalação.	Coorte	20.000	A concentração de THM na água foi de 30,2 ± 14,4 µg L −1. Nos banheiros privativos e no chuveiro comunitário o RC total foi de 58,5 × 10 −6 e 59,6 × 10 −6, com risco de inalação de 1,1 × 10 −6 e 2,2 × 10 −6 (10° dia), respectivamente.
Nshemereirwe et al., (2022)[12]/ Uganda	Avaliação da formação e dos riscos para a saúde dos subprodutos da desinfecção no abastecimento de água potável da estação de	Avaliar o THM na água potável na estação de tratamento de água de Ggaba, ao longo do sistema de distribuição,	Transversal	132	O risco carcinogênico de THM devido à ingestão oral, dérmica e inalação foram de 2,5×10 −5, 9,1×10 −6 e 8,3×10 −6 para

	tratamento de água de Ggaba, Kampala, Uganda.	para avaliar a relação entre os parâmetros de qualidade da água e a formação de THM, e estimar os riscos potenciais à saúde associados ao THM na água potável.			mulheres e 2,4×10 −5, 1×10 −5 e 7,9×10 −6 para homens, com valores considerados de baixo risco pela USEPA (1×10 −6 < RC <5,1×10 −5).
Zumel-Marne et al., (2021)[13]/ Itália, Espanha e Coreia do Sul.	Exposição a trihalometanos e nitratos na água potável e o risco de tumores cerebrais em jovens.	Avaliar o papel da exposição (pré e pós-natal) a THM e nitratos na água da torneira no risco de tumores cerebrais no contexto internacional.	Caso-controle	475	Não houve risco aumentado de tumores cerebrais neuroepiteliais em relação à exposição a THM. A ingestão de THM foi sistematicamente abaixo de 1 [OR=0,37 (0,08-1,73)] para THM residenciais médios pós-natais superiores a 66µg/L.
Lewis et al., (2021)[14]/ Estados Unidos	Associações da exposição ao trihalometano no sistema público de água durante a gravidez com o nascimento prematuro espontâneo e o estado imune microbiano cervicovaginal	Investigar associações de níveis de THM na água com nascimento prematuro espontâneo, uma microbiota cervicovaginal não ideal e níveis de beta-defensina-2 em uma coorte completa e diversificada de gravidez urbana.	Coorte	2000	Não houve associação entre THM e parto prematuro espontâneo (OR 0,94, IC 95%: 0,66, 1,34) ou com microbiota cervicovaginal IV (escassez de Lactobacillus e ampla gama de anaeróbios) [OR 0,94, IC 95%: 0,86, 1,16]. Entretanto, o THM foi significativamente associado a níveis mais baixos de beta-defensina-2 entre não negros (β −0,75 [IC 95%: −1,43, −0,08]), mas não entre os

					negros (β 0,17 IC95%: −0,15; 0,49; p = 0,013).
Säve-Söderbergh et al., (2020)[15]/ Suécia.	Exposição a subprodutos da cloração da água potável e crescimento fetal e prematuridade: um estudo prospectivo baseado em registro nacional	Avaliar se a exposição gestacional aos quatro subprodutos de cloração mais comuns (trihalometanos totais) via água da torneira estava associada ao risco de parto pequeno para a idade gestacional, parto prematuro e parto muito prematuro.	Coorte	500.000	Houve associação de THM totais com aumento do risco de parto prematuro, limitado ao tratamento com hipoclorito, correspondendo a um OR ajustado multivariável de 1,20 (IC 95%) comparando THM totais da água potável >15μg para o não exposto.
Nadali et al., (2019)[16]/ Irã	A avaliação das concentrações de trihalometanos na água potável das cidades de Hamadan e Tuyserkan, oeste do Irã e seu risco à saúde da população exposta.	Calcular e avaliar os riscos potenciais de câncer ao longo da vida para os trihalometanos provenientes do consumo de água potável clorada nas cidades de Hamadan e Tuyserkan, oeste do Irã, em 2016-2017.	Transversal	72	O risco de câncer associado ao THM foi de 1,4× e 4,8× para homens e mulheres em Hamadan, respectivamente, e de 5,6× -2,26× em Tuyserkan.

Legenda: THM: trihalometanos; OR: Odds Ratio; β: beta-defensina-2; IC95%: Índice de Confiança de 95%, EPANET: software usado para a simulação do comportamento da qualidade da água nas redes de distribuição de água; RC: Risco de Câncer; USEPA: U.S. Environmental Protection Agency; n: tamanho da amostra. Fonte: Elaborado pelos autores.

Dos oito (100%) artigos analisados, um (12,5%) foi publicado no ano de 2019, um no ano de 2020 (12,5%), três (37,5%) em 2021, um (12,5%) em 2022 e dois em 2023 (25%). Desses, um foi conduzido em Bangladesh (12,5%), um na Índia (12,5%), um na Uganda (12,5%), um na Itália, Espanha e Coreia do Sul (12,5%), concomitantemente, um nos Estados Unidos (12,5%), um na Espanha (12,5%), um na Suécia (12,5%) e um no Irã (12,5%) (Tabela 1).

Os principais subgrupos de THM gerados nas estações de abastecimento de água,

descritos nos estudos, foram clorofórmio (CHCl3), bromodiclorometano (CHBrCl2), dibromoclorometano (CHBr2Cl) e bromofórmio (CHBr3). A maioria dos manuscritos selecionados relatou que a exposição em longo prazo aos THM por via oral, dérmica ou respiratória foi relacionada ao risco aumentado de câncer no decorrer da vida, especificamente os de cérebro e bexiga. Além disso, os THM foram associados, ainda, a efeitos nocivos à saúde da mulher em seu período gestacional, apresentando possibilidade de nascimento prematuro espontâneo.

4. Discussão

Apesar de milhões de pessoas em todo o mundo receberem água potável de qualidade diariamente, a desinfecção química nas ETA pode favorecer o potencial risco de câncer e de efeitos reprodutivos negativos, como foram observados em alguns estudos incluídos nesse estudo. A formação dos subprodutos de desinfecção ocorre quando o cloro, principal desinfetante usado, reage com a matéria orgânica natural, derivada da decomposição da vegetação terrestre, resultando em ácidos húmicos e fúlvicos. A maioria desses ácidos contém radicais cetonas, que após o contato com o cloro, podem causar a formação de químicos nocivos à saúde[17-21].

Contudo, uma quantidade mínima de cloro residual livre deve ser mantida em toda a rede de distribuição para permitir água segura contra contaminação microbiana patogênica, de acordo com a OMS, no entanto, manter o nível de cloro residual livre dentro de parâmetros recomendados, evitando a formação de THM, e monitorar a presença desse subproduto na rede de abastecimento de água é essencial para minimizar os efeitos adversos à saúde humana[10].

Além da reação do cloro com a matéria orgânica, são vários os fatores que interferem na formação dos subprodutos da cloração, como: tempo de contato, temperatura, pH, concentração de brometo, características e concentrações dos precursores e dosagem de cloro residual livre. A temperatura contribui para a formação de THM, a concentração desses subprodutos no verão e na primavera é de 1,6 vezes e 1,4 vezes, respectivamente, maior que no outono[16].

O pH também influencia na formação dessas substâncias, especialmente quando é maior ou igual a oito, ou seja, a água é alcalina. A quantidade de cloro que chega nas residências mais próximas às ETA também é elevada em relação aos domicílios mais distantes e, portanto, o potencial de formação THM também é maior. Assim, a população que reside mais próximo das estações estaria mais vulnerável aos efeitos adversos à saúde desse subproduto[19,21,6].

Além disso, verificou-se forte correlação entre o parâmetro turbidez, em períodos chuvosos, e o favorecimento da formação de THM, devido à elevação dos níveis de matéria orgânica na água bruta nesses períodos[22]. Nesse sentido, populações inteiras em países desenvolvidos e subdesenvolvidos estão expostas, em graus variados, aos THM através da água potável e das piscinas. Estudos observacionais em populações humanas estão em andamento desde a década de 1970 para avaliar as consequências para a saúde humana da exposição a essas substâncias[16,12].

Nas avaliações tradicionais de risco à saúde para THM, a ingestão é a principal via de exposição ao componente na água potável, entretanto, os THM são voláteis à temperatura ambiente e, portanto, transformam-se facilmente em vapor durante o uso da água, o que torna a inalação também preocupante[23,24].

Hábitos de ingestão de água de determinadas comunidades podem influenciar no aumento do risco de câncer ao longo da vida. O estudo, desenvolvido em Barcelona, onde a população ingere água da torneira sem filtragem, água da torneira filtrada (dispositivo doméstico) e água mineral engarrafada, indicou relação entre a exposição ao THM e o aumento do risco de câncer de bexiga anualmente. Foi verificado que uma mudança completa para água mineral engarrafada, removeria essencialmente o fardo da saúde para a exposição ao THM através da água potável, aumentando a expectativa de vida da população[25].

Dados da literatura apontaram a ingestão como importante via de contaminação por THM, associando-a ao aumento do risco de desenvolvimento de câncer[10,12]. Todavia, resultados evidenciam as vias respiratória e dérmica como possíveis vias de contaminação por THM[25].

Confirmando esse resultado, constatou-se que o aumento da temperatura da água eleva a concentração de THM inalado dentro de um box de chuveiro após cada evento de banho, especialmente com uso frequente e contínuo, contribuindo para o desenvolvimento de câncer. Este fenômeno é particularmente relevante em instalações de chuveiro comuns, como aquelas encontradas em albergues estudantis, dormitórios, piscinas públicas, ginásios, alojamentos pequenos e médios com banheiros comunitários e complexos esportivos, onde geralmente há pouco tempo entre chuveiros sucessivos para diminuir a concentração de THM deixada pelo usuário anterior [11].

Outras variáveis associadas ao vapor de água, que favoreceram o contato por meio das vias aéreas, foram o tempo de duração do banho e o fato do banheiro ser privativo, ou compartilhado. Nesses últimos casos, o vapor de água, que está contaminado com cloro na forma de THM, fica confinado no espaço delimitado pelo box resultando em maior risco de desenvolvimento de câncer ao longo da vida[11].

O risco de desenvolvimento de câncer devido à exposição aos THM, independente da via de contaminação, é maior em mulheres do que em homens, o que sugere uma maior predisposição aos efeitos desse subproduto no gênero feminino[12]. Apesar disso, foi verificado em outro estudo maior predisposição das mulheres para o desenvolvimento de câncer devido à exposição aos THM em Hamadan e dos homens em Tuyserkan[16]. Esses resultados evidenciam a necessidade de desenvolvimento de novos estudos acerca da exposição aos THM por gênero, que considerem outros fatores de risco associados.

Os THM são acumulados no organismo caso haja uma exposição prolongada, contribuindo para o desenvolvimento de doenças. Nos Estados Unidos, o resultado observado após o consumo em longo prazo de água advinda das ETAs reportou um dado de risco de câncer no decorrer da vida de 3/1000 pessoas[26].

Diante dos resultados de pesquisas que confirmaram o potencial dos THM de causarem efeitos danosos à saúde, a Organização Mundial da Saúde estabeleceu parâmetros considerados seguros para as concentrações dessas substâncias: para os THM individuais de 300 µg/L para clorofórmio, 100 µg/L para bromofórmio, 100 µg/L para dibromoclorometano e 60 µg/L para bromodiclorometano[27]. O nível máximo de contaminante estabelecido pela União Europeia é de 100 µg/L para THM totais (ou seja, a soma de clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio)[28].

Contudo, destaca-se o aumento do risco de câncer devido à exposição ao THM, mesmo quando a concentração desse subproduto respeita os valores recomendados por esses órgãos regulatórios, o que indica a necessidade de revisão dos parâmetros considerados seguros por essas organizações, além de um controle mais rigoroso dos THM pelos países que utilizam o cloro para a desinfecção nas ETA[10,12].

Com base nas pesquisas incluídas nessa revisão, observou-se aumento do risco de câncer devido à exposição aos THM. Há evidências da ligação entre os THM e alguns tipos de câncer, como o de bexiga, pâncreas, rim, cérebro, mama, esôfago e pulmão, além de leucemia, melanoma e câncer de pele não melanoma[8]. Determinados THM, especificamente triclorometano, bromodiclorometano e dibromoclorometano, atuam nas quebras de DNA, um fenômeno associado com ao processo carcinogênico[29].

Outros estudos realizados no Paquistão, Canadá, Índia, Istambul, Irã, e Espanha confirmaram uma relação positiva entre THM e câncer ao longo da vida e efeitos reprodutivos indesejados por meio da ingestão, inalação e contato dérmico. Os THM apresentam efeitos prejudiciais à saúde, e são considerados tóxicos sistêmicos, notórios por induzirem danos a múltiplos órgãos, mesmo em baixos níveis de exposição, além de serem classificados como carcinógenos humanos. Como indício dessa associação, foi constatado que em distritos do Irã abastecidos com fontes de água superficiais há concentrações mais altas de THM e riscos de câncer mais elevados do que os distritos abastecidos com fontes de água de poço[30 -32].

Além da associação entre a exposição aos THM e o risco aumentado de câncer apontado nos estudos, existem ainda ameaças ao sistema reprodutivo feminino[15]. Suspeita-se que a interação entre o cloro e a microbiota cervicovaginal pode torná-la não ideal. A relação entre uma microbiota não ideal e partos prematuros é mais forte entre mulheres com baixos níveis cervicovaginais de beta-defensina-2, que são proteínas envolvidas no sistema imunitário inato[33].

Entretanto, em alguns casos, não foi observada associação entre a exposição aos THM e parto prematuro espontâneo ou microbiota cervicovaginal tipo IV (caracterizada pela escassez de Lactobacillus e ampla presença de anaeróbios). O THM foi significativamente associado a níveis mais baixos de beta-defensina-2 em mulheres brancas, indicando que as exposições ambientais podem contribuir para diferenças na função imune inata do trato reprodutivo por raça. Parece relevante que estudos futuros sejam desenvolvidos com o

objetivo de esclarecer as contribuições ambientais no estado microbiano-imune cervicovaginal, um suporte biológico potencialmente importante para o parto prematuro[14].

Muitas análises reprodutivas sobre subprodutos da desinfecção fundamentaram-se em estudos ou registros existentes (certidões de nascimento, por exemplo) e basearam-se no monitoramento rotineiro da água potável para construir um índice relevante de exposição na residência. Avaliações recentes incorporaram informações individuais sobre hábitos de beber e tomar banho, como diversas circunstâncias de exposição, ou usaram biomarcadores, como medidas de ácido tricloroacético urinário (TCAA). Essas investigações se concentraram nos efeitos sobre a fertilidade, perda fetal, crescimento fetal, duração da gestação e malformações congênitas[8].

Estudo de caso-controle realizado em Ontário, Canadá, ao se examinar a associação de THM e risco de natimorto, concluiu que as mulheres expostas a 80 µg/L de THM, ou mais, apresentavam um risco duas vezes maior de terem natimortos do que as não expostas[34]. Na Suécia, utilizando uma coorte baseada em registro nacional, incluindo mais de 500 mil nascimentos únicos, foi possível verificar que existe uma associação entre maior ocorrência de partos prematuros quando a desinfecção na ETA era feita com hipoclorito. Essa associação não ficou evidente quando foi realizado o tratamento da água com cloramina[15].

A remoção dos THM é bastante difícil, uma vez que se formam na água potável durante o processo de desinfecção e representam um enorme desafio para as autoridades competentes e também para o público em geral. Assim, o desenvolvimento de tecnologias de tratamento e a otimização de variáveis do processo por meio de análises estatísticas são necessárias para reduzir a concentração de matéria orgânica natural e THM na água potável[7].

As tecnologias desenvolvidas com esse propósito, identificadas nos estudos foram: i) o GC-XSD, que pode ser utilizado para monitoramento de rotina, mas também pode tornar-se uma ferramenta para identificar futuros subprodutos de desinfecção problemáticos; ii) nanoadsorventes magnéticos modificados com surfactante (sMNP), que exibiram uma eficácia de remoção de mais de 96% dos THM. Essas tecnologias propõem atenuar a formação desse composto durante a fase de desinfecção nas ETA, possibilitando um acompanhamento mais eficiente do processo[35,7]. O grande benefício dessas tecnologias é que elas conseguem reduzir dos poluentes por mineralização, ao contrário de outros processos convencionais, nos quais o contaminante é apenas transferido para o meio ambiente [36].

Para diminuir os níveis de THM dos resíduos sólidos, foram desenvolvidos diferentes métodos alinhados com tecnologias biológicas ou químicas, destacando as noções de ação preventiva, por meio de desinfetantes que não sejam o cloro ou otimização da dose de cloro, e ação de tratamento removendo materiais precursores por resina de troca iônica ou filtração por membrana antes da adição de cloro. Uma vez formados, alguns dos métodos mais comumente usados para remover THM de resíduos

sólidos após a desinfecção são coagulação/floculação, adsorção, filtração biológica , manejo de aquíferos do solo, GC-XSD/ultrafiltração, processos avançados de oxidação (AOP) ou processos de tratamento híbrido [37].

Ainda não existem dados conclusivos sobre o mecanismo de interação entre os THM e o corpo humano e como essas substâncias produzem esses efeitos danosos, nem consenso quanto a todos os potenciais riscos dos THM para a saúde humana, o que torna necessário o desenvolvimento de estudos que elucidem essas lacunas, além de explicar de que maneira os fatores de risco (hábitos alimentares, ingestão de álcool, tabagismo, peso e condições genéticas) interferem nessa interação[8].

5. Conclusão

Os dados desta revisão evidenciaram que há uma relação entre os THM e o desenvolvimento de câncer e parto prematuro. Apesar da melhoria em termos de saúde pública nas cidades que dispõem de ETA, proporcionando uma água livre de microrganismos causadores de doenças de veiculação hídrica, o problema da geração dos THM e os indícios de sua relação com efeitos deletérios à saúde humana em longo prazo são um fator de preocupação.

Visando à prevenção da formação desses compostos ou até à eliminação deles na fase de desinfecção das estações, algumas tecnologias vêm sendo estudadas e deveriam ser o foco dos pesquisadores. Outro ponto de atenção importante é a adoção de um controle operacional eficiente nessa etapa de tratamento, considerando variáveis como temperatura, pH, concentração de brometo, duração do contato e distância das residências das ETA, evitando a formação dessas substâncias nocivas à saúde.

6. Declaração De Conflito De Interesses

Todos os autores declaram que não há conflito de interesses.

7. Referências

1. BAYER NM, URANGA PRR, FOCHEZATTO A. Política Municipal de Saneamento Básico e a ocorrência de doenças nos municípios brasileiros. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**. 2023;13:e20190375. doi:10.1590/2175-3369.013.e20190375.
2. VARANDA W, ADORNO RCF. **World Cities Report 2022: Envisaging the Future of Cities** [Internet]. United Nations Human Settlements Programme; 2022 [citado em maio de 2024]. Disponível em: https://unhabitat.org/sites/default/files/2022/06/wcr_2022.pdf.
3. ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Acesso à água limpa pode salvar 1,4 milhão de vidas** [Internet]. Nova Iorque: ONU; 2023 [citado em abril de 2024]. Disponível em: https://news.un.org/pt/story/2023/06/1816807.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888, de 04 de maio de 2021**. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo

humano e seu padrão de potabilidade [Internet]. Diário Oficial da União. Brasília, DF; 2021 [citado em setembro de 2024]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2021/prt0888_07_05_2021.html.

5. MELO LDV. **Avaliação estatística de desempenho de estações de tratamento de água, em função da tecnologia, do porte e do tipo de manancial** [Tese]. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais; 2019.
6. SRIBOONNAK S, INDUVESA P, WATTANACHIRA S, RAKRUAM P, SIYASUKH A, PUMAS C, et al. Trihalomethanes in Water Supply System and Water Distribution Networks. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 2021;18(17):9066. doi:10.3390/ijerph18179066.
7. KUMARI M, GUPTA SK. Response surface methodological (RSM) approach for optimizing the removal of trihalomethanes (THMs) and its precursor's by surfactant modified magnetic nanoadsorbents (sMNP) - An endeavor to diminish probable cancer risk. **Scientific Reports**. 2019;9:18339. doi:10.1038/s41598-019-54902-8.
8. VILLANUEVA CM, CORDIER S, FONT-RIBERA L, SALAS LA, LEVALLOIS P. Overview of disinfection by-products and associated health effects. **Current Environmental Health Reports**. 2015;2:107–115. doi:10.1007/s40572-014-0032-x.
9. PAGE MJ, MCKENZIE JE, BOSSUYT PM, BOUTRON I, HOFFMANN TC, MULROW CD, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. **International Journal of Surgery**. 2021;88:105906. doi:10.1136/bmj.n71.
10. ZUTHI MRF, KHAN F, SAJOL MDSZ, KABIR M, KAISER NME, RAHMAN MS, et al. Combined application of EPANET and empirical model for possible formation of trihalomethanes in water distribution network of Chattogram city to identify potential carcinogenic health risk zone. **Heliyon**. 2023;9(6):e16615. doi:10.1016/j.heliyon.2023.e16615.
11. PARVEEN N, GOEL S. Trihalomethane Cancer Risk Assessment for Private and Shared Residences: Addressing the Differences in Inhalation Exposure. **Toxics**. 2023;11(4):295. doi:10.3390/toxics11040295.
12. NSHEMEREIRWE A, ZEWDE F, MALAMBALA E. Evaluation of formation and health risks of disinfection by-products in drinking water supply of Ggaba waterworks, Kampala, Uganda. **Journal of Water and Health**. 2022;20(3):560–574. doi:10.2166/wh.2022.272.
13. ZUMEL MA, CASTAÑO-VINYALS G, ALGUACIL J, VILLANUEVA CM, MAULE M, GRACIA-LAVEDAN E, et al. Exposure to drinking water trihalomethanes and nitrate and the risk of brain tumours in young people. **Environmental Research**.

2021;200:111392. doi:10.1016/j.envres.2021.111392.

14. LEWIS A, MCKEON TP, DE ROOS AJ, RAVEL J, ELOVITZ MA, BURRIS HH. Associations of public water system trihalomethane exposure during pregnancy with spontaneous preterm birth and the cervicovaginal microbial-immune state. **Environmental Research**. 2021;199:111288. doi:10.1016/j.envres.2021.111288.
15. SÄVE-SÖDERBERGH M, TOLJANDER J, DONAT-VARGAS C, BERGLUND M, ÅKESSON A. Exposure to Drinking Water Chlorination By-Products and Fetal Growth and Prematurity: A Nationwide Register-Based Prospective Study. **Environmental Health Perspectives**. 2020;128(4):57006. doi:10.1289/EHP6012.
16. NADALI A, RAHMANI A, ASGARI G, LEILI M, NOROUZI HA, NAGHIBI A. The Assessment of Trihalomethanes Concentrations in Drinking Water of Hamadan and Tuyserkan Cities, Western Iran and Its Health Risk on the Exposed Population. **Journal of Research in Health Sciences**. 2019;19:e00441.
17. SADIQ R, RODRÍGUES MJ. Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review. **Science of The Total Environment**. 2004;321:21–46. doi:10.1016/j.scitotenv.2003.05.001.
18. PAIXÃO RM, SILVA LHBR, ANDREOLA R. A cloração e a formação de trihalometanos. **Iniciação Científica Cesumar**. 2014;16(2):191–198.
19. MEYER ST. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cad Saúde Pública**. 1994;10(1):99–110. doi:10.1590/S0102-311X1994000100011.
20. FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano** [Internet]. Brasília: Funasa; 2007 [citado em setembro de 2024]. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/potenciais_fatores_risco_saude_cloracao_agua_consumo_humano.pdf.
21. BECKER BR. **Proposta de teste para verificação da formação de trihalometanos (TAM) em ETAs** [Tese]. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina; 2010.
22. MENEZES JUNIOR MQ, SOUZA CA. Avaliação da formação de trihalometanos na água de abastecimento público da cidade de Cáceres (MT), Brasil. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. 2021;26(5):927–934. doi:10.1590/S1413-415220200142.
23. WANG E, ZHU G, ENGEL B. Health risk assessment of trihalomethanes in water treatment plants in Jiangsu Province, China. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. 2019;170:346–354. doi:10.1016/j.ecoenv.2018.12.004.

24. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Environmental Health Criteria 216: Disinfectants and Disinfectant Byproducts** [Internet]. Genebra: OMS; 2020 [citado em maio de 2024]. Disponível em: https://www.who.int/ipcs/publications/ehc/216_disinfectants_part_1.pdf?ua=1.

25. VILLANUEVA CM, GARFÍ M, MILÀ C, OLMOS S, FERRER I, TONNE C. Health and environmental impacts of drinking water choices in Barcelona, Spain: A modelling study. **Science of The Total Environment**. 2021;795:148884. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.148884.

26. EVANS S, CAMPBELL C, NAIDENKO OV. Analysis of Cumulative Cancer Risk Associated with Disinfection Byproducts in United States Drinking Water. **International Journal of Environmental Research and Public Health**. 2020;17(6):2149. doi:10.3390/ijerph17062149.

27. ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Guidelines for Drinking-Water Quality: Fourth edition incorporating the first and second addenda** [Internet]. Genebra: OMS; 2022 [citado em maio de 2024]. Disponível em: https://iris.who.int/bitstream/handle/10665/352532/9789240045064-eng.pdf?sequence=1.

28. CONSELHO EUROPEU. **Directive (EU) 2020/2184 of the European Parliament and of the Council of 16 December 2020 on the quality of water intended for human consumption (recast)** [Internet]. Bruxelas: CE; 2020 [citado em maio de 2024]. Disponível em: https://faolex.fao.org/docs/pdf/eur201243.pdf.

29. GETER DR, CHANG LW, HANLEY NM, ROSS MK, PEGRAM RA, DEANGELO AB. Analysis of in vivo and in vitro DNA strand breaks from trihalomethane exposure. **Journal of Carcinogenesis**. 2004;3(1):1–8. doi:10.1186/1477-3163-3-2.

30. RIVERA NZ, WRIGHT JM, BLOUNT BC, SILVA LK, JONES E, CHAN RL, et al. Comparison of trihalomethanes in tap water and blood: a case study in the United States. **Environmental Health Perspectives**. 2012;120(5):661–667. doi:10.1289/ehp.1104347.

31. U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Diretrizes para Avaliação de Risco Carcinógeno** [Internet]. Washington, DC: EPA; 2005 [citado em maio de 2024]. Disponível em: https://www3.epa.gov/airtoxics/cancer_guidelines_final_3-25-05.pdf.

32. INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER. **Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans** [Internet]. Lyon: IARC; 1994 [citado em maio de 2024]. Disponível em: https://monographs.iarc.who.int/.

33. ELOVITZ MA, GAJER P, RIIS V, BROWN AG, HUMPHRYS MS, HOLM JB, et al. Cervicovaginal microbiota and local immune response modulate the risk of spontaneous preterm delivery. **Nature Communications**.

2019;10:1305. doi:10.1038/s41467-019-09285-9.

34. DODDS L, KING W, ALLEN AC, ARMSON BA, FELL DB, NIMROD C. Trihalomethanes in public water supplies and risk of stillbirth. Epidemiology. 2004;15(2):179–186. doi:10.1097/01.ede.0000112209.47765.d9.

35. ANDERSSON A, ASHIQ MJ, SHOEB M, KARLSSON S, BASTVIKEN D, KYLIN H. Evaluating gas chromatography with a halogen-specific detector for the determination of disinfection by-products in drinking water. Environmental Science and Pollution Research. 2019;26:7305–7314. doi:10.1007/s11356-018-1419-2.

36. RIBEIRO AR, NUNES OC, PEREIRA MFR, SILVA AMT. An overview on the advanced oxidation processes applied for the treatment of water pollutants defined in the recently launched Directive 2013/39/EU. Environment International. 2015;75:33–51.

37. ZAINUDIN FM, HASAN HA, ABDULLAH SRS. An overview of the technology used to remove trihalomethane (THM), trihalomethane precursors, and trihalomethane formation potential (THMFP) from water and wastewater. Journal of Industrial and Engineering Chemistry. 2018;57:1–14. doi:10.1016/j.jiec.2017.08.022.