



## I-730 - ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NO PERÍMETRO IRRIGADO SENADOR NILO COELHO EM PETROLINA, PERNAMBUCO

### **Bianca Rodrigues Santos** <sup>(1)</sup>

Graduanda em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Bolsista PET Saneamento Ambiental.

### **Iana Anunciada de Souza** <sup>(2)</sup>

Licenciada em Química pelo IFSertãoPE; Pós-graduada em Metodologia do Ensino de Biologia e Química pelo Centro Universitário UNIFAEL; Técnica da Compesa.

### **Vitor Marcos de Lima Santos** <sup>(3)</sup>

Graduando em Engenharia Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal do Vale do São Francisco, Bolsista PET Saneamento Ambiental.

### **Giovanna Carolina Pereira da Paixão** <sup>(4)</sup>

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Vale do São Francisco. Bolsista PET Saneamento Ambiental.

### **Miriam Cleide Cavalcante Amorim** <sup>(5)</sup>

Doutora em Engenharia Química; Docente na Universidade Federal do Vale do São Francisco; Tutora PET Saneamento Ambiental.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus Juazeiro-BA - Juazeiro – Bahia - CEP: 48902-300 – Brasil - Telefone: (87) 9163.8415- E-mail: [bianca.rodrigues@discente.univasf.edu.br](mailto:bianca.rodrigues@discente.univasf.edu.br).

## RESUMO

A desinfecção da água é crucial para garantir a potabilidade e a segurança do abastecimento para consumo humano. A Portaria GM/MS nº 888/2021 estabelece a obrigatoriedade de processos de desinfecção para eliminar microrganismos patogênicos. A utilização de cloro como desinfetante, embora eficaz e de baixo custo, pode resultar na formação de subprodutos prejudiciais à saúde, como os Trihalometanos (THMs), quando em contato com matéria orgânica na água. Os THMs, que incluem clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio, são potencialmente carcinogênicos e podem causar problemas no sistema reprodutivo. Este estudo visa avaliar o potencial de formação de THMs decorrente da aplicação de cloro na água bruta dos canais do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, em Petrolina, Pernambuco. A metodologia incluiu a coleta de amostras de água, tratamento com cloro, e análises físico-químicas e microbiológicas. A determinação de Trihalometanos totais mostrou valores de 0,033 mg/L em N2 e 0,066 mg/L em N4, ambos dentro dos limites permitidos pela legislação brasileira, sendo obtidos em todas as condições resultados eficazes na desinfecção. As conclusões indicam a necessidade de monitoramento contínuo e a implementação de práticas que reduzam a matéria orgânica antes da desinfecção, visando mitigar a formação de subprodutos prejudiciais à saúde.

**PALAVRAS-CHAVE:** Água bruta, Monitoramento, Subprodutos da cloração, THM.

## INTRODUÇÃO

A desinfecção da água é um procedimento fundamental para garantir a potabilidade e a segurança do abastecimento de água para consumo humano. A Portaria GM/MS Nº 888 (BRASIL, 2021), reforça essa importância ao determinar, no Art. 24, que toda água fornecida coletivamente para consumo humano deve passar por um processo de desinfecção ou adição de desinfetante para manutenção dos residuais mínimos. Isso é essencial para a eliminação de microrganismos patogênicos que podem causar doenças de veiculação hídrica. Além disso, o Art. 32 da mesma portaria estabelece a obrigatoriedade de manter, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre ou 2 mg/L de cloro residual combinado, ou ainda 0,2 mg/L de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição, incluindo reservatórios, redes e pontos de consumo. O cloro é



o desinfetante mais utilizado no tratamento de água potável em todo o mundo, devido ao seu baixo custo e à alta eficácia (Shi et al., 2024). Todavia, durante o processo, quando em altas concentrações e na presença de matéria orgânica, o cloro pode vir a originar subprodutos prejudiciais à saúde humana.

Portanto a prática da cloração tem sido questionada devido ao risco químico associado à formação de compostos organo-halogenados. Estudos indicam que esses subprodutos, são potencialmente carcinogênicos e podem causar outros efeitos adversos à saúde, como problemas no sistema reprodutivo (Guay, Rodriguez, & Sérodes, 2005). Existem quatro principais tipos de Trihalometanos (THMs): clorofórmio (triclorometano,  $\text{CHCl}_3$ ), bromodichlorometano ( $\text{CHBrCl}_2$ ), dibromochlorometano ( $\text{CHBr}_2\text{Cl}$ ) e bromofórmio (tribromometano,  $\text{CHBr}_3$ ), e a soma dessas substâncias é conhecida como THM totais (Latifoglu, 2003).

O mecanismo de formação dos THMs envolve reações entre o cloro e compostos orgânicos, como ácidos húmicos e fúlvicos, presentes na água bruta. A matéria orgânica na água, pode ser de origem natural ou antrópica. Fatores como pH, temperatura, concentração de cloro, tempo de contato e as propriedades da matéria orgânica influenciam significativamente a quantidade de THMs (Du et al., 2017), como também nos ácidos haloacéticos (HAAs) e haloacetoneitrilas (HANs), que são prejudiciais à saúde humana (Sharma et al., 2021).

Por essa razão, a Portaria classifica os trihalometanos como subprodutos da desinfecção que representam riscos à saúde, sendo necessário seu monitoramento bimestralmente na rede de abastecimento, delimitando um valor máximo permitido para os trihalometanos totais de 0,1 mg/L. Existe uma preocupação crescente em avaliar o potencial de formação de THM's (Aleid et al., 2024) mesmo porque, sabe-se que há práticas nas quais faz-se o uso do cloro em águas não submetidas ao tratamento de clarificação e, portanto, sujeitas a maiores potenciais de formação dos THMs, devido à sua carga de matéria orgânica não removida.

Há áreas rurais que são deficientes em sistemas de tratamento e de distribuição, sendo a água consumida pela população originária de sistemas alternativos e de carros-pipa (Ragazzon & Grabaski, 2009), e na maioria das vezes clorada sem nenhum tratamento prévio. Logo, monitorar o potencial de formação do subproduto em sistemas de distribuição de água nas zonas rurais, torna-se crucial, principalmente por estudos já estarem indicando sua presença no processo de lavagem de vegetais (Coroneo et al., 2017).

No município de Petrolina, Pernambuco, um dos grandes sistemas de distribuição de água está no projeto público de irrigação Nilo Coelho. Este projeto ocupa 64,4% da sua superfície irrigável com pequenos produtores e inclui onze núcleos habitacionais, além de muitos empreendimentos e instituições (CODEVASF, 2020). Constitui um dos projetos de maior relevância e impacto para a população local, destacando-se pela sua importância econômica e social. Portanto, é crucial o desenvolvimento de estudos que monitorem e avaliem parâmetros de qualidade da água ligados diretamente à saúde pública, como os trihalometanos (THMs).

O objetivo deste estudo é avaliar o potencial de formação dos trihalometanos decorrente da aplicação de cloro na água bruta dos canais do Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, situado na região rural de Petrolina, Pernambuco. O monitoramento desses subprodutos é particularmente importante em áreas rurais onde o tratamento da água pode ser inadequado ou inexistente, aumentando o risco de exposição da população a contaminantes prejudiciais à saúde (Aleid et al., 2024; Shi et al., 2024).

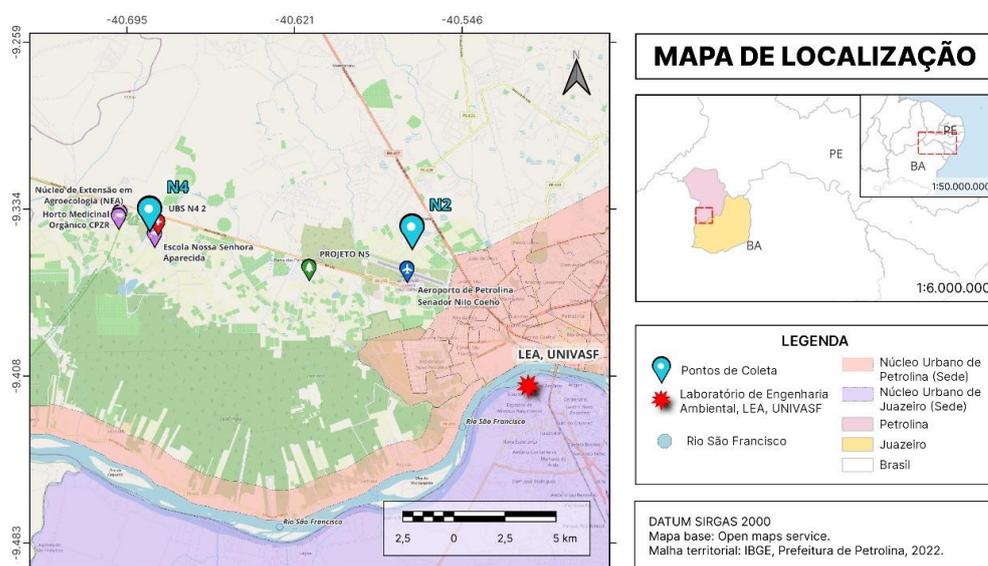
## **METODOLOGIA UTILIZADA**

### **Caracterização da área de estudo**

O estudo foi conduzido no Perímetro Irrigado Senador Nilo Coelho, abastecido pelo Rio São Francisco, no município de Petrolina, Pernambuco. A escolha dos pontos de coleta foi pautada por critérios que levaram em consideração a presença de atividade agrícola, núcleos habitacionais, infraestrutura, bem como o abastecimento dos núcleos com água diretamente do canal ausente de qualquer tratamento. Os pontos de coleta selecionados foram os núcleos: N2 e N4.

**Tabela 1: Descrição dos pontos amostrais e coordenadas geográficas.**

Ponto de Coleta	Coordenada geográfica
N2	09°20'38.7" S 40°34'05.9" W
N4	09°20'09.9" S 40°41'06.7" W

**Figura 1: Mapa de Localização**

### Na Coleta de amostras de água e tratamento por cloração

A coleta de amostras da água foi realizada em 26 de julho de 2023 no turno matutino. Parte das amostras foram cloradas com dicloroisocianurato de sódio a 56% com tempo de contato de 1 hora e o processo foi interrompido com a adição de tiosulfato de sódio. A concentração de cloro utilizada foi de 5 mg/L, determinada como ideal por meio de testes para manter um residual livre de cloro na água de no mínimo 2,0 mg/L, conforme exigido pela norma vigente.

O tratamento com tempo de contato de 1 hora (T1) para a ação do agente desinfetante foi selecionado, superando o tempo recomendado de 30 minutos pela Fundação Nacional de Saúde (FUNASA) para tratamento domiciliar, como no caso dos residentes do Perímetro Irrigado, a fim de ser implementado o tratamento mínimo adequado da água para consumo humano.

### Caracterização das amostras

A água bruta (B) e clorada (T1) foram caracterizadas quanto aos seguintes parâmetros segundo as diretrizes do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (Rice et al, 2012): turbidez, cor, pH, cloro residual livre, DBO (Demanda bioquímica de oxigênio) e análise microbiológica atestando a presença ou ausência de coliformes totais. A análise microbiológica foi realizada pelo método Colilert.



## Análise de Trihalometanos

A determinação de trihalometanos, sendo eles o clorofórmio, bromodiclorometano, dibromoclorometano e bromofórmio; foi realizada na Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), pelo método de cromatografia gasosa baseado em metodologia da USEPA 551.1 (1995).

## RESULTADOS OBTIDOS

### Caracterização Físico-química

A Tabela 2 explicita os valores obtidos para os parâmetros físico-químicos dos pontos de coleta (turbidez, cor, pH, demanda bioquímica de oxigênio (DBO)), e cloro residual livre após tempo de contato de 1 hora com solução de cloro (CRL T1).

**Tabela 2: Parâmetros físico-químicos das amostras.**

Ponto de Coleta	Turbidez	Cor	pH	CRL T1	DBO
N2- B	0,99 uT	16,6 uC	5,52	-	10 mg/L
N2-T1	1,62 uT	14,0 uC	5,70	2,8 mg/L	10 mg/L
N4-B	0,62 uT	16,3 uC	6,04	-	5 mg/L
N4-T1	0,50 uT	12,9 uC	6,20	3,0 mg/L	5 mg/L

### Análise Microbiológica

Na Tabela 3 encontram-se os resultados da análise de coliformes totais nas amostras por pontos, sendo caracterizadas pela presença ou ausência destes microrganismos.

**Tabela 3: Análise microbiológica.**

Ponto de Coleta	Bruta	Tratada (T1)
N2	Presença	Ausência
N4	Presença	Ausência

### Determinação de Trihalometanos

A Tabela 4 apresenta o valor total de trihalometanos nos dois pontos de análise, sendo este o parâmetro determinado pela Portaria 888 para monitoramento da potabilidade da água. Adicionalmente, o gráfico da Figura 2 caracteriza a quantidade de trihalometanos individuais nos pontos submetidos à cloração, classificado nas quatro principais substâncias: bromodiclorometano, bromofórmio, clorodibromometano e clorofórmio.

**Tabela 4: Análise de trihalometanos totais.**

Ponto de Coleta	Totais
N2-T1	0,033 mg/L
N4- T1	0,066 mg/L

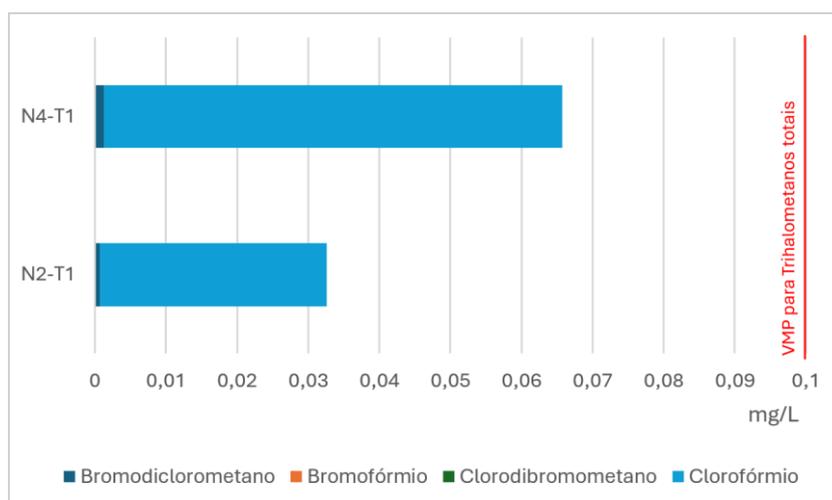


Figura 2: Gráfico da presença de compostos trihalometanos individuais.

## ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

### Caracterização físico-química da água bruta e clorada

O uso e ocupação da área pode impactar na qualidade da água relacionadas aos despejos domésticos e ao plantio agrícola em áreas marginais ao canal. Segundo Stewart (1994), essa prática é preferida por pequenos produtores pelo baixo investimento de capital e à utilização reduzida de fertilizantes. Isso implica na geração de matéria orgânica próxima aos canais de abastecimento, influenciando nas características da água.

Nesse contexto, observou-se que os valores de cor nos pontos brutos excedem os limites permitidos. É importante destacar que parcela desses valores estão associados à presença de sólidos em suspensão na cor aparente, conforme define Von Sperling (1996), embora a turbidez nestes pontos esteja dentro dos limites aceitáveis estabelecidos pela legislação. Adicionalmente, nos pontos N2-B, N2-T1, N4-B e N4-T1, o pH foi diretamente influenciado pela quantidade de matéria orgânica a ser decomposta; pois à medida que a disponibilidade dessa matéria aumenta, o pH diminui devido ao processo de biodegradação, resultando em ácidos orgânicos e gás carbônico, conforme destacado por FIA (2015).

A quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica, medida pela Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), manteve-se estável em 5 mg/L de O<sub>2</sub> em todos os pontos, exceto nos locais N2-B e N2-T1, onde os valores atingiram 10 mg/L de O<sub>2</sub>. Essa variação resulta em uma classificação diversificada dos corpos d'água, com os pontos de 5 mg/L enquadrados na Classe 2 e os pontos de 10 mg/L na Classe 3, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Este enquadramento em diferentes classes no mesmo corpo hídrico é possível pois os pontos de coleta situam-se em regiões distantes entre si, após ramificação do canal principal em canais secundários, que abastecem os núcleos habitacionais.



A cloração é uma técnica eficaz não apenas para a desinfecção, mas também para a oxidação de compostos orgânicos e inorgânicos responsáveis pela cor na água, como ácidos húmicos, fúlvicos e minerais. Esses compostos são oxidados pelo cloro, resultando na redução da cor da água (Von Sperling, 2020; Wang et al., 2023). A eficiência da remoção de cor pela cloração é influenciada por fatores como pH, concentração de cloro e a presença de outros compostos químicos. Em condições de pH mais baixo, a eficácia do cloro na oxidação desses compostos orgânicos aumenta, facilitando a remoção da cor (Cescon & Jiang, 2020).

No entanto, a remoção de cor pela cloração pode ser limitada pela formação de subprodutos indesejáveis, como os trihalometanos (THMs). Para mitigar esses efeitos, a cloração pode ser combinada com processos de coagulação usando sais de alumínio ou ferro. Os coagulantes neutralizam as cargas dos compostos facilitando sua aglomeração e posterior remoção por sedimentação ou filtração, o que pode reduzir a quantidade de cloro necessária e, conseqüentemente, a formação de THMs (Von Sperling, 2020; Wang et al., 2023).

### Potencial de formação dos trihalometanos

A presença de coliformes totais nos pontos de amostragem de água bruta destaca a cloração como uma alternativa recomendada para inativar microrganismos patogênicos. A formação de trihalometanos (THMs) começa quando os precursores entram em contato com o cloro e pode continuar enquanto houver reagente disponível, especialmente o cloro livre (Meyer, 1994). Esses precursores, como ácidos húmicos e fúlvicos, se originam da matéria orgânica presente na água.

Na região estudada os níveis de trihalometanos totais estão conforme os parâmetros permitidos pela legislação brasileira, atendendo ao limite de 100 µg/L (0,1 mg/L). Em relação aos compostos individuais, identificou-se apenas a presença de bromodiclorometano e clorofórmio. Os resultados obtidos em nosso estudo mostraram uma predominância clara de clorofórmio entre os trihalometanos (THMs) detectados nas amostras de água desinfetadas, como ilustrado na Figura 2.

O clorofórmio é a classe de THM mais prevalente nas amostras analisadas, consistindo com estudos que mostram que o clorofórmio tende a ser o trihalometano mais comum devido à abundância de precursores orgânicos na água que reagem com o cloro durante o processo de desinfecção (Sathasivan et al., 2020). Na maioria dos sistemas, o clorofórmio é o principal trihalometano a ser reduzido via arejamento. A constante de Henry, que indica a capacidade esperada de volatilização, é um indicador primário do potencial de remoção de um composto pelo ar (AWWA, 2013).

A alta concentração de clorofórmio pode ser atribuída às altas temperaturas comuns no clima semiárido, aumentando a taxa de reação química entre o cloro e os compostos orgânicos, acelerando a formação de clorofórmio. Visto que a elevação da temperatura não só acelera as reações químicas, mas também aumenta a volatilização dos compostos orgânicos, facilitando a formação de subprodutos de desinfecção. (Zhang et al., 2013).

O bromodiclorometano foi o segundo mais prevalente encontrado nas amostras, sugerindo uma significativa presença de brometos na água bruta. Brometos podem ser introduzidos na água através de pesticidas e fertilizantes que contêm compostos bromados, sendo liberados no solo e transportados para as águas superficiais e subterrâneas. Além dos oxidantes, os átomos de halogênio nos subprodutos da desinfecção (DBPs) podem vir das moléculas de pesticidas, como pesticidas organoclorados e contendo bromo. A desinfecção desses pesticidas pode resultar na formação de DBPs halogenados, incluindo bromofórmio, dibromoclorometano e bromodiclorometano. Estudos indicam que pesticidas com átomos de halogênio geram uma gama mais ampla de DBPs, exigindo medidas adicionais de gestão de riscos, conforme Song et al. (2023)

Ao comparar os limites máximos de trihalometanos (THMs) adotados por outros países, Rizzo et al. (2005) destacaram uma menor tolerância a esses compostos. Países como França e Itália estabeleceram limites de 30 µg/L, enquanto Dinamarca e Alemanha adotaram limites ainda mais rigorosos, de 15 µg/L e 10 µg/L,



respectivamente, o que revela uma discrepância em relação aos resultados encontrados no Senador Nilo Coelho. Diante da necessidade de monitorar e controlar a presença desses compostos, o estudo de Ebrahim et al. (2016) investigou o efeito do tratamento térmico sobre os subprodutos de desinfecção na água potável. Os autores concluíram que, devido à volatilidade dos trihalometanos, ferver a água pode ser um método eficaz para reduzir a concentração dessas substâncias.

### CONCLUSÕES:

Essa discrepância destaca a possível necessidade de revisão dos limites tolerados, representando um ponto de alerta para considerações futuras. Recomenda-se a exploração de diferentes concentrações de dosagens de cloro, tempos de contato, bem como a investigação do uso de outras espécies de desinfetantes, como o cloro combinado.

Adicionalmente, sugere-se a remoção dos precursores por meio das etapas de clarificação da água e filtração, antecedendo a cloração, com o objetivo de reduzir o potencial de formação dos subprodutos. A prática da fervura para a remoção dos THMs também é recomendada, considerando suas propriedades de volatilização. Essas medidas visam aprimorar a gestão da qualidade da água e garantir a segurança do abastecimento.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALEID, M. K. et al. Evaluation of water quality via determination of trihalomethanes in water distribution networks of Riyadh city in Kingdom of Saudi Arabia. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 17, n. 1, p. 105431, 2024.
2. AWWA. (2013). White Paper on Aeration to Reduce Trihalomethanes.
3. BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 18 mar. 2005. Disponível em: [https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res\\_conama\\_357\\_2005\\_enq\\_aguas\\_classes.pdf](https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_enq_aguas_classes.pdf). Acesso em: 15 jun. 2024.
4. BRASIL. Ministério da Saúde. Gabinete do Ministro. Portaria nº 888/2021. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial da União: seção 1**, Brasília, DF, ano CLIX, no 85, p. 126, 7 maio 2021.
5. CESCÓN, A.; JIANG, J.-Q. (2020). Filtration Process and Alternative Filter Media Material in Water Treatment. **Water**, 12(12), 3377. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3377>.
6. CODEVASF – Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e do Parnaíba. Projeto Público de Irrigação, 2018. Disponível em: <https://www.codevasf.gov.br/linhas-de-negocios/agricultura-irrigada/projetos-de-irrigacao/em-producao/nilo-coelho>. Acesso em: 21 fev. 2024.
7. CORONEO, V. et al. Presence of Trihalomethanes in ready-to-eat vegetables disinfected with chlorine. **Food Additives & Contaminants**, v. 34, p. 2111–2117, 2017.
8. EBRAHIM, Seyyed; BIDARPOOR, Farzam; ESLAMI, Akbar; EBRAHIMZADEH, Leila. Removal of Trihalomethanes from Drinking Water via Heating Method. **Biomedical & Pharmacology Journal**, v. 9, n. 1, p. 61-66, abr. 2016. DOI: 10.13005/bpj/909.
9. FIA, Ronaldo et al. Qualidade da água de um ecossistema lótico urbano. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 2, p. 267-275, 2015.
10. Fundação Nacional de Saúde (FUNASA). Saneamento domiciliar: Manual de instruções de uso das melhorias domiciliares, Brasília: Funasa, 2014. 24 p.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO  
DE ENGENHARIA SANITÁRIA  
E AMBIENTAL



11. GUAY, C.; RODRIGUEZ, M.; SÉRODES, J. (2005). Using ozonation and chloramination to reduce the formation of trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water. **Desalination**, Quebec, v. 176, n. 1-3, p. 229-240. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2004.10.015>.
12. LATIFOGLU, A. (2003). Formation of trihalomethanes by the disinfection of drinking water. **Indoor and Built Environment**, Ankara, v. 12, n. 6, p. 413-417. <https://doi.org/10.1177%2F1420326X03037000>.
13. MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. **Cadernos de Saúde Pública**, v. 10, n. 1, p. 99-110, 1994.
14. OLIVEIRA, R. R.; ARAÚJO, A. L. C.; DUARTE, M. A. C. Estudo do potencial de formação de trihalometanos na lagoa de Extremoz (RN). **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 2, p. 315-322, 2020.
15. RAGAZZON, D.; GRABASKI, C. N. Qualidade da água na região rural de Francisco Beltrão, PR, pela utilização de banco de dados: 1995 a 2005. **Revista Faz Ciência**, v. 11, n. 13, p. 175-190, 2009.
16. RICE, E. W. et al. (Ed.). Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American public health association, 2012.
17. RIZZO, L. et al. Formation of chlorinated organics in drinking water of Istanbul (Turkey) and Salerno (Italy). **Global Nest Journal**, v. 7, n. 1, p. 95-105, 2005.
18. SATHASIVAN, Arumugam; FISHER, Ian; BUSS, Stefanie R. Effective monitoring of trihalomethanes in water supply systems. **AWA Water Journal**, 2020.
19. SHARMA, N.; MOHAPATRA, S.; PADHYE, L. P.; MUKHERJI, S. Role of precursors in the formation of trihalomethanes during chlorination of drinking water and wastewater effluents from a metropolitan region in western India. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, p. 101928, 2021.
20. SHI, Y. et al. Trihalomethanes in global drinking water: distributions, risk assessments, and attributable disease burden of bladder cancer. **Journal of Hazardous Materials**, p. 133760, 2024.
21. STEWART, B. A. Soil Processes and Water Quality. 1ª ed. Boca Raton: CRC Press, 1994. 398 p.
22. UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). 1995. Method 551.1: Determination of Chlorination Disinfection Byproducts, Chlorinated Solvents, and Halogenated Pesticides/Herbicides in Drinking Water by Liquid-Liquid Extraction and Gas Chromatography with Electron-Capture Detection, revision 1.0. Cincinnati, Ohio.
23. VON SPERLING, M. Introdução à qualidade de águas e ao tratamento de esgotos. 2ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 243 p.
24. VON SPERLING, M.; VERBYLA, M. E.; OLIVEIRA, S. M. A. C. (2020). Assessment of Treatment Plant Performance and Water Quality Data: A Guide for Students, Researchers and Practitioners. London: IWA Publishing.
25. WANG, H.; WANG, Y.; DIONYSIOU, D. D. (2023). Advanced Oxidation Processes for Removal of Emerging Contaminants in Water. **Water**, 15(3), 398. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/3/398>.
26. ZHANG, Xiao-lu; YANG, Hong-wei; WANG, Xiao-mao; FU, Jing; XIE, Yuefeng F. Formation of disinfection by-products: Effect of temperature and kinetic modeling. **Chemosphere**, v. 90, n. 2, p. 634-639, jan. 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.08.060>. Acesso em: 15 jun. 2024.