

TRIHALOMETANOS EM ÁGUA: FORMAÇÃO, IMPLICAÇÕES E ALTERNATIVAS

TRIHALOMETHANES IN WATER: FORMATION, IMPLICATIONS AND ALTERNATIVES

OLIVEIRA, José Augusto Conceição¹; BERNARDO, Rodrigo de Castro¹; ARAUJO, Alessandra Silveira Antunes²

Resumo

O cloro é uma substância oxidante com características ideais para um desinfetante, por isso é amplamente utilizado em alguns países no processo de tratamento de água. Durante o tratamento, o cloro interage com a matéria orgânica podendo levar à formação de compostos tóxicos chamados de trihalometanos (THM). Este estudo tem por objetivo compreender a formação dos THM na água, verificar as quantidades aceitáveis destas substâncias pela legislação brasileira, identificar os efeitos à saúde humana e apresentar alternativas ao processo de cloração. Para isto, foi realizada uma revisão bibliográfica baseada em artigos, legislação, livros e relatórios técnicos publicados no período de 2001 a 2021. Foi observado que no Brasil, devido a defasagem do saneamento básico, há grande quantidade de matéria orgânica nos corpos d'água. Estas ao reagirem com o cloro podem gerar os THM. A absorção destas substâncias pelo organismo ocorre de forma variada e está associada à incidência de câncer de fígado, cólon e intestino, além de causar problemas no sistema nervoso, tendo ação teratogênica e abortiva. A formação de THMs na água está relacionada à demanda de cloro, portanto, quanto mais matéria orgânica na água, mais cloro é necessário para desinfetá-la. Portanto, há a necessidade de abordar novos processos que reduzam a matéria orgânica e a demanda de cloro, incluindo alternativas à cloração para desinfecção da água.

Palavras-chave: Água, Câncer, Tratamento de Água, Matéria Orgânica, Trihalometanos.

Abstract

Chlorine is an oxidizing substance with ideal characteristics for a disinfectant, which is why it is widely used in some countries in the water treatment process. During treatment, the interaction of chlorine with organic matter can lead to the formation of compounds called trihalomethanes (THM). This study aims to understand the formation of THM in water, verify acceptable compliance by Brazilian legislation, identify the effects on human health and present alternatives to the chlorination process. For this, a bibliographic review was carried out based on articles, legislation, books and technical reports published from 2001 to 2021. It was observed that in Brazil, due to the lack of basic sanitation, there is a large amount of organic matter in water bodies. These, when protected with chlorine, can generate THM. The absorption of these substances by the organism occurs in a variable way and is associated with the incidence of liver, colon and intestine cancer, in addition to causing problems in the nervous system, having a teratogenic and abortive action. The formation of THMs in water is related to chlorine demand, therefore, the more organic matter in the water, the more chlorine is needed to disinfect it. Therefore, there is a need to address new processes that reduce organic matter and chlorine demand, including alternatives to chlorination for water influence.

Key words: Water, Cancer, Water Treatment, Organic Matter, Trihalomethanes.

¹Graduando do curso de Biomedicina, Centro Universitário Unigran Capital, Campo Grande, MS, Brasil.

²Docente do curso de Biomedicina, Centro Universitário Unigran Capital, Campo Grande, MS, Brasil. E-mail: alessandra.antunes@unigran.br

Introdução

Ao longo da história da humanidade foram desenvolvidas diversas soluções para atender as demandas de água pela sociedade, como técnicas desenvolvidas para a captação, para o transporte e, inclusive, para a limpeza da água. Assim, foram criados diques, reservatórios, canais de irrigação, aquedutos e técnicas de purificação e acondicionamento (Yevjevich, 2009).

Ainda na antiguidade, a preocupação com a disponibilidade de água potável e adequada ao consumo já era existente, de modo que protocolos de conservação e métodos de purificação foram criados por diferentes civilizações. Exemplos disso, estão no uso de sulfato de alumínio pelos egípcios há 2000 a.C. para o clareamento da água e o uso de carvão e sais de alumínio pela cultura sino-indiana na decantação de impurezas, processo relatado em registros históricos daquela região. Na Roma antiga, a água utilizada pelos nobres, oriunda dos aquedutos, era filtrada por areia e cascalho, sendo armazenada em jarros junto a prata coloidal, substância com ação antibacteriana (Yevjevich, 2009).

O crescimento exponencial da população e o processo de urbanização desordenado, que fizeram aumentar significativamente a demanda por água para atender as necessidades da sociedade, resultaram em vários impactos negativos. Dentre estes, destacam-se a grande geração de efluentes e a contaminação dos corpos d'água.

A poluição das águas pode ter origem natural ou antrópica. A poluição natural ocorre por eventos naturais como animais e plantas mortos, excretas de animais, atividade microbiológica e materiais provenientes de matas ciliares, levando a agregação de Matéria Orgânica Natural (MON) na água. A poluição antrópica é ocasionada pelo lançamento direto de efluentes domésticos e industriais sem tratamento nos corpos d'água. Os efluentes domésticos, quando lançados nos rios, lagos e mares sem passar por qualquer tipo de

tratamento, causam impactos negativos na água, devido à presença de sólidos dissolvidos, de matéria orgânica (MO), de nutrientes e de organismos patogênicos (Instituto Trata Brasil, 2012).

As condições e padrões estabelecidos para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores são regulamentadas pela Resolução nº 430/2011 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Dentre as determinações está o veto ao lançamento de Poluentes Orgânicos Persistentes - POP, resíduos domésticos, agropecuários, de aquicultura, ainda que tratados, sendo este veto, uma medida visando uma redução da multiplicação de MO na água causada por meios antrópicos.

O saneamento adequado é a resposta necessária para se encontrar um equilíbrio e controle entre esse consumo dos recursos naturais e o fator de poluição que ele acarreta, de modo a preservar as condições ambientais e, inclusive, preservar a qualidade de vida da população e facilitar a atividade econômica. O esgotamento sanitário e o abastecimento de água são duas das quatro grandes áreas do saneamento que tem implicação direta nos corpos aquáticos e na saúde pública (SNIS, 2021).

No Brasil, o tratamento de efluentes é realizado com a utilização de cloro, um desinfetante cuja utilização varia de acordo com a quantidade de MO presente na água a ser tratada e também, com a extensão da rede de distribuição. A cloração neutraliza microrganismos e outras impurezas devido a reações de oxirredução. Entretanto, a reação do cloro com a MO e microrganismos presentes na água, leva a formação, durante o processo de tratamento e na própria rede de distribuição, de substâncias chamadas trihalometanos (THM). A água com estes subprodutos da cloração é inadequada para consumo e pode causar problemas no sistema nervoso central, rins e fígado, tendo ainda ação cancerígena, teratogênica e abortiva (SABESP, 2017).

Em vista dos fatos e problemas decorrentes da cloração no tratamento da água, este estudo tem por objetivos

compreender a formação de subprodutos de desinfecção de água pelo uso do cloro (THM), ressaltar as quantidades aceitáveis dessa substância que estão estabelecidas em lei no Brasil, identificar os efeitos nocivos dos THM à saúde humana e apresentar alternativas existentes de desinfecção à cloração.

Material e Métodos

Neste estudo foi realizada uma revisão bibliográfica em um levantamento que buscou dados e informações em artigos, livros, legislações, trabalhos de conclusão de curso, dissertações e teses. Foram consultadas as plataformas digitais Scientific Eletronic Library Online (SciELO), Google acadêmico, Science Direct, PubMed e World Health Organization, como meios de pesquisa. Foram usados como descritores: trihalometanos, cloração das águas, desinfecção das águas, trihalometanos e a saúde, toxicidade dos trihalometanos e potabilidade da água.

Foram incluídos neste estudo os materiais, publicados na íntegra, em língua portuguesa e inglesa, que apresentaram o efeito dos THM no organismo humano e a possibilidade de purificação da água com a utilização de outras técnicas. Com exceção das informações consultadas em livros acerca do tema central deste trabalho, foram utilizados na confecção deste artigo, materiais publicados no período compreendido entre os anos de 2001 a 2021.

Resultados e Discussão

No Brasil, o saneamento básico se encontra atualmente defasado, principalmente, quanto ao esgotamento sanitário, uma consequência da falta de investimento e planejamento (Souza; Santos, 2016). De acordo com o Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto referente ao ano de 2019, publicado em 2021, pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, apenas 90% dos estados que possuem coleta de esgoto (Quadro 1) possuem tratamento para o esgoto coletado. Este valor é muito baixo considerando que o índice de coleta não é alto. Esta situação evidencia que está ocorrendo um lançamento direto e acentuado dos efluentes domésticos nos corpos d'água, aumentando assim, a quantidade de MO nas águas.

A concentração de poluentes e de MO confere a água diversas propriedades que a tornam imprópria para o uso direto, tanto para o consumo quanto para atividades, sendo necessário submetê-la a um processo de tratamento em que são utilizados produtos desinfetantes para a purificação e para o controle microbiológico, como cloraminas, dióxido de cloro, permanganato de potássio, peróxido de hidrogênio, ozônio e cloro (Filho; Sakaguti, 2008). Compostos clorados estão presentes no tratamento de água desde o começo da história da desinfecção, datando do início do século XX (Costa *et al.*, 2015).

Quadro 1. Índice médio de atendimento urbano com rede coletora de esgotos no Brasil no ano de 2019.

Índice médio	Estados
Acima de 70%	Distrito Federal, São Paulo, Paraná, Minas Gerais e Roraima.
de 40 a 70 %	Rio de Janeiro, Espírito Santo, Mato Grosso do Sul, Bahia, Goiás, Paraíba e Mato Grosso.
de 20 a 40%	Rio Grande do Sul, Tocantins, Ceará, Sergipe, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Alagoas, Santa Catarina e Piauí.
de 10 a 20%	Maranhão, Acre e Amazonas.
inferior a 10%	Amapá, Pará e Rondônia.

Fonte: Adaptado de SNIS, 2021.

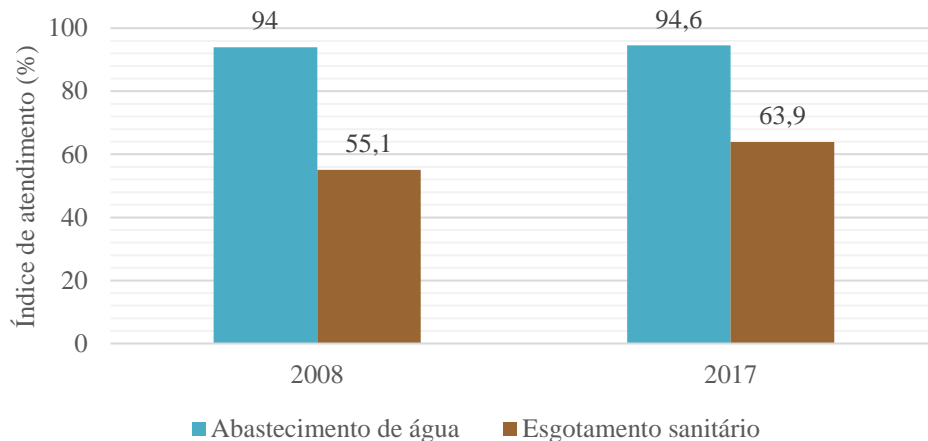


Figura 1. Índice de abastecimento de água e de esgotamento sanitário no Brasil nos anos de 2008 e de 2017.
Fonte: Adaptado de IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (2008-2017).

O tratamento convencional adotado no Brasil, nas Estações de Tratamento de Água – ETA, é realizado utilizando-se processos físicos, químicos e

microbiológicos. Uma breve descrição das etapas que compõem o tratamento é apresentada no Quadro 2.

Quadro 2. Descrição das etapas que compõe o tratamento convencional de água no Brasil na ETA.

Etapa		Descrição do processo
1	gradeamento	retenção de resíduos sólidos maiores.
2	pré-cloração	adição de um oxidante, como o hipoclorito, para oxidação antecipada de MO.
3	coagulação	desestabilização da carga elétrica da matéria em suspensão, permitindo sua aglutinação
4	correção de pH	adição de alcalinos como óxido de cálcio (CaO), carbonato de sódio (Na ₂ CO ₃).
5	floculação	agitação para a interação e aglutinação da matéria em suspensão, utilizando aglutinantes como polieletrólitos e polímeros sintéticos.
6	decantação	deposição dos flocos formados pela agregação dos colóides na flocculação.
7	filtração	passagem da água por materiais porosos que retém colóides restantes e outras impurezas.
8	desinfecção	inativação de vírus e bactérias, sendo a cloração a mais largamente utilizada.
9	fluoretação	adição de flúor na água para fins de saúde pública.

Fonte: Adaptado de Antunes e Barbosa, 2013.

Segundo Filho e Sakaguti (2008), o cloro dissolvido em água (cloro livre) que é utilizado na etapa de desinfecção é estável, porém, sua concentração sofre um decaimento com o passar do tempo, tornando-se cada vez mais reduzida. Nas redes de distribuição esse decaimento é uma

realidade, visto que o cloro livre é um forte oxidante, que reagirá qualquer MO, compostos ferrosos (Fe²⁺), cátions de manganês (Mn²⁺) e sulfeto de hidrogênio (H₂S) que encontrar, reduzindo a sua concentração gradualmente até que não haja mais efeito desinfetante. Este processo

engloba também condições como o pH, tempo de contato e temperatura, além da concentração de MO (Araújo, 2021; Cesco, 2007).

A cloração pode ser realizada por meio de diferentes compostos contendo cloro como o hipoclorito de sódio (NaOCl), dióxido de cloro (ClO₂), hipoclorito de cálcio (Ca(OCl)₂) e gás cloro (Cl₂) (Araújo, 2021).

Quando um halogênio (cloro, flúor, bromo e iodo) reage com a MO, cerca de 700 subprodutos químicos, conhecidos como Subprodutos Orgânicos Halogenados (SOH),

podem ser formados. Esses compostos são estáveis, não se oxidam facilmente, não são combustíveis e não são inflamáveis. Dentre eles, as classes com maior concentração são os THM e os ácidos haloacéticos (AHA). Os THM possuem uma forma estrutural derivada do metano (CH₄) em que três dos quatro átomos de hidrogênio originais do hidrocarboneto podem ser substituídos por um, dois ou três halogênios, formando diferentes compostos (Figura 2) (Zarpelon; Rodrigues, 2002).

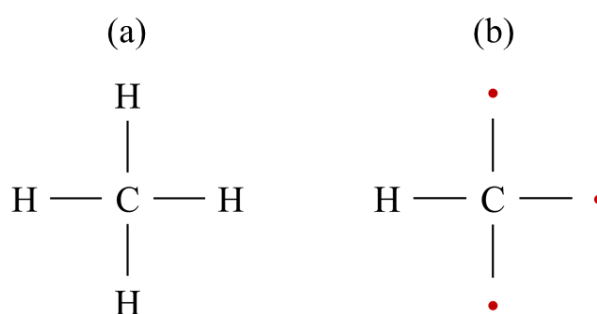


Figura 2. Comparação das formas estruturais entre metano (A) e Trihalometanos (B). Os pontos em B são as posições que podem ser ocupadas pelos halogênios cloro, bromo ou iodo.
Fonte: Autores (2022).

Dentre os compostos possíveis, o bromodiclorometano (CHCl₂Br) e o triclorometano (CHCl₃) são considerados potenciais cancerígenos ao homem e de variada absorção pelo organismo (IARC, 2014; FILHO e SAKAGUTI, 2008). Quanto maiores as concentrações desses compostos na água, maior o risco carcinogênico (Zarpelon; Rodrigues, 2002).

A legislação brasileira, por meio da Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, determina a concentração mínima de 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado ou 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição, incluindo-se o reservatório e a rede, e nos pontos de distribuição. Esta portaria também estabelece que o valor máximo permitido (VMP) de THM em água é de 0,1 mg/L. Este

VMP corrobora com a recomendação da Organização Mundial da Saúde OMS e da Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency - EPA*). Destaca-se que quanto maior a quantidade de MO presente na água, maior é a demanda por cloro e mais SOH podem ser gerados (Boccelli *et al.*, 2003).

As vias de absorção dos THM aos humanos são diversas: inalatória, percutânea e através de mucosas (WHO 2017), o que significa que sua absorção pode ocorrer facilmente em atividades cotidianas como o banho, serviço doméstico, alimentação e hidratação e quanto maior o tempo de exposição, maior a dose absorvida. Esses compostos não se acumulam, porém, uma pequena porção pode ser transformada em outros ao entrar no organismo. Os sinais e sintomas mais comuns em humanos após alta exposição a THM (equivalente a 1 a 4 gotas de tribromometano) são diminuição da

atividade cerebral, letargia, sonolência e síncope (ATSDR, 2005).

Pesquisas em animais evidenciaram que a exposição a quantidades agudas de THM, como tribromometano (CHBr_3) e dibromoclorometano (CHClBr_2), pode causar problemas no sistema nervoso, danos ao fígado e aos rins. A ingestão a longo prazo de pequenas quantidades desses compostos também desencadeou a formação de câncer hepático e renal, além de estar ligada à incidência de câncer de cólon e de intestino (IARC, 2014; ATSDR, 2005). Apesar desses resultados em animais, faltam pesquisas que demonstrem os reais efeitos no corpo humano, bem como os mecanismos de ação desses compostos, uma vez que a Agência Internacional de Pesquisa em Câncer (IARC) aponta apenas sua possibilidade carcinogênica (IARC, 2014).

Os subprodutos tóxicos da cloração são um grave problema de saúde pública e um risco crônico que leva a considerar alternativas à desinfecção da água no país ou a mudanças em todo o processo, visando a redução de MO antes da fase de desinfecção, visto que uma maior presença de MO, conseqüentemente, leva a uma maior formação de THM (Bocelli *et al.*, 2003).

Assim, três abordagens podem ser consideradas para reduzir ou eliminar o problema: redução de MO antes da desinfecção, alternativas ao cloro na desinfecção ou remoção de THM assim que eles são formados (CESCO, 2007). Os THM gerados durante a desinfecção podem ser removidos por carvão ativado, devido a ampla propriedade de adsorção desse material (MARMO *et al.*, 2006). O cloro residual, no entanto, continuará a formar THM na rede de distribuição (SILVA, 2017). Possíveis manutenções na rede também podem incluir MO e contaminantes biológicos que reagirão com o cloro residual, dado que são os precursores do SOH (Filho, 2019).

O carvão ativado também pode ser utilizado para reduzir a quantidade de MO na água antes da desinfecção, mas sua implementação no processo pode representar

custos elevados. Quando a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA) propôs, em suas primeiras resoluções sobre os THM, em 1974, o uso do carvão ativado como requisito no tratamento de águas superficiais, isso foi rapidamente rejeitado pela indústria hídrica daquele país, tamanha a complexidade e custos adicionais (Alley; Alley, 2020).

O permanganato de Potássio (KMnO_4), as cloraminas, o dióxido de cloro (ClO_2), o ácido hipocloroso (HOCl) e o peróxido de hidrogênio (H_2O_2) são algumas substâncias alternativas ao cloro que muitas vezes são usadas individualmente ou em combinação e que também têm efeitos bactericidas e mineralizantes (Araújo, 2021). Esses, no entanto, embora não gerem THM, geram outros halofórmios e subprodutos tóxicos de difícil remoção, muitos dos quais com efeitos desconhecidos e não estudados (Bach, 2014).

Um método de desinfecção sem o uso de produtos químicos e sem a geração de produtos residuais significativos é o uso do sistema de radiação ultravioleta (UV). A incidência de raios UV, cujo comprimento de onda está entre 200 nm e 400 nm, pode causar danos ao DNA e estruturas moleculares de organismos vivos, incluindo patógenos (BACH, 2014). A incidência de UV provoca a oxidação fotoquímica de ácidos húmicos, podendo gerar alguns subprodutos tóxicos, porém não gera subprodutos na distribuição, pois sua ação é local e limitada ao funcionamento do sistema (Bach, 2014).

Tal como o cloro, o gás ozônio é um potente oxidante ($E^0 = 2,1 \text{ V}$) e parcialmente solúvel em água (12 mg dm^{-3} ; $25 \text{ }^\circ\text{C}$), conseguindo degradar diversos compostos orgânicos insaturados com dupla ligação. Na reação com a MO, formam-se radicais hidroxila, que possuem um potencial de redução ainda maior que o ozônio ($E^0 \cong 2,7 \text{ V}$) e possuem rápida cinética de reação, oxidando uma gama de compostos (MAHMOUD e FREIRE, 2007). Assim, o ozônio e o radical hidroxila gerados são, juntos, os principais agentes envolvidos na

mineralização de MO por ozonização (Lima *et al.*, 2021).

O poder oxidante do ozônio e das hidroxilas pode causar a degradação tanto da membrana quanto do ácido nucleico dos microrganismos, o que o torna um desinfetante capaz de inativar diversos patógenos (Araújo, 2021). Além disso, a ozonização também pode ser usada para o clareamento da água (Mahmoud; Freire, 2007). Países europeus como o Reino Unido e Holanda usam a ozonização para esse fim, enquanto os Estados Unidos, Áustria e Suíça a utilizam para fins bacteriológicos. Outros países como Alemanha, Canadá e Japão utilizam a ozonização para a remoção de MO (Araújo, 2021).

No Brasil, porém, além da observância a alternativas de desinfecção, é necessário investir amplamente em saneamento e em maior conscientização da população para reduzir as concentrações de MO nas águas de captação, situação onde a geração de altas concentrações de THM é inevitável na água que será distribuída e consumida por todos. A melhoria da qualidade de água no país é um assunto urgente e medidas conjuntas podem ser mobilizadas por parcerias público-privadas e sociais (como realizam os países desenvolvidos), para estimular o avanço do saneamento básico e métodos alternativos de desinfecção com mínima ou nula geração de subprodutos. Assim, evita-se o risco crônico trazido pela ingestão e exposição variada aos THM, com seus consequentes impactos (Souza; Santos, 2016).

Conclusão

Conforme os dados apresentados, a reação da MO com o cloro utilizado no tratamento da água gera variados subprodutos durante e após este processo de tratamento. Segundo confirmam pesquisas do IARC e de diversos países, essas substâncias (THM) tem potencial carcinogênico e toxicológico variado, representando um risco crônico. Não obstante serem gerados na água utilizada para

consumo, essas substâncias podem ser absorvidas pela pele e pelas mucosas, em quase todas as atividades que envolvam o uso desta água.

Apesar de sua toxicidade, o cloro ainda é utilizado em alguns países por uma questão de custo-benefício. Com isso, faz-se necessário a redução da MO presente na água a fim de que a geração de THM seja também diminuída. Métodos alternativos de desinfecção também devem ser considerados para a redução do uso do cloro no tratamento da água, uma vez que são utilizados com sucesso em países desenvolvidos, tanto na assepsia como no clareamento da água.

Referências Bibliográficas

ALLEY, W. M.; ALLEY, R. **The War on the EPA: America's Endangered Environmental Protections**. [S. l.]: Editoras Rowman & Littlefield, 2020. 304 p. ISBN 978-1538131503.

ANTUNES, R. M.; BARBOSA, S. M. M. **Tratamento de Resíduos e Efluentes**. Pelotas, Rio Grande do Sul: Instituto Federal Sul-rio-grandense - IFSUL, 2013. 222 p.

ARAÚJO, G.R.A. **Integração da ozonização com processos físico-químicos no tratamento de água bruta para abastecimento**. 2021. 166 p. Dissertação (Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, Paraná, 2021.

ATSDR. **Toxicological Profile for Bromoform and Dibromochloromethane**. USA: Agency for Toxic Substances and Disease Registry, 2005. 273 p.

BACH, L. **Avaliação da Formação de Trihalometanos Em Processos de Cloração de Água e Estudo do Efeito do Pré-tratamento Fundamentado no Uso de Radiação Ultravioleta**. Dissertação (Mestre em Química, no Programa de PósGraduação em Química) - Universidade Federal do Paraná - UFPR, Curitiba, Paraná, 2014.

BOCELLI, Dominic L *et al.* A Reactive Species Model for Chlorine Decay and THM Formation under Rechlorination Conditions. **Water Research**, USA, v. 37, ed. 11, p. 2654–2666, 31 jan. 2003.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria nº 888 de 04 de maio de 2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade – Brasília**, 2021.

- CESCO, D. D. **Avaliação em escala real da formação de THMs em águas de abastecimento**. 2007. 85 f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - UNESP, Ilha Solteira - SP, 2007.
- CONAMA. Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Resolução nº 430, de 13 de maio de 2011**, Brasil: Ministério do Meio Ambiente, 12 maio 2011.
- COSTA, C. B, GUEKEZIAN, M. **Determinação de sulfeto de hidrogênio em gás natural via cromatografia gasosa com detecção de quimiluminescência**. Revista Mackenzie de engenharia e computação, São Paulo, V.15, nº1, p 64-74,2015.
- FILHO, J.W.S. **Inovações Tecnológicas para o Tratamento de Água para Consumo Humano**. Tese (Programa de PósGraduação Multicêntrico em Química) - Universidade Federal do Triângulo Mineiro - UFTM, Uberaba, 2019.
- FILHO, S. S. F.; SAKAGUTI, M. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Eng. Sanit. Ambient**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 198-206, 2008.
- IARC. **Chlorinated Drinking-Water, Chlorination By-Products, Some Other Halogenated Compounds, Cobalt and Cobalt Compounds (IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risks to Humans, 52)**. 1. ed. Geneva: World Health Organization, 2014. 544 p. ISBN 978-9283212522.
- IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento básico: Abastecimento de água e esgotamento sanitário**. 6. ed. Rio de Janeiro, Brasil: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2017. 124 p. ISBN 978-65-87201-11-5.
- Instituto Trata Brasil. **Manual do Saneamento Básico – Entendendo o saneamento básico ambiental no Brasil e sua importância socioeconômica**. 2012. Disponível em: <<https://www.tratabrasil.org.br/datafiles/uploads/estudos/pesquisa16/manual-imprensa.pdf>> Acesso em: 10 de set. de 2021.
- LIMA, M. J. A.; FELIX, E. P.; CARDOSO, A. A. Aplicações e Implicações do Ozônio na Indústria, Ambiente e Saúde: Arnaldo A. Cardoso. **Química Nova**, Brasil, v. 44, n. 9, p. 1151-1158, 29 mar. 2021.
- MAHMOUD, A.; FREIRE, R. S. Métodos Emergentes para Aumentar a Eficiência do Ozônio no Tratamento de Águas Contaminadas. **Química Nova**, Brasil, v. 30, n. 1, p. 198-205, 1 jan. 2007.
- MARMO, C R. Remoção de trihalometanos (THM) em águas de abastecimento por tratamento convencional e adsorção em carvão ativado em pó (CAP). **XXX Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental**, Punta del Este - Uruguay, p. 1-9, 30 nov. 2006.
- SABESP. Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Tratamento de água, 2017**. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?scaoId=47>> Acesso em: 09 de set. de 2021.
- SILVA, G.A.B. **Decaimento de Cloro Residual Livre em Reservatórios de Distribuição de Água da Cidade de Campina Grande - PB**. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, Campina Grande - PB, 2017.
- SNIS, SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO. **Panorama do Saneamento Básico no Brasil: 2021**. Brasil: Secretaria Nacional de Saneamento, 2021. 206 p.
- SOUZA, M. M.; SANTOS, A. S. P. Água potável, água residuária e saneamento no Brasil e na Holanda no âmbito do Programa de Visitação Holandês – DVP: Dutch Visitors Programme. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Brasil, v. 21, n. 2, p. 387-395, 1 jun. 2016.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Guidelines for Drinking-water Quality**. 4. ed. Geneva: World Health Organization, 2017. 631 p. ISBN 978-92-4-154995-0.
- YEVJEVICH, V. Water and Civilization. **Water International**, Colorado, v. 17, ed. 4, p. 163-171, 22 fev. 2009.
- ZARPELON, A.; RODRIGUES, E. M. Os trihalometanos na Água de Consumo Humano. **Sanare – Revista Técnica da Sanepar**, Paraná, n. 17, p. 24-42, 1 jun. 2002.