EXPOSIÇÃO AO CLORO RESIDUAL E SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA: RISCOS À SAÚDE

NOME DO ALUNO: CHARLES ARAÚJO DE SOUZA

ORIENTADOR: PROF.ME. EDCARLOS ARAUJO DOS SANTOS

PATOS – PB
2026.1

CHARLES ARAÚJO DE SOUZA

EXPOSIÇÃO AO CLORO RESIDUAL E SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA: RISCOS À SAÚDE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Patos UNIFIP, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Biomedicina pela referida instituição.

Orientador:

Prof. Me. Edcarlos Araujo dos Santos

PATOS - PB
2026

CHARLES ARAÚJO DE SOUZA

EXPOSIÇÃO AO CLORO RESIDUAL E SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA: RISCOS À SAÚDE

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro Universitário de Patos UNIFIP, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Bacharel em Biomedicina pela referida instituição.

Aprovado em: 27 / 05 / 2026

Edcarlos Araujo dos Santos

PROF. ME. EDCARLOS ARAUJO DOS SANTOS
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS UNIFIP
(ORIENTADOR)

Elisângela da Silva Gomes

PROF: ESP. ELISANGELA DA SILVA GOMES
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS UNIFIP
(1° MEMBRO)

Jonas Ferreira de Almeida

PROF: ME. JONAS FERREIRA DE ALMEIDA
CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS UNIFIP
(2° MEMBRO)

FICHA CATALOGRÁFICA

Dados de Acordo com AACR2, CDU e CUTTER

Biblioteca Central - UNIFIP

Gr

Souza, Charles Araújo de.

S723e EXPOSIÇÃO AO CLORO RESIDUAL E SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA: Riscos à saúde./ Charles Araújo de Souza.– Patos – PB: UNIFIP, 2026.

26 fls.

Orientador(a): Prof. Me. Edcarlos Araujo dos Santos

Monografia - Graduação, Bacharelado em Biomedicina

Centro Universitário de Patos UNIFIP

1. Cloro residual. 2. Água potável. 3. Subprodutos da cloração. 4. Desinfecção da água.

I. Título. II. UNIFIP

UNIFIP/BC CDU: 616.15

Francisco C. Leite – Bibliotecário. CRB 15/0076

AGRADECIMENTOS

Em especial a Deus que me deu a perseverança, paciência, esperança e principalmente a Fé, sentimentos que estiveram sempre presentes em todos os momentos.

"A falsa ciência gera ateus; a verdadeira ciência leva os homens a se curvar diante de Deus."

Voltaire

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1: Síntese de informações dos artigos de acordo com a literatura selecionada	13
QUADRO 2: Síntese dos resultados dos artigos encontrados	15

LISTA DE ABREVIATURAS

Br - Íon Brometo

CR - Residual de cloro

DBPs - Potencial de formação de subprodutos da desinfecção

DCAN - Dicloroacetonitrila

EAW - Electrolyzed Activated Water

HAAs - Ácidos haloacéticos

HANs - Haloacetonitrilas

IRIS - Integrated Risk Information System

NaClO - Hipoclorito de Sódio

NH -N - Nitrogênio Amoniacal

OMS- Organização Mundial da Saúde

pH - Potencial Hidrogeniônico

TBM - Tribromometano

TCAA - Ácido Tricloroacético

TCM - Triclorometano

THMs - Trihalometanos

UASB - Upflow Anaerobic Sludge Blanket

USEPA - United States Environmental Protection Agency

ARTIGO A SER SUBMETIDO À REVISTA COOPEX DO CENTRO UNIVERSITÁRIO DE PATOS

EXPOSIÇÃO AO CLORO RESIDUAL E SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA: RISCOS À SAÚDE

Revista COOPEX (ISSN:2177-5052)

EXPOSIÇÃO AO CLORO RESIDUAL E SUBPRODUTOS DA CLORAÇÃO DA ÁGUA: RISCOS À SAÚDE

EXPOSURE TO RESIDUAL CHLORINE AND CHLORINATION BYPRODUCTS IN WATER: HEALTH RISKS

Charles Araújo De Souza [1]

Edcarlos Araujo dos Santos [2]

RESUMO: A desinfecção da água constitui uma etapa essencial nos sistemas de abastecimento público, sendo a cloração amplamente empregada em razão de sua elevada eficiência no controle microbiológico e da manutenção do cloro residual ao longo da rede de distribuição. Contudo, a reação do cloro com a matéria orgânica natural presente na água pode resultar na formação de subprodutos da cloração, como os trihalometanos e os ácidos haloacéticos, os quais têm sido associados a potenciais efeitos adversos à saúde humana. O presente estudo teve como objetivo analisar, por meio de uma revisão de literatura, os riscos à saúde relacionados à exposição ao cloro residual e aos subprodutos da cloração da água potável, abordando os mecanismos de formação desses compostos, suas principais vias de exposição e os impactos à saúde reportados na literatura científica. A justificativa fundamenta-se na ampla utilização da cloração nos sistemas de abastecimento e na necessidade de aprofundar o entendimento acerca dos riscos decorrentes da exposição crônica a esses contaminantes químicos. Trata-se de uma revisão bibliográfica qualitativa, de caráter descritivo, realizada a partir de bases de dados científicas nacionais e internacionais, contemplando estudos recentes sobre a formação dos subprodutos da cloração, seus fatores determinantes e os riscos à saúde humana, incluindo avaliações toxicológicas, epidemiológicas e de risco. Os resultados evidenciaram que os subprodutos da cloração estão frequentemente presentes na água tratada, com predominância dos trihalometanos, especialmente o clorofórmio. Verificou-se que variáveis como a composição da água bruta, a dosagem de cloro, o tempo de contato e as variações sazonais exercem influência significativa sobre a formação desses compostos. As avaliações de risco indicaram que, embora os efeitos não carcinogênicos permaneçam, em geral, dentro de limites considerados aceitáveis, os riscos carcinogênicos associados à exposição crônica frequentemente excedem valores definidos como negligenciáveis. Esses achados reforçam que a garantia da qualidade microbiológica da água não assegura, de forma isolada, sua segurança química, evidenciando a necessidade de estratégias integradas de tratamento, monitoramento e gestão da qualidade da água. Conclui-se que a exposição ao cloro residual e aos subprodutos da cloração representa um desafio relevante para a saúde pública, demandando o aprimoramento das práticas de gestão, regulamentação e vigilância, de modo a conciliar a eficácia sanitária com a proteção da saúde humana a longo prazo.

Palavras-chaves: Água potável. Cloro residual. Desinfecção da água. Subprodutos da cloração.

ABSTRACT: Water disinfection is a fundamental step in public water supply systems, with chlorination being widely used due to its high effectiveness in microbiological control and its ability to maintain residual chlorine throughout the distribution network. However, the reaction of chlorine with natural organic matter present in water can lead to the formation of disinfection byproducts, such as trihalomethanes and haloacetic acids, which have been associated with potential adverse effects on human health. This study aimed to analyze, through a literature review, the health risks related to exposure to residual chlorine and disinfection byproducts in drinking water, addressing the mechanisms of formation of these compounds, their main routes of exposure, and the health impacts reported in the scientific literature. The justification for this research is based on the widespread use of chlorination in water supply systems and the need to deepen the understanding of risks arising

[1]Acadêmico do Curso de Biomedicina do Centro Universitário de Patos. Email: charleses12@gmail.com

[2]Especialista Docente do Curso de Bacharelado em Biomedicina UNIFIP. Email: edcarlossantos@fiponline.edu.br

from chronic exposure to these chemical contaminants. This is a qualitative, descriptive bibliographic review conducted using national and
international scientific databases, including recent studies on the formation of disinfection byproducts, their determining factors, and associated health risks, encompassing toxicological, epidemiological, and risk assessment studies. The results indicated that disinfection byproducts are frequently present in treated drinking water, with a predominance of trihalomethanes, particularly chloroform. Factors such as raw water composition, chlorine dosage, contact time, and seasonal variations were found to significantly influence the formation of these compounds. Risk assessments showed that, although non-carcinogenic effects generally remained within acceptable limits, carcinogenic risks associated with chronic exposure frequently exceeded values considered negligible. These findings reinforce that ensuring microbiological water quality alone does not guarantee chemical safety, highlighting the need for integrated treatment, monitoring, and water quality management strategies. It is concluded that exposure to residual chlorine and disinfection byproducts represents a relevant public health challenge, requiring improvements in management practices, regulatory frameworks, and water quality surveillance to reconcile sanitary effectiveness with long-term human health protection.

Keywords: Residual chlorine. Drinking water. Chlorination by-products. Water disinfection.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água potável em quantidade e qualidade adequadas é essencial para a saúde humana, uma vez que a água destinada ao consumo humano deve atender a critérios rigorosos de potabilidade para a prevenção de doenças de veiculação hídrica. O saneamento é definido pela Organização Mundial da Saúde (OMS) como o controle dos fatores do meio físico que podem comprometer o bem-estar da população, o que evidencia a relevância do abastecimento de água tratada. A desinfecção da água é uma etapa indispensável dos sistemas de abastecimento, sendo a cloração amplamente utilizada devido à sua eficácia na inativação de microrganismos patogênicos e à capacidade de manter um residual desinfetante ao longo da rede de distribuição (Damke; Pasini, 2020).

O uso do cloro no tratamento da água resulta na presença de cloro residual (CR), cuja função é assegurar a manutenção da qualidade microbiológica até o ponto de consumo. Entretanto, a exposição humana ao cloro residual, seja por ingestão, inalação ou contato dérmico, tem sido objeto de crescente interesse científico, uma vez que estudos apontam possíveis efeitos adversos à saúde associados à exposição contínua, especialmente em situações de concentrações elevadas ou exposição crônica (Von Sperling, 2014; Richardson; Postigo, 2015; WHO, 2017).

Além disso, a cloração da água pode promover reações químicas entre o cloro e a matéria orgânica natural presente na água bruta, levando à formação de subprodutos da cloração. Dentre esses compostos, destacam-se os trihalometanos (THMs) e os ácidos haloacéticos (HAAs), que têm sido amplamente investigados devido ao seu potencial tóxico.

A exposição prolongada a esses subprodutos pode estar associada a efeitos adversos à saúde, incluindo alterações respiratórias, gastrointestinais e possíveis riscos carcinogênicos, o que reforça a necessidade de monitoramento e controle rigorosos desses contaminantes (Zhang *et al.,* 2023).

Embora a cloração seja reconhecida como uma estratégia indispensável para a prevenção de doenças infecciosas transmitidas pela água, a presença simultânea do cloro residual e dos subprodutos da desinfecção evidencia um importante desafio para os sistemas de abastecimento. Estudos epidemiológicos e toxicológicos sugerem que a exposição prolongada a determinados subprodutos da cloração pode estar associada a efeitos adversos à saúde humana, incluindo alterações hepáticas, renais e aumento do risco de câncer. (EPA, 2018).

Diante do exposto, torna-se essencial reunir e analisar criticamente as evidências científicas disponíveis acerca da exposição ao cloro residual e aos subprodutos da cloração da água, considerando a ampla utilização desse método nos sistemas de abastecimento. A relevância desta pesquisa justifica-se pela necessidade de compreender os possíveis riscos associados à exposição a esses compostos e de subsidiar ações de vigilância em saúde. Assim, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão de literatura que permita discutir os processos envolvidos na formação dos subprodutos da cloração, analisar os efeitos tóxicos relatados na literatura científica, avaliar os limites de segurança estabelecidos e identificar lacunas no conhecimento científico que possam orientar futuras pesquisas e contribuir para o aprimoramento das práticas de tratamento da água.

METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como uma revisão bibliográfica de natureza qualitativa, com abordagem descritiva e analítica, cujo objetivo é reunir, analisar e sintetizar estudos científicos relevantes acerca da exposição ao cloro residual e aos subprodutos da cloração da água potável e seus potenciais riscos à saúde humana.

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados científicas nacionais e internacionais amplamente reconhecidas, incluindo Scientific Electronic Library Online, PubMed e ScienceDirect. A escolha dessas bases justifica-se pela abrangência e relevância na área da saúde pública, saneamento ambiental e toxicologia.

Foram utilizados descritores em português e inglês, combinados por meio dos operadores booleanos AND e OR, tais como: “cloro residual”, “água potável”, “subprodutos

da cloração", "desinfecção da água", "disinfection by-products", "chlorine residual" e "drinking water".

Foram incluídos artigos científicos, dissertações, teses e documentos técnicos publicados nos últimos 14 anos, disponíveis na íntegra, que abordassem a cloração da água potável, a formação de subprodutos da desinfecção e seus efeitos à saúde humana. Também foram considerados documentos de organismos nacionais e internacionais de referência na área.

Foram excluídos estudos duplicados, publicações que não apresentassem relação direta com o tema proposto, trabalhos voltados exclusivamente à desinfecção de águas residuárias ou recreacionais, bem como estudos cujo texto completo não estivesse disponível.

A seleção dos estudos ocorreu em três etapas: inicialmente, foi realizada a leitura dos títulos e resumos para verificação da relevância temática; em seguida, procedeu-se à leitura integral dos textos selecionados; por fim, os estudos elegíveis foram organizados de acordo com seus objetivos, métodos e principais resultados, visando à sistematização das informações.

Os dados extraídos dos estudos selecionados foram analisados de forma qualitativa, por meio de leitura crítica e comparativa, permitindo a identificação de convergências, divergências e lacunas no conhecimento científico. A síntese dos resultados foi realizada de maneira descritiva, organizando as informações em categorias temáticas, como cloro residual, subprodutos da cloração, mecanismos de toxicidade e implicações para a saúde pública.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados extraídos dos artigos selecionados foram organizados no quadro 1, de acordo com as seguintes informações: autores, ano de publicação, título do artigo e objetivo do estudo. Ao todo, foram incluídos 8 artigos que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão definidos para a pesquisa, compondo uma síntese geral dos estudos selecionados sobre o tema.

Quadro 1 – Síntese de informações dos artigos de acordo com a literatura selecionada

Autores (ano)	Título do artigo	Objetivo do estudo
Rocha, 2023	Desinfecção de efluente sanitário anaeróbio com cloro: formação de trihalometanos e inativação microbiana	Avaliar a formação de subprodutos da cloração, com ênfase nos trihalometanos, durante a desinfecção de efluente doméstico anaeróbio tratado em reator UASB, utilizando diferentes

		agentes oxidantes (hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e água eletroativada).
Do, 2013	Assessing the Impact of Chlorine Residual on Trihalomethane and Haloacetonitrile Formation Under Chlorination and Chloramination Disinfection Regimes	Avaliar a influência do CR na formação potencial de subprodutos da desinfecção, especificamente THMs e haloacetonitrilas (HANs), sob diferentes regimes de desinfecção e condições de pH, verificando se o residual de cloro tradicionalmente recomendado em testes de potencial de formação de DBPs é representativo das concentrações máximas reais desses subprodutos.
Barros, 2018	Riscos associados a utilização do agente desinfetante cloro no tratamento de água potável	Compilar e analisar criticamente informações científicas sobre os subprodutos da desinfecção da água, com ênfase nos THMs, avaliando seus potenciais riscos à saúde humana e discutindo métodos alternativos de desinfecção que possam reduzir ou substituir a cloração, à luz das evidências disponíveis na literatura.
Mazhar, 2020	Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water	Aalisar a formação dos subprodutos da desinfecção gerados pela cloração da água, avaliar seus riscos à saúde humana, discutir as principais vias de exposição e comparar as diretrizes regulatórias, além de apresentar estratégias para o controle e a redução desses compostos.
Hosny; Elden; Aborhyem, 2026	Risk assessment of trihalomethanes in drinking water with seasonal variation considerations	Avaliar as concentrações de THMs na água potável de diferentes distritos de Alexandria, considerando variações sazonais (verão e inverno), e estimar os riscos à saúde humana, incluindo riscos cancerígenos e não cancerígenos, associados à exposição a esses subprodutos da cloração.
Yang *et al.* 2024	Characterization of Disinfection By-Products Originating from Residual Chlorine-Based Disinfectants in Drinking Water Sources	Caracterizar a formação de DBPs gerados por resíduos de desinfetantes à base de cloro em diferentes fontes de água potável da cidade de Wuhan e identificar os principais fatores físico-químicos que influenciam sua geração.
Kalita *et al.* 2024	Assessing the Health Impact of Disinfection Byproducts in Drinking Water	Avaliar de forma abrangente os impactos dos DBPs na saúde humana, com ênfase nos DBPs formados durante a cloração da água potável, identificando os compostos mais perigosos a partir de critérios como potencial de risco à saúde, diversidade química e enquadramento regulatório.
Duarte.; Rodrigues; Ramos, 2016	Água e saúde: análise do risco da presença de trihalometanos na água para consumo humano	Avaliar a ocorrência de trihalometanos na água distribuída em municípios do distrito de Braga, em Portugal, e estimar os riscos à saúde humana associados à exposição a esses subprodutos da desinfecção, considerando tanto o risco de câncer quanto os efeitos não carcinogênicos, por meio de metodologias de avaliação de risco propostas pela United States Environmental Protection Agency (USEPA) e pelo sistema Integrated Risk Information System (IRIS).

Fonte: Autores da pesquisa, (2026)

Os resultados extraídos dos artigos selecionados foram sintetizados e organizados no quadro 2, de acordo com sequencia organizada no quadro 1.

Quadro 2 – Síntese dos resultados dos artigos encontrados

Autores (ano)	Resultados do estudo
Rocha, 2023	Os resultados demonstraram que hipoclorito de sódio, hipoclorito de cálcio e água eletroativada (EAW) apresentaram eficiência satisfatória na inativação microbiana. Observou-se aumento do potencial redox e redução da turbidez após a desinfecção, enquanto a condutividade elétrica aumentou com os hipocloritos e se manteve estável com a EAW. A EAW promoveu aumento dos sólidos totais e da concentração de cloretos, enquanto os sólidos suspensos totais apresentaram redução para todos os agentes. A formação de trihalometanos foi constatada em todos os ensaios, com predominância do clorofórmio, indicando que, apesar da eficiência desinfetante, os sanitizantes avaliados promoveram a geração de subprodutos da cloração.
Do, 2013	Os resultados mostraram que o residual de cloro influencia diretamente a formação de trihalometanos e haloacetonitrilas, variando de acordo com o tipo de desinfetante e o pH. Verificou-se que o residual de cloro tradicionalmente recomendado nos testes de potencial de formação de subprodutos não representa, na maioria dos casos, as concentrações máximas desses compostos, indicando que a formação de subprodutos pode continuar aumentando mesmo em condições de cloração mais elevadas. A predominância do triclorometano e a variação no comportamento dos subprodutos conforme o regime de desinfecção evidenciam que os protocolos convencionais podem subestimar o potencial real de formação de subprodutos da desinfecção.
Barros, 2018	Os resultados indicam que ainda é limitada a quantidade de estudos que estabelecem uma associação direta entre a exposição aos THMs e a ocorrência de anomalias congênitas, evidenciando uma lacuna relevante no conhecimento científico. Por outro lado, pesquisas experimentais, especialmente aquelas conduzidas com modelos animais, demonstram de maneira consistente que a exposição prolongada ou a elevadas concentrações desses subprodutos da cloração está associada ao desenvolvimento de efeitos adversos à saúde, com destaque para o aumento da incidência de cânceres, como os de rim e bexiga, reforçando a necessidade de aprofundamento das investigações sobre os riscos crônicos relacionados à presença de THMs na água tratada.
Mazhar, 2020	Os principais resultados indicam que a cloração da água leva à formação recorrente de diferentes subprodutos da desinfecção, especialmente THMs, HAAs e HANs, os quais estão associados a efeitos adversos à saúde, com destaque para o potencial carcinogênico observado em estudos toxicológicos e epidemiológicos. O artigo aponta que as vias de exposição dérmica e inalatória podem representar riscos iguais ou superiores à ingestão direta de água, ampliando a relevância da exposição cotidiana. Também foi observado que há variação significativa nas diretrizes e limites regulatórios entre países, evidenciando a necessidade de padronização e atualização das normas. Além disso, os resultados mostram que diferentes tecnologias de tratamento, como coagulação, adsorção em carvão ativado, troca iônica e processos de membrana, apresentam potencial para reduzir precursores orgânicos e minimizar a formação de DBPs, embora nenhuma técnica isolada elimine completamente esses compostos.
Hosny; Elden; Aborhyem, 2026	O estudo identificou a presença de THMs em todas as amostras de água potável analisadas nos diferentes distritos de Alexandria, evidenciando variações sazonais significativas entre o verão e o inverno. As maiores concentrações totais de THMs foram registradas na Região-2 durante o verão (150 µg/L) e na Região-7 durante o inverno (196 µg/L). O

	clorofórmio foi o composto predominante e o principal responsável pelos riscos não cancerígenos, com valores do índice de risco abaixo do limite crítico, porém elevados em algumas regiões. A avaliação de risco cancerígeno, realizada segundo a metodologia da United States Environmental Protection Agency, indicou riscos ao longo da vida superiores ao limite aceitável, sugerindo potencial impacto à saúde pública e a necessidade de aprimoramento dos processos de tratamento e monitoramento da água potável.
Yang *et al.* 2024	O estudo demonstrou que os principais subprodutos de desinfecção formados nas fontes de água potável avaliadas foram o triclorometano (TCM) e o ácido tricloroacético (TCAA), sendo a geração desses compostos fortemente influenciada por parâmetros físico-químicos da água. A formação de subprodutos da desinfecção (DBPs) apresentou correlação positiva com a presença de substâncias oxidativas, compostos aromáticos, potencial hidrogeniônico (pH) e nitrogênio amoniacal (NH -N). Observou-se que o aumento do tempo de reação intensificou a formação de TCAA, enquanto o aumento da concentração de hipoclorito de sódio (NaClO) promoveu inicialmente maior geração de TCAA, tribromometano (TBM) e dicloroacetonitrila (DCAN), seguido de redução em concentrações mais elevadas do desinfetante. Os experimentos ortogonais indicaram que o íon brometo (Br), o NH -N e o pH influenciaram significativamente a formação de TCM, enquanto a temperatura teve maior impacto na geração de TCAA, evidenciando que a formação de DBPs depende das características da água e das condições de desinfecção.
Kalita *et al.* 2024	A pesquisa identificou e catalogou 63 DBPs relevantes, abrangendo compostos alifáticos, alicíclicos e aromáticos, dos quais 28 foram selecionados para análise aprofundada por apresentarem maior potencial de risco à saúde humana. Os resultados demonstraram que a formação e a toxicidade dos DBPs variam significativamente conforme o tipo de desinfetante utilizado, a composição da água bruta e a presença de matéria orgânica natural. O estudo também evidenciou lacunas nos sistemas atuais de monitoramento, destacando a necessidade de tecnologias de detecção mais sensíveis e sistemas inteligentes para vigilância contínua da qualidade da água. Esses achados reforçam a importância de abordagens regulatórias mais abrangentes e estratégias avançadas de tratamento para reduzir a exposição da população a DBPs potencialmente perigosos.
Duarte.; Rodrigues; Ramos, 2016	O risco de câncer associado à exposição aos trihalometanos foi superior ao limite considerado negligenciável em todos os municípios avaliados, sendo a ingestão de água a principal via de exposição. Em contraste, o risco de efeitos não carcinogênicos permaneceu, na maioria dos casos, dentro de níveis aceitáveis, indicando menor probabilidade de efeitos adversos imediatos. Esses achados apontam que, apesar da eficiência da desinfecção, a presença de trihalometanos na água distribuída pode representar um risco potencial à saúde a longo prazo.

Fonte: Autores da pesquisa, (2026)

Nos resultados de Rocha, (2023) foram evidenciados a formação de subprodutos da cloração em todos os ensaios de desinfecção, independentemente do agente oxidante utilizado, confirmando que a interação entre o cloro e a matéria orgânica residual do efluente tratado favorece a geração desses compostos. Entre os subprodutos identificados, os trihalometanos foram os mais recorrentes, com predominância do clorofórmio, resultado consistente com o amplamente relatado na literatura para sistemas de cloração de efluentes e águas com elevada carga orgânica.

A influência do tipo de sanitizante, da dosagem de cloro e do tempo de contato mostrou-se determinante na magnitude da formação dos THMs, indicando que, mesmo sob condições de cloração ao breakpoint, a geração desses compostos não é eliminada. Os estudos de Morin *et al*. (2015) indicam que as condições operacionais durante a cloração, incluindo a dosagem de cloro e o tempo de contato, influenciam significativamente o potencial de formação de THMs, com maiores doses e tempos prolongados geralmente aumentando os níveis desses subprodutos.

No estudo de Do, (2013) o fato do residual tradicionalmente recomendado não representar as concentrações máximas de THMs e HANs sugere que os testes convencionais de potencial de formação podem subestimar o risco real associado à presença desses compostos, especialmente em sistemas que utilizam doses mais elevadas de desinfetantes ou operam sob diferentes regimes de pH. A predominância do triclorometano reforça a influência da matéria orgânica como precursora desses subprodutos, enquanto a variabilidade observada entre os regimes de Cl e monocloramina evidencia que a escolha do desinfetante afeta não apenas a eficiência microbiológica, mas também o perfil e a magnitude dos subprodutos formados.

Zhai *et al.* (2022) indica que a formação de subprodutos da desinfecção, incluindo THMs e outros DBPs, depende da dose de desinfetante, do pH e da composição da matéria orgânica presente na água, sendo que aumentos na dose e no pH tendem a elevar a produção desses compostos sob cloração e cloraminação.

Barros, (2018) evidencia um crescimento expressivo de estudos que investigam a associação entre os THMs e o desenvolvimento de câncer reflete a intensificação das preocupações científicas em relação ao aumento da incidência dessa doença, que pode estar relacionada não apenas a fatores de risco já consolidados, mas também à exposição aos THMs e a outros subprodutos da cloração presentes na água tratada (Schäfer, 2016). Diversas pesquisas utilizam modelos animais, especialmente roedores, para avaliar os potenciais efeitos mutagênicos e carcinogênicos desses compostos no organismo.

Resultados experimentais indicam que a exposição prolongada ou em elevadas concentrações aos THMs pode estar associada ao surgimento de determinados tipos de câncer em animais, como os cânceres renal e de bexiga (Bach, 2014). A preocupação em torno desses compostos também se intensifica devido às múltiplas vias de exposição humana, que incluem não apenas a ingestão direta de água clorada, mas também o consumo de alimentos que entram em contato com essa água durante etapas de produção e higienização, além da

absorção por inalação e contato dérmico durante atividades rotineiras, como banhos, uso de piscinas e lavagem de roupas (Baird, 2011; Cardador; Gallego, 2016).

Estudos demonstram ainda que as concentrações de THMs no organismo podem variar após o consumo de água tratada e mesmo após o banho, sendo detectados compostos como clorofórmio e bromofórmio no sangue humano em diferentes investigações (Riederer *et al.,* 2014).

Pesquisas de monitoramento e avaliação de risco corroboram com os resultados apresentados por Mazhar, (2020) e indicam que a exposição crônica aos DBPs permanece associada a efeitos adversos à saúde, incluindo aumento do risco de câncer, mesmo em concentrações próximas aos limites regulatórios (Zhang *et al.,* 2022; Wang *et al.,* 2023). Meta-análises epidemiológicas recentes reforçam uma relação dose–resposta positiva entre a exposição a THMs e câncer de bexiga (Villanueva *et al.,* 2024). Além disso, estudos atuais destacam que as vias dérmica e inalatória, especialmente durante o banho e outras atividades domésticas, podem contribuir de forma mais significativa para o risco total do que a ingestão de água (Li *et al.,* 2022), corroborando a necessidade de estratégias focadas na remoção de precursores orgânicos e no controle integrado dos DBPs.

Os resultados de Hosny; Elden; Aborhyem, (2026) demonstram que as concentrações de THMs na água potável apresentam variação sazonal significativa, influenciada por fatores como temperatura, matéria orgânica natural e dosagem de cloro. A predominância do clorofórmio está de acordo com estudos recentes, que o identificam como o principal subproduto da cloração em sistemas convencionais de abastecimento.

Embora os índices de risco não cancerígeno tenham permanecido abaixo do limite crítico, os valores elevados em alguns distritos indicam exposição contínua da população. Além disso, os riscos cancerígenos estimados acima do nível aceitável, conforme a metodologia da United States Environmental Protection Agency, reforçam evidências de que a exposição crônica aos THMs pode representar impacto relevante à saúde pública, destacando a necessidade de otimização dos processos de tratamento e monitoramento da água potável (USEPA, 2006).

Os achados de Yang *et al.* (2024) são coerentes com investigações recentes que demonstram que a formação de DBPs é fortemente modulada pela composição química da água e pelas condições do processo de cloração. O estudo demonstra que águas com maior teor de compostos aromáticos e nitrogênio favorecem a formação de THMs e HAAs, reforçando que o controle dos precursores orgânicos é mais eficaz do que ajustes isolados na dosagem de cloro.

Kalita *et al.* (2024) indicam que os impactos à saúde associados aos DBPs vão além dos compostos tradicionalmente regulamentados, como THMs e HAAs, evidenciando que DBPs alifáticos, alicíclicos e aromáticos também podem representar riscos relevantes. A identificação de um amplo conjunto de DBPs críticos reforça que a toxicidade desses compostos está relacionada não apenas às concentrações, mas também à sua diversidade química e aos fatores que influenciam sua formação, como características da água bruta e condições ambientais. Esses achados destacam lacunas nas regulamentações atuais e apontam a necessidade de estratégias mais abrangentes de tratamento e monitoramento, bem como do desenvolvimento de tecnologias capazes de detectar DBPs emergentes, a fim de reduzir potenciais riscos à saúde humana associados ao consumo de água potável clorada.

Os achados de Duarte; Rodrigues; Ramos, (2016) evidenciam que, embora a desinfecção assegure a qualidade microbiológica da água, a formação de THMs pode representar um risco carcinogênico relevante em exposições crônicas, mesmo quando os riscos não carcinogênicos permanecem dentro de limites aceitáveis. Esse descompasso indica que os parâmetros convencionais de controle da qualidade da água podem não ser suficientes para proteger a saúde a longo prazo, reforçando a necessidade de abordagens integradas que considerem tanto a eficiência da desinfecção quanto a minimização de subprodutos. Assim corroborando com evidências epidemiológicas e toxicológicas que associam os subprodutos da cloração a efeitos adversos à saúde, sustentando a adoção de estratégias de gestão e tratamento mais rigorosas nos sistemas de abastecimento de água.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A cloração da água permanece essencial para garantir a segurança microbiológica e a proteção da saúde pública. Entretanto, a formação de subprodutos da desinfecção, como trihalometanos e ácidos haloacéticos, representa um importante desafio sanitário, especialmente devido aos potenciais efeitos carcinogênicos associados à exposição crônica. Os estudos analisados demonstram que a formação desses compostos depende das características da água bruta, da presença de matéria orgânica e das condições operacionais do tratamento. Embora os riscos não carcinogênicos geralmente permaneçam dentro de limites aceitáveis, os riscos carcinogênicos frequentemente ultrapassam valores considerados negligenciáveis, evidenciando a necessidade de maior controle da segurança química da água potável.

Diante disso, torna-se fundamental otimizar os processos de tratamento, reduzir os precursores orgânicos, ajustar adequadamente a dosagem de cloro e fortalecer o monitoramento contínuo dos subprodutos ao longo da rede de distribuição. Além disso, tecnologias complementares, como ozonização, carvão ativado e radiação ultravioleta, podem contribuir para minimizar a formação de compostos potencialmente tóxicos.

Assim, conclui-se que a exposição ao cloro residual e aos subprodutos da cloração exige aprimoramento contínuo das práticas operacionais, do monitoramento e das políticas regulatórias, visando garantir não apenas a qualidade microbiológica, mas também a proteção da saúde humana a longo prazo.

REFERÊNCIAS

BACH, L. **Avaliação da formação de tri-halometanos em processos de cloração de água e estudo do efeito do pré-tratamento fundamentado no uso de radiação ultravioleta.** 2014. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação de Química da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

BAIRD, C.; CANN, M. **Química Ambiental**. 4. ed, Porto Alegre: Bookman, 2011.

BARROS, W. M. **Riscos associados a utilização do agente desinfetante cloro no tratamento de água potável**. TCC (Bacharelado em Eng. Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Paraíba, Cajazeiras, 2019

CARDADOR, M. J.; GALLEGO, M. Static headspace–gas chromatography–mass acidsin canned vegetables. **Journal of Chromatography** A, v. 1454, p. 9-14. 2016.

DAMKE, T; PASINI, F. A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil. **Revista Teccen**, [S.l.], v. 13, n. 1, p. 8-15, jan./jun. 2020.

DO, T. D. **Assessing the Impact of Chlorine Residual on Trihalomethane and Haloacetonitrile Formation Under Chlorination and Chloramination Disinfection** Regimes. Graduate Theses and Dissertations Retrieved, 2013.

DUARTE, A. A. L. S.; RODRIGUES, F. M.; RAMOS, R. A. R. **Água e saúde: análise do risco da presença de trihalometanos na água para consumo humano**, 2016.

HOSNY, G.; ELDEN, A.; ABORHYEM, S. Risk assessment of trihalomethanes in drinking water with seasonal variation considerations. **Scientific Reports**, London, v. 16, art. 5372, 2026.

KALITA, P. *et al.* Assessing the health impact of disinfection byproducts in drinking water. **ACS ES&T Water**, Washington, DC, 2024

LI, X.; ZHOU, Y.; ZHANG, Y. *et al.* Multi-route exposure assessment of disinfection by-products during household water use. **Environmental Research**, Amsterdam, v. 214, p. 113892, 2022.

MAZHAR, Mohd Aamir et al. Chlorination disinfection by-products in municipal drinking water–a review. **Journal of Cleaner Production**, v. 273, p. 123159, 2020.

MORIN, W. T.; et al. Effects of chlorination operating conditions on trihalomethane formation potential in polyaluminum chloride-polymer coagulated effluent. **Journal of Hazardous Materials,** v.285, p.103-108, 2015.

RICHARDSON, Susan D.; POSTIGO, Cristina. Drinking water disinfection by-products. **Emerging Contaminants**, v.1, n.1, p.2–19, 2015.

RIEDERER, A. M.; DHINGRA, R.; BLOUNT, B. C.; STEENLAND, K. Predictors of blood trihalomethane concentrations in NHANES 1999–2006. **Environmental Health Perspectives**, v. 122, n. 7, p. 695–702, 2014.

ROCHA, Jéssica Camila do Nascimento. **Desinfecção de efluente sanitário anaeróbio com cloro: formação de trihalometanos e inativação microbiana**. 2023. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2023.

SCHÄFER, T. N. **Monitoramento das Concentrações de trihalometanos na água para consumo humano**. 2016. 68p. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

spectrometry for thesimultaneous determination of trihalomethanes and haloacetic

U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY**. Exposures and internal doses of trihalomethanes in humans: Multi-route contributions from drinking water;** Technical Report. Cincinnati, OH: EPA, 2006.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). **Disinfectants and disinfection byproducts rule**. Washington, DC, 2018.

VILLANUEVA, C. M.; CORDIER, S.; LEVALLOIS, P. *et al.* Trihalomethanes in drinking water and bladder cancer: updated systematic review and meta-analysis. **Environment International**, Oxford, v. 182, p. 108302, 2024.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

WANG, Y.; LI, W.; LIU, J. *et al.* Formation and toxicity of disinfection by-products in chlorinated drinking water: a review. **Journal of Hazardous Materials**, Amsterdam, v. 442, p. 130012, 2023.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Guidelines for drinking-water quality: chlorine in drinking-water**. Geneva: WHO, 2017.

YANG, D.; HUANG, J.; MIN, F.; ZHONG, H.; LING, J.; KANG, Q.; LI, Z.; WEN, L. Characterization of disinfection by-products originating from residual chlorine-based disinfectants in drinking water sources. **Toxics**, Basel, v. 12, n. 11, art. 808, 2024.

ZHAI, H.; CHENG, S.; ZHANG, L.; LUO, W.; ZHOU, Y. Formation characteristics of disinfection byproducts from four different algal organic matter during chlorination and chloramination. **Chemosphere**, v.308, p.136171, 2022.

ZHANG, X. et al. Characterization of disinfection by-products originating from residual chlorine-based disinfectants in drinking water sources. **Toxics**, v.12, n.11, p.808, 2023.

ZHANG, X.; WANG, B.; CHEN, Z. *et al.* Occurrence of disinfection by-products and health risk assessment in drinking water distribution systems. **Science of the Total Environment**, Amsterdam, v. 806, p. 150492, 2022.

ANEXO A: Instruções para Autores da Revista COOPEX

Diretrizes para Autores

Condições para submissão

Como parte do processo de submissão, os autores são obrigados a verificar a conformidade da submissão em relação a todos os itens listados a seguir. As submissões que não estiverem de acordo com as normas serão devolvidas aos autores.

- Insira no sistema todos os autores do artigo. Não será permitido adicionar autores após a submissão nem ao longo do processo de revisão ou edição do artigo.
- Certificar-se da originalidade e ineditismo da submissão, ou seja, o trabalho não pode ter sido publicado anteriormente e/ ou ser submetido simultaneamente a outro periódico;
- O trabalho está alinhado às áreas temáticas e ao escopo da revista;
- O texto segue os padrões de estilo e requisitos bibliográficos descritos nos Critérios para publicação.

Critérios para publicação:

1. O corpo do texto. Os textos devem ter no máximo 6 (seis) autores, fonte Times New Roman 12, justificado e espaçamento 1,5. Recuo de parágrafo no texto de 1,25 cm. As margens devem ter 2,5 cm à direita, esquerda, superior e inferior. Deixar uma linha em

branco antes de um subtítulo (tamanho 12, espaçamento 1,5). O subtítulo deve estar em negrito e sem recuo.

Artigos originais, de revisão e relatos de experiência devem ter uma extensão mínima de 10 (dez) e máxima de 20 (vinte) páginas. Devem ter no máximo 6 (seis) autores.

As **citações** diretas longas, com mais de três linhas, devem estar em parágrafo destacado do texto, com recuo de 4 cm da margem esquerda, alinhamento justificado, em espaço simples entre linhas, espaçamento antes e depois 10, fonte Times New Roman, tamanho 10 sem aspas e sem itálico, seguida da autoria entre parênteses (Sobrenome do autor, ano, página (com espaço entre o ponto e o número da página), com ponto final depois dos parênteses.

As citações diretas, no texto, de até três linhas, devem ser contidas entre "aspas" duplas e incorporadas ao texto, sem itálico (ou qualquer outro destaque), seguidas da autoria entre parênteses (Sobrenome do autor, ano, página (com espaço entre o ponto e o número da página)).

Caso a identificação do autor seja feita no "corpo do texto", usa-se, por exemplo: Para Autor1 e Autor2 (2000, p. 43), "[...] os estudantes ...".

A citação indireta é uma construção textual feita a partir da ideia ou da opinião de um autor em uma obra que foi consultada. Nesse caso, a indicação da página consultada é opcional, mas o ano de publicação da obra é obrigatório e deve estar entre parênteses.

Quando a citação indireta é feita no corpo do texto somente a primeira letra do sobrenome dos autores em maiúscula, com o ano entre parênteses; sem colocar o número de página, por exemplo: na opinião de Autor1 e Autor2 (2000) [...].

Nunca termine uma seção com citação longa. Procure continuar com o texto de forma a estabelecer uma ligação com o item/seção seguinte.

A paginação deverá ser no lado superior direito, com a página capitular sem numeração.

2. Os artigos científicos deverão conter: Título centralizado a direita, nos idiomas: Português, Inglês e espanhol, seguindo esse mesmo critério, o Resumo, no qual deverá conter parágrafo único (100-800 palavras); espaço simples e justificado. Palavras-chave (três a cinco); Abstract: Keywords; Introdução com Revisão de Literatura; Material e Métodos; Resultados e Discussão; Considerações finais e Referências. Se necessário, fazer nota de rodapé junto ao título com Agradecimento (s), Apoios e outras Fontes Financiadoras (quando houver).
3. Os nomes dos(as) autores(as) deverão ser colocados por extenso (fonte 12), à direita logo abaixo do título, seguidos da *Formação Principal. IES. E-mail. Orcid.*

4. Logo em seguida abaixo dos nomes dos autores, onde tem*:* Autor correspondente: Nome do autor e e-mail. Colocar nesse campo o nome do autor que fez o envio do artigo, com o respectivo e-mail para contato.

Tipos de documentos aceitos para publicação

A Revista COOPEX aceita para publicação:

- Artigos de Revisão Sistemática, Estudos de caso e Revisão Bibliométrica;
- Resumos Simples e Resumos Expandidos;
- A Revista COOPEX não aceita Revisão Bibliográfica.

Critérios a serem considerados para avaliação:

- Qualidade da redação e domínio da língua;
- Qualidade no conteúdo apresentado: clareza na exposição das ideias, articulação entre as proposições, explicações claras para o leitor;
- Referencial teórico-conceitual: deve refletir o conhecimento na área determinada e ser atualizada;
- Estrutura do texto: deve conter introdução/apresentação; *f*undamentação teórica e desenvolvimento; discussão; resultados/considerações finais;
- Tema: deve ser relevante e pertinente ao contexto abordado, ao momento e à pesquisa desenvolvida;
- Avaliação preliminar pelo Conselho Editorial, o qual será examinado a adequação do trabalho, à linha editorial da revista, e a área temática;
- Deverá ser analisada a Revisão gramatical e ortográfica, bem como bibliográfica.

Resumos Simples e Resumo Expandido:

RESUMOS SIMPLES:

Título e subtítulo (se houver): deve estar na segunda linha da primeira página, em posição centralizada, com tipo de fonte verdana, tamanho 10, em negrito, com todas as letras em maiúsculo e em espaçamento entre linhas 1,5 e possuir no máximo 12 palavras.

Sobre a quantidade dos autores deverá ter no MÁXIMO 6 - COM O ORIENTADOR (caso tenha): o nome do primeiro autor deve vir duas linhas abaixo do título, alinhado à direita, com fonte verdana, tamanho 10, espaçamento simples, com primeira letra de cada nome em maiúscula e o restante em minúsculo. Uma linha abaixo do nome do primeiro autor deve

constar o vínculo institucional, contendo nome da instituição, sigla, cidade e país, separados pelo caractere "–", sem aspas. Na linha seguinte ao vínculo institucional deve constar o e-mail do autor. O nome dos demais autores (caso houver) deve constar duas linhas abaixo no nome do primeiro autor, seguido de seu vínculo institucional na linha subsequente ao nome e e-mail na linha seguinte ao vínculo institucional. NÃO devem ser utilizadas ABREVIATURAS nos nomes dos autores.

RESUMO: duas linhas abaixo do nome dos autores, o resumo deve ser na própria língua do trabalho, com no máximo 250-350 palavras. Deve-se utilizar texto com fonte verdana, justificado, tamanho 10. O resumo deve ser apresentado no formato estruturado, contendo os itens: Introdução, Objetivo, Métodos, Resultados e Conclusões.

Palavras-chave: uma linha abaixo do resumo. Deve conter entre três e cinco palavras-chave, no mesmo idioma do trabalho, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto, fonte verdana, justificado, tamanho 10, com espaçamento entre linhas simples.

Resumos Expandidos

RESUMOS SIMPLES:

Título e subtítulo (se houver): deve estar na segunda linha da primeira página, em posição centralizada, com tipo de fonte verdana, tamanho 10, em negrito, com todas as letras em maiúsculo e em espaçamento entre linhas 1,5 e possuir no máximo 12 palavras.

Sobre a quantidade dos autores deverá ter no MÁXIMO 6 - COM O ORIENTADOR (caso tenha): o nome do primeiro autor deve vir duas linhas abaixo do título, alinhado à direita, com fonte verdana, tamanho 10, espaçamento simples, com primeira letra de cada nome em maiúscula e o restante em minúsculo. Uma linha abaixo do nome do primeiro autor deve constar o vínculo institucional, contendo nome da instituição, sigla, cidade e país, separados pelo caractere "–", sem aspas. Na linha seguinte ao vínculo institucional deve constar o e-mail do autor. O nome dos demais autores (caso houver) deve constar duas linhas abaixo no nome do primeiro autor, seguido de seu vínculo institucional na linha subsequente ao nome e e-mail na linha seguinte ao vínculo institucional. NÃO devem ser utilizadas ABREVIATURAS nos nomes dos autores.

RESUMO: duas linhas abaixo do nome dos autores, o resumo deve ser na própria língua do trabalho, com no máximo 250-350 palavras. Deve-se utilizar texto com fonte verdana, justificado, tamanho 10. O resumo deve ser apresentado no formato estruturado, contendo os itens: Introdução, Objetivo, Métodos, Resultados e Conclusões.

Palavras-chave: uma linha abaixo do resumo. Deve conter entre três e cinco palavras-chave, no mesmo idioma do trabalho, separadas entre si por ponto e finalizadas também por ponto, fonte verdana, justificado, tamanho 10, com espaçamento entre linhas simples.

RESUMOS EXPANDIDO:

Os RESUMOS EXPANDIDOS deverão obedecer às normas vigentes na NBR 6028:2003 (ABNT), e ressaltar o objetivo, os métodos e os resultados provisórios ou definitivos da pesquisa/ação extensionista.

O título do resumo deverá ser em letras maiúsculas, centralizado e em negrito. O(s) nome(s) do(s) autor(es) será(ão) centralizado(s) na margem direita da folha, e cada participante deve especificar a Instituição da qual faz parte, o curso e o período em nota de rodapé. O resumo terá que conter de 500 a 800 palavras (sem contar título e palavras-chaves), não terá parágrafo e deverá seguir a ordem: INTRODUÇÃO, PROBLEMÁTICA, OBJETIVO, METODOLOGIA, FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA, e CONSIDERAÇÕES FINAIS. Será digitado em fonte *Arial*, tamanho 12, espaço simples. Depois do corpo do resumo, usar espaço duplo e inserir de 3 a 5 palavras-chaves; 3 a 10 referências bibliográficas. O resumo expandido poderá ter 6(seis) autores no máximo, incluindo o orientador.

Declaração de Direito Autoral

Os direitos autorais pertencem aos autores

Política de Privacidade

Os nomes e endereços informados nesta revista serão usados exclusivamente para os serviços prestados por esta publicação, não sendo disponibilizados para outras finalidades ou a terceiros.