

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DO RIO GRANDE DO NORTE

RAFAELA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA ÁGUA  
DA LAGOA DE EXTREMOZ-RN**

NATAL-RN

2017

RAFAELA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA ÁGUA  
DA LAGOA DE EXTREMOZ-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa de Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. André Luis Calado Araújo  
Coorientador: Prof. Dr. Marco Antonio Calazans Duarte

NATAL-RN

2017

Oliveira, Rafaela Ribeiro de.  
O48e Estudo do potencial de formação de trihalometanos na água da Lagoa de Extremoz–RN / Rafaela Ribeiro de Oliveira. – 2017.  
71 f : il. color.

Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Natal, 2017.  
Orientador(a): Prof. D.r. André Luis Calado Araújo.  
Coorientador(a): Prof. D.r. Marco Antonio Calazans Duarte.

1. Tratamento da água – Lagoa de Extremoz – RN. 2. Subprodutos – Desinfecção. 3. Potencial de formação de trihalometanos. 4. Cloração. I. Araújo, André Luis Calado. II. Duarte, Marco Antonio Calazans. III. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. IV. Título.

CDU 628.1(813.2)

Catálogo na Publicação elaborada pela Seção de Processamento Técnico da Biblioteca Setorial Walfredo Brasil (BSWB) do IFRN.

RAFAELA RIBEIRO DE OLIVEIRA

**ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA ÁGUA  
DA LAGOA DE EXTREMOZ-RN**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais, do Instituto Federal de Educação Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais, na linha de pesquisa de Saneamento Ambiental.

Dissertação apresentada e aprovada em 13/07/2017, pela seguinte Banca Examinadora:

**BANCA EXAMINADORA**



---

André Luis Calado Araújo, Prof. Dr. – Presidente


Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



---

Marco Antonio Calazans Duarte, Prof. Dr. – Examinador Interno

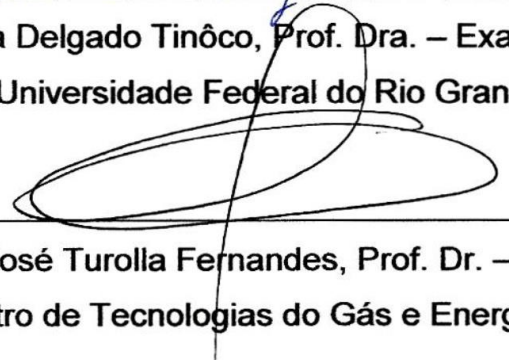
Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte



---

Juliana Delgado Tinoco, Prof. Dra. – Examinadora Externa

Universidade Federal do Rio Grande do Norte



---

Glauber José Turolla Fernandes, Prof. Dr. – Examinador Externo

Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis

A minha mãe, Rosa Maria, por sempre me incentivar a buscar a realização dos meus objetivos.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pela dádiva da vida e pelas graças alcançadas.

A minha família, pelo apoio e incentivo.

Ao meu orientador Dr. André Luís Calado Araújo e coorientador Dr. Marco Antônio Calazans Duarte, por toda colaboração, paciência, dedicação, auxílio e conhecimentos repassados durante o desenvolvimento do trabalho.

Ao Dr. Glauber José Turolla Fernandes, por sempre incentivar e apoiar a minha qualificação profissional e acadêmica.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), em especial ao corpo docente do programa de Pós-graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais (PPgUSRN), por todo conhecimento adquirido.

Ao Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER), primeiramente pela liberação e autorização que possibilitou o ingresso no mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais e pela disponibilização da infraestrutura, especificamente o Laboratório de Química Ambiental, para a realização dos ensaios analíticos.

Aos amigos do Laboratório de Química Ambiental, pela convivência diária durante os sete anos em que fiz parte da equipe.

A Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), pela disponibilidade de realização da pesquisa em uma das suas estações de tratamento de água.

A todos os funcionários que compõem a equipe da Estação de Tratamento de Água de Extremoz (ETA Extremoz), por todo auxílio prestado.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do Projeto Caracterização de Resíduos Líquidos Gerados em Instalação Piloto de Dupla Filtração e em ETA de Ciclo Completo em Escala Real (467848/2014-9), coordenado pelo professor André Luis Calado Araújo, que viabilizou parte dos insumos necessários ao desenvolvimento desta pesquisa.

A Yldeney e Jilliano, pela amizade e ensinamentos relacionados a cromatografia, bem como o auxílio nas extrações líquido-líquido do ensaio de THM.

A Douglisnilson de Moraes, que juntamente ao Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes (NAAE), viabilizou os ensaios de alcalinidade e oxigênio dissolvido.

A Luciana Castro, técnica do IFRN, que gentilmente entregava as amostras ao NAAE.

A todos os colegas do mestrado em Uso Sustentável de Recursos Naturais, em especial a turma de saneamento, pela amizade adquirida e convivência durante esse período.

Aos amigos, Richardy, Fernanda, Inaldo e Jeanne, pela amizade, convivência e conversas divertidas.

A todos, o meu muito obrigada!

## RESUMO

O potencial de formação de trihalometanos (PFTHM) é utilizado para avaliar a possibilidade de formação de subprodutos da desinfecção (SPD) por cloração durante o processo de tratamento da água. Trihalometanos (THM) representa a soma do clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio e é a principal classe de SPD formada a partir da reação do cloro residual livre e a matéria orgânica natural (MON) presente nos mananciais. Este estudo teve como objetivo avaliar o PFTHM resultante da aplicação de cloro na água bruta da Lagoa de Extremoz-RN, que é tratada por filtração direta seguida do processo de cloração, bem como quantificar concentrações de THM na rede de distribuição. A pesquisa foi dividida em três etapas: a) coleta das amostras e avaliação das características físico-química da água bruta; b) determinação do PFTHM através da adição de solução de cloro na água bruta da Lagoa de Extremoz; e c) coleta das amostras e caracterização da água da rede de distribuição. Os resultados indicam a presença na água do manancial de matéria orgânica hidrofílica com a preponderância de ácidos fúlvicos. O PFTHM demonstrou que a água da Lagoa de Extremoz possui forte potencialidade para formação de compostos orgânicos, fato confirmado pelos altos níveis de THM encontrados na rede de distribuição de água. As concentrações de THM obtidas nas análises da água da rede variaram de 0,39 mg/L a 1,11 mg/L e estão acima do valor máximo permitido pela Portaria do Ministério da Saúde nº 2914/2011, demandando medidas que visem a minimizar a formação de SPD no sistema de abastecimento. Dentre os THM formados, tanto no ensaio de PFTHM, quanto nas análises na rede, o clorofórmio apresentou cerca de 80% da concentração total de THM. Foram observadas correlações significativas entre os parâmetros de dureza e cor aparente analisados na água bruta com o PFTHM, indicando que os íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  podem promover a formação desta classe de SPD e que a cor aparente pode ser um indicador para a formação de subprodutos. Embora não tenha sido identificada a formação de bromofórmio durante os ensaios de PFTHM, concentrações deste analito foram quantificadas nas análises realizadas com água da rede, sendo necessária uma investigação sobre a presença de brometo em toda a estação de tratamento de água e no sistema de distribuição.

Palavras-chave: Subprodutos da desinfecção. Potencial de formação de trihalometanos. Matéria orgânica natural. Cloração.



## ABSTRACT

Trihalomethanes formation potential (THMFP) have been used to evaluate the possibility of disinfection byproduct (DBP) formation by chlorination during the water treatment process. Trihalomethanes (THM) represents the sum of chloroform, dichlorobromomethane, dibromochloromethane and bromoform, and is the main class of DBP formed by the reaction of free residual chlorine and natural organic matter (NOM) present in the source waters. This study evaluates the THMFP on the source water from the Extremoz Pond (Natal-RN, Brazil), which is treated by direct filtration/chlorination process, and the THM concentration in the water distribution network. The research was divided in three phases: a) sample collection and evaluation of physical-chemical characteristics of the source water; b) determination of THMFP by adding a chlorine solution in the source water; and c) sample collection and characterization of treated water in the distribution network. Results indicated the presence on source water of hydrophilic organic matter with the predominance of fulvic acids. The THMFP showed that the source water has a strong potential for organic compounds formation, being latter confirmed by the high levels of THM found in the water distribution network. THM on network varied from 0.39 mg/L to 1.11 mg/L, well above the maximum allowed value by Ministry of Health Ordinance No. 2914/2011, demanding measures to minimize its formation. Among the THM found in both, the THMFP assay and in water distribution network, chloroform represented about 80% of the total THM. Significant correlations were observed between hardness and apparent color with the THMFP in source water attesting that  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  ions can promote the formation of this class of DBP, and that apparent color can be used as a DBP formation indicator. Although bromoform formation was not identified during the THMFP essays, this THM form was quantified in samples from the distribution network. Therefore an investigation on the presence of bromide throughout the water treatment plant and the network distribution system is necessary.

Keywords: Disinfection byproducts. Trihalomethanes formation potential. Natural organic matter. Chlorination.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fórmulas estruturais dos THM que ocorrem com maior frequência em águas de abastecimento público. ....	22
Figura 2 – Mecanismo simplificado de formação do clorofórmio. ....	22
Figura 3 – Influência da temperatura na concentração de Clorofórmio .....	24
Figura 4 – Influência da concentração de ácido húmico na formação de THM totais em água.....	25
Figura 5 – Relação da dosagem de cloro com a formação de THM.....	27
Figura 6 – Mapa de localização da Lagoa de Extremoz-RN. ....	30
Figura 7 – Ponto de coleta de água bruta na ETA Extremoz – calha Parshall. ....	33
Figura 8 – Pontos de amostragem da rede de distribuição: A) Amostra 01, B) Amostra 02, C) Amostra 03, D) Amostra 04, E) Amostra 05, F) Amostra 06 e G) Amostra 07.....	34
Figura 9 – Fluxograma das etapas da pesquisa.....	36
Figura 10 – Variação do pH da água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.....	47
Figura 11 – Resultados de dureza e alcalinidade na água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.....	49
Figura 12 – Resultados de TTHM <sub>7</sub> obtidos na água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.....	51
Figura 13 – Resultados individuais dos compostos que compõem os THM obtidos na água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.....	52
Figura 14 – Processo de formação de THM em função do tempo de contato...	54
Figura 15 – Gráfico representativo da correlação obtida entre a dureza e o TTHM <sub>7</sub> .....	56
Figura 16 – Resultados individuais dos compostos que compõem os THM obtidos na água da rede de distribuição, no período de dezembro de 2016 e fevereiro e março de 2017.....	61
Figura 17 – Concentrações de THM na rede de distribuição, no período de dezembro de 2016 e fevereiro e março de 2017. ....	62

Quadro 1 – Principais subprodutos da desinfecção formados durante o tratamento de água. ....	21
Quadro 2 – Endereço e coordenadas geográficas dos pontos de coleta da rede de distribuição .....	33
Quadro 3 – Parâmetros e métodos de análise.....	37
Quadro 4 – Características da MON de acordo com os resultados de SUVA...	38
Quadro 5 – Condições padrão para o estudo do potencial de formação de THM.....	40
Quadro 6 – Condições analíticas do método para análises de THM para o cromatógrafo utilizado. ....	42
Quadro 7 – Tempos de retenção do método, de acordo com o analito.....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Características físico-químicas da água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016. ....	45
Tabela 2 – Resultados de cloro residual livre com tempo de contato de 7 dias a 25 °C para determinação da dosagem de cloro e confirmação de residual livre persistente.....	50
Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson (R) das variáveis físico-químicas e o TTHM <sub>7</sub> .....	55
Tabela 4 – Resultados de THM, COT e COD na rede de distribuição, no período de dezembro de 2016 e fevereiro e março de 2017.....	59

## LISTA DE SIGLAS

APHA	<i>American Public Health Association</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CAERN	Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte
CAG	Carbono Ativado Granular
CCME	<i>Canadian Council of Ministers of the Environmental</i>
CG-ECD	Cromatografia Gasosa com Detector por Captura de Elétrons
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
CTGAS-ER	Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis
ECD	Detector por Captura de Elétrons
ETA	Estação de Tratamento de Água
HAAC	Ácidos Haloacéticos
IET	Índice de Estado Trófico
IFRN	Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IQA	Índice de qualidade da água
MON	Matéria Orgânica Natural
MS	Ministério da Saúde
NAAE	Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes
NDIR	Infravermelho não Dispersivo
NF	Nanofiltração
NFS	<i>National Sanitation Foundation</i>
NIST	<i>National Institute of Standards and Technology</i>
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
PFTHM	Potencial de Formação de Trihalometanos
pH	Potencial Hidrogeniônico
POA	Processos Oxidativos Avançados
ppm	Partes por milhão

PT	Poços Tubulares
PVC	Policloreto de Vinila
SEMARH	Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos
SPD	Subprodutos da Desinfecção
SPO	Subprodutos da Oxidação
SUVA	Absorbância da Radiação Ultravioleta Especifica
THM	Trihalometanos
USEPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UV <sub>254nm</sub>	Absorbância na região do ultravioleta a 254nm
VMP	Valor Máximo Permitido
WEF	<i>Water Environmental Federation</i>
WHO	<i>World Health Organization</i>

## LISTA DE SÍMBOLOS

$C_6H_4(OH)_2$	Resorcinol
$CaCO_3$	Carbonato de cálcio
$CHBr_3$	Bromofórmio ou tribromometano
$CHCl_2Br$	Diclorobromometano
$CHCl_3$	Clorofórmio ou triclorometano
$CHClBr_2$	Dibromoclorometano
$Cl_2$	Cloro molecular
$H_2SO_4$	Ácido sulfúrico
$H_3PO_4$	Ácido fosfórico
$HCl$	Ácido clorídrico
$HNO_3$	Ácido nítrico
$HOCl$	Ácido hipocloroso
$NaDCC$	Dicloroisocianurato de sódio
$NH_3-N$	Amônia como nitrogênio
$OCl^-$	Íon hipoclorito
$t_{90}$	90% do valor máximo de concentração

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>16</b>
1.1	OBJETIVO GERAL	18
1.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO</b>	<b>19</b>
2.1	SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO	21
2.2	FATORES QUE INFLUENCIAM NA FORMAÇÃO DE THM	23
<b>2.2.1</b>	<b>pH</b>	<b>23</b>
<b>2.2.2</b>	<b>Temperatura e efeitos sazonais</b>	<b>23</b>
<b>2.2.3</b>	<b>Matéria orgânica natural</b>	<b>25</b>
<b>2.2.4</b>	<b>Tempo de contato</b>	<b>26</b>
<b>2.2.5</b>	<b>Dose de cloro</b>	<b>26</b>
2.3	DESINFECÇÃO DA ÁGUA E ALTERNATIVAS DE CONTROLE DA FORMAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO/OXIDAÇÃO	27
<b>2.3.1</b>	<b>Processo de desinfecção</b>	<b>27</b>
<b>2.3.2</b>	<b>Controle da formação dos subprodutos da desinfecção/oxidação</b>	<b>29</b>
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>30</b>
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	30
<b>3.1.1</b>	<b>Lagoa de Extremoz</b>	<b>30</b>
<b>3.1.2</b>	<b>Rede de Distribuição</b>	<b>31</b>
3.2	AMOSTRAGEM E PONTOS DE COLETA	32
3.3	ETAPAS DO TRABALHO EXPERIMENTAL	35
3.4	AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA BRUTA	36
3.5	ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS	39
3.6	PROCESSO DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM FUNÇÃO DO TEMPO	40
3.7	ANÁLISE DE TRIHALOMETANOS	41
3.8	ANÁLISES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	43
3.9	TRATAMENTO DOS RESULTADOS	44
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>45</b>
4.1	AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA BRUTA	45
4.2	ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS	49



<b>4.2.1</b>	<b>Processo de formação de trihalometanos em função do tempo</b>	<b>53</b>
4.3	CORRELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS E OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	55
4.4	ANÁLISES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO	58
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES</b>	<b>63</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>65</b>
	<b>ANEXO A – Comprovante de submissão do artigo na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental</b>	<b>71</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A crescente contaminação de mananciais e corpos aquáticos responsáveis pelo abastecimento de água pode gerar riscos à saúde pública. Diante desse quadro, cada vez mais, fazem-se necessárias pesquisas relacionadas a tecnologias de tratamento adequadas com o intuito de fornecer uma água segura e de qualidade à população.

Visando ao atendimento dos padrões de segurança microbiológicos de potabilidade estabelecidos pela Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, as águas de sistemas de abastecimento necessitam, obrigatoriamente, serem submetidas ao processo de desinfecção, cujo objetivo é promover a inativação de microrganismos patogênicos (BRASIL, 2012).

No Brasil, muitas estações de tratamento de água (ETA) utilizam o cloro como pré-oxidante e desinfetante, que é uma etapa do processo de tratamento importante para a produção de água potável. A cloração é considerada eficaz na destruição de vírus e bactérias nocivas, apresenta baixo custo e não causa riscos ao ser humano, além de produzir um residual estável (WHO, 2011). Porém, a prática da cloração tem sido questionada devido à possibilidade de formação de subprodutos halogenados (QUAY; RODRIGUEZ; SÉRODES, 2004; ROSALÉM et al., 2012).

Diante da reação do cloro residual livre com a matéria orgânica natural (MON) presente nos mananciais existe a possibilidade de formação dos chamados subprodutos da desinfecção/oxidação (SPD/SPO), dentre os quais trihalometanos (THM), considerados a principal classe de subprodutos da cloração que podem ser formados, bem como indicadores da presença de outros compostos orgânicos nas águas. Os demais subprodutos compreendem os ácidos haloacéticos (HAAC), halocetonas, hidrato de cloral, cloropicrina, entre outros (LATIFOGLU, 2003; WHO, 2000).

A verificação de SPD em águas de abastecimento submetidas à cloração é uma questão importante, uma vez que, além de serem considerados potencialmente cancerígenos, foram associadas a problemas mutagênicos.

Para a Organização Mundial da Saúde (OMS), os limites máximos permitidos de THM em água potável são 200 µg/L para clorofórmio, 100 µg/L para bromofórmio 60 µg/L para diclorobromometano e 100 µg/L para dibromoclorometano. Levando em consideração a presença simultânea dessas substâncias e a sua provável toxicidade

aditiva, a OMS considera, para a determinação de um valor de referência, que a soma das razões entre a concentração medida de cada contaminante e o seu valor de referência não deve exceder 1 (WHO, 2011). Assim, no Brasil, diante da necessidade de controle dos SPD, a Portaria MS nº 2914/2011 define a frequência mínima trimestral para análise das concentrações de THM nos sistemas de abastecimento que utilizam águas captadas de mananciais superficiais. O valor máximo permitido (VMP) para a concentração de THM totais na água potável brasileira é de 0,1 mg/L. Outros países adotam limites de referência inferiores, como 25 µg/L na Alemanha, 75 µg/L na Holanda, 10 µg/L na França e 80 µg/L nos Estados Unidos. No Brasil, além dos THM, a legislação define também um limite máximo para os ácidos haloacéticos, de 0,08 mg/L (BRASIL, 2012; QUAY; RODRIGUEZ; SÉRODES, 2004; RODRIGUEZ et al., 2007). Ao contrário de outros países, a legislação brasileira ainda apresenta um “atraso” na ordem de grandeza da concentração do VMP, que é definida em miligramas por litro, limitando, dessa forma, a sensibilidade na detecção desses compostos.

A formação de SPD clorados está fortemente associada com o tipo de fonte e tipo de tratamento aplicado à água. Os principais fatores para a sua formação estão relacionados principalmente ao pH, ao tempo de contato, à temperatura (que varia de acordo com a estação do ano), à concentração e às propriedades naturais da matéria orgânica natural, bem como à concentração de cloro livre (MEYER, 1994; NIKOLAOU; KOSTOPOULOU; LEKKAS, 1999).

Na maioria das ETA, os SPD não são devidamente avaliados, desde a captação de água bruta, passando por todas as etapas de tratamento, até a rede de distribuição. Por esse motivo, faz-se necessária uma investigação sobre a caracterização qualitativa e quantitativa de subprodutos da oxidação, utilizando trihalometanos como indicadores dos compostos gerados em ETA (DUARTE, 2016).

A investigação da presença de THM é realizada por meio de ensaios de potencial de formação. Esses ensaios são realizados sob condições padrão de pH, tempo de contato, dosagem de cloro e temperatura e são capazes de fornecer informações relacionadas à possibilidade de formação de subprodutos em função das características do manancial e do tratamento ao qual foi submetido.

No Brasil, são poucos os trabalhos acerca dos SPD, dentre os quais destacam-se os trabalhos realizados por: Pardo (1996) que avaliou a formação de THM em sistema de abastecimento água em Campinas-SP, realizando o monitoramento a

montante e a jusante, bem como em pontos da rede de distribuição; Paschoalato (2005) que estudou o efeito da pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração na formação de SPD em água de estudo preparada contendo concentrações de substâncias húmicas extraídas de solo turforso; Cesco (2007) que avaliou em escala real a formação de THM em águas de abastecimento quando tratadas com diferentes coagulantes no Estado de São Paulo; Alvarenga (2010) que avaliou a formação de SPD na água bruta, na saída do tratamento e na rede de distribuição em três sistemas de abastecimento no Estado de Belo Horizonte; Agrizzi (2011) que avaliou a formação de THM considerando o uso de dois diferentes pré-oxidantes (cloro e permanganato de potássio) em águas de abastecimento provenientes de dois mananciais do Estado do Espírito Santo; e Carneiro (2012) que realizou o estudo do potencial de formação de trihalometanos da Lagoa do Peri em Florianópolis-SC.

No Estado do Rio Grande do Norte, não existem estudos sobre as condições dos mananciais que são utilizados para fins de abastecimento e diante desse cenário, este estudo visa contribuir com a geração de dados para a caracterização de um dos mais importantes mananciais do Estado, no que diz respeito análise e à avaliação da formação dos THM. O manancial escolhido, a Lagoa de Extremoz, localiza-se na região metropolitana de Natal e é responsável pelo abastecimento de água de cerca de 300.000 habitantes.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o potencial de formação de trihalometanos resultante da aplicação de cloro na água bruta da Lagoa de Extremoz-RN.

## 1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a influência das características físicas e químicas da água bruta quanto à formação de trihalometanos.
- Quantificar a presença trihalometanos e matéria orgânica em 7 pontos da rede de distribuição.

O presente estudo, cujos objetivos estão descritos acima, resultou em um artigo científico submetido para publicação na **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, ISSN: 1809-4457, versão on-line, classificada como A2 na área de ciências ambientais (ANEXO A).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A água para o consumo humano necessita ser segura. Por essa razão, ela precisa possuir características químicas, físicas, biológicas e radioativas que não afetem a saúde humana. Entretanto, a contaminação de corpos aquáticos é um problema que possui abrangência mundial. As características associadas à matéria orgânica natural, o uso de oxidantes/desinfetantes em processos de tratamento de água e a possível formação de produtos indesejáveis proveniente de reações químicas passaram a ser estudados a partir da década de 1970, quando se percebeu a possível correlação da água de abastecimento com doenças, a exemplo do câncer (MEYER, 1994).

O processo de desinfecção da água é algo rotineiro em ETA e necessário para a remoção de organismos patogênicos. Os desinfetantes normalmente são compostos químicos com alto poder oxidativo e, desse modo, também podem ser usados para a remoção de gosto e de cor, para oxidação do ferro e do manganês, para melhorar o processo de coagulação e a eficiência de filtração, para impedir o crescimento de algas nos reservatórios de água, bem como para impedir o recrescimento de microrganismos no sistema de distribuição.

A cloração da água desempenha um importante papel, que consiste em proteger a população de doenças de veiculação hídrica. Contudo, não raramente, faz-se necessário sopesar os benefícios que ela propicia com os riscos potenciais, uma vez que a presença de SPD na água potável tem levantado preocupações sobre a segurança geral relacionada à cloração.

Os ácidos húmicos e fúlvicos, principais componentes da matéria orgânica natural, são chamados precursores de THM. A reação de formação de THM inicia-se quando há o contato entre os percussores e o reagente (cloro) e pode continuar ocorrendo enquanto houver reagente disponível – principalmente cloro livre (MEYER, 1994).

Os SPD mais conhecidos são os trihalometanos e os ácidos haloacéticos, tendo os THM sido os primeiros SPD detectados em águas para consumo (SADIQ; RODRIGUEZ, 2004; RICHARDSON; TERNES, 2014).

Richter (2009) afirma que THM consistem em apenas 10% do total de subprodutos que podem ser formados em sistemas de abastecimento de águas.

A partir da promulgação da Portaria BSB nº 56, de 14 de março de 1977, é que foram estabelecidos, no Brasil, os padrões de potabilidade da água, os quais contemplavam aspectos microbiológicos e parâmetros de qualidade física, química e organoléptica. Em 1990, a Portaria GM nº 36 modificou diversos pontos da legislação anterior, com destaque para a emissão de relatórios periódicos sobre a qualidade das águas distribuídas nas redes de abastecimento e incorporação de padrões de qualidade da água microbiológicos, turbidez para água pós-filtrada, bem como substâncias química que representem riscos à saúde, além de desinfetantes e produtos secundários da desinfecção, dentre eles os THM. Em decorrência da necessidade de revisões periódicas, em 29 de dezembro de 2000 a Portaria GM 36/1990 foi substituída pela Portaria do Ministério da Saúde Nº 1469, nela foram apresentados vários avanços em termos da atualidade técnica e científica e com o acréscimo de diversos padrões relacionados a segurança e qualidade da água. No ano de 2004, devido a uma reestruturação no Ministério da Saúde, essa legislação foi revogada dando lugar a Portaria do Ministério da Saúde Nº 518 de 25 de março de 2004 que permaneceu em vigor até o final do ano de 2011 (NETO, 2010).

Atualmente, é a Portaria do Ministério da Saúde Nº 2914, de 12 de dezembro de 2011, que rege os padrões de potabilidade e, de acordo com essa legislação, o teor máximo de trihalometanos permitido em água potável com a finalidade de consumo humano é de 0,1 mg/L, valor este já praticado pelas portarias anteriores. Além dos THM, a portaria em comento incluiu aos seus padrões de qualidade os ácidos haloacéticos, definindo 0,08 mg/L como valor máximo permitido.

No âmbito dos Estados brasileiros, o Paraná possui legislação local acerca do tema, a Lei Estadual nº 17.278/12, definindo os valores máximos permitidos para THM e HAAC, inclusive, inferiores aos determinados pela Portaria do Ministério da Saúde, 0,08 mg/L e 0,06 mg/L, respectivamente.

## 2.1 SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO

Existem diversas classes de subprodutos que podem ser formados durante a reação do cloro com a matéria orgânica natural presente na água dos mananciais quando esta é submetida ao tratamento, dentre os quais se destacam aqueles representados no Quadro 1 (USEPA, 1999).

Quadro 1 – Principais subprodutos da desinfecção formados durante o tratamento de água.

<b>Subprodutos Inorgânicos</b>	<b>Subprodutos Orgânicos Halogenados</b>
Clorato Clorito Brometo Iodato Peróxido de hidrogênio Amônia	Trihalometanos Clorofórmio Diclorobromometano Dibromoclorometano Bromofórmio Ácidos haloacéticos Ácido monocloroacético Ácido dicloroacético Ácido tricloroacético Ácido monobromoacético Ácido dibromoacético Halocetonas 1,1-Dicloropropanona 1,1,1-Tricloropropanona Halocetonitrilas Dicloroacetoneitrila Bromocloroacetoneitrila Dibromoacetoneitrila Tricloroacetoneitrila Hidrato de cloral Cloropicrina Entre outros
<b>Subprodutos da oxidação Orgânica</b>	
Aldeídos Formaldeído Acetaldeído Glioxal Hexanal Heptanal Ácidos Carboxílicos Ácido hexanóico Ácido heptanóico Ácido oxálico Carbono Orgânico Assimilável	

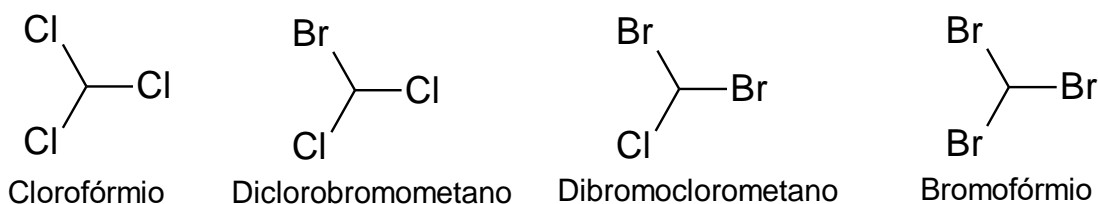
Fonte: USEPA (1999).

Os THM são os principais subprodutos formados durante o processo de cloração da água e são compostos de carbono simples ligado a halogênios, possuindo como fórmula geral  $CHX_3$ , onde X representa o halogênio que pode ser cloro, bromo ou possivelmente iodo, ou, até mesmo, combinações dentre eles.

Os THM normalmente formados em águas são as espécies bromadas e cloradas e são considerados como indicadores da presença de outros compostos

orgânicos nas águas. Os principais THM são clorofórmio ou triclorometano ( $\text{CHCl}_3$ ), diclorobromometano ( $\text{CHCl}_2\text{Br}$ ), dibromoclorometano ( $\text{CHClBr}_2$ ) e bromofórmio ou tribromoetano ( $\text{CHBr}_3$ ). A soma destes quatro compostos é denominada THM totais (LATIFOGLU, 2003). A Figura 1 apresenta as fórmulas estruturais dos principais THM.

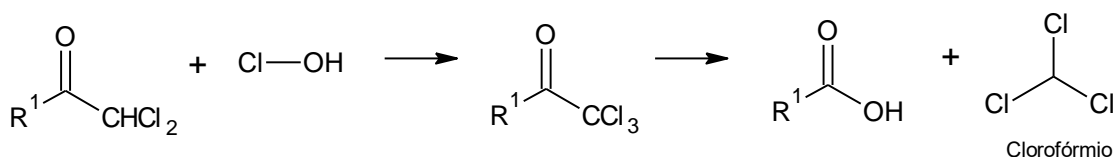
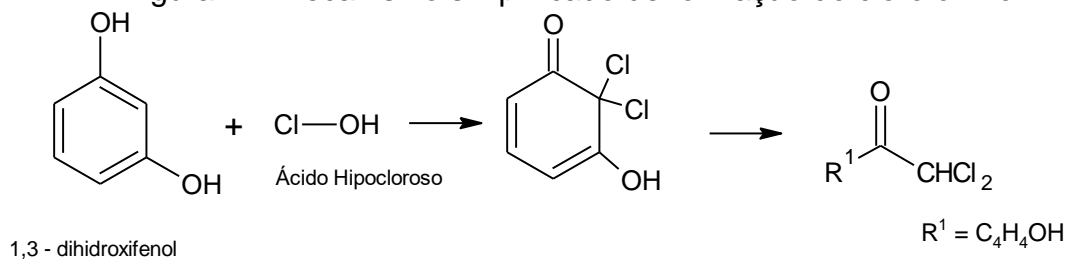
Figura 1 – Fórmulas estruturais dos THM que ocorrem com maior frequência em águas de abastecimento público.



Fonte: Paschoalato (2005).

Em razão da insuficiência de informações acerca das estruturas químicas dos ácidos fúlvicos e húmicos, os mecanismos de formação dos SPD ainda não são bem conhecidos. Geralmente, utilizam-se compostos orgânicos com moléculas simples para ilustrar o mecanismo de formação de SPD. Na Figura 2, apresenta-se o mecanismo simplificado de formação do clorofórmio a partir do ácido hipocloroso ( $\text{HOCl}$ ) formado pelo cloro molecular e a água durante o processo de desinfecção e o resorcinol ( $\text{C}_6\text{H}_4(\text{OH})_2$ ), que representa a terminação fenólica do ácido húmico (SILVA; MELO, 2015; XIE, 2004).

Figura 2 – Mecanismo simplificado de formação do clorofórmio.



Fonte: Silva e Melo (2015).



## 2.2 FATORES QUE INFLUENCIAM NA FORMAÇÃO DE THM

Alguns fatores importantes que devem ser considerados quanto à formação dos SPD são pH, tempo de contato, dosagem de cloro, temperatura e concentração da MON, pois influenciam diretamente em suas concentrações.

### 2.2.1 pH

O valor de pH compete no aumento da concentração de THM, as concentrações de outros SPD tendem a diminuir com o aumento do pH, o que ocorre porque muitos dos SPD halogenados hidrolisam em valores de pH alcalinos (SINGER, 1994).

Estudo realizado por Roccaro et al. (2014) verificou que as concentrações de THM totais (expressas em mol/L) aumentam ligeiramente quando o pH aumenta de 7,0 para 10,0. Latifoglu (2003) afirma que esse aumento de concentração, em decorrência do aumento do valor de pH, pode ser explicado pelas reações de halogenação aceleradas em função da propriedade catalítica dos halofórmios.

### 2.2.2 Temperatura e efeitos sazonais

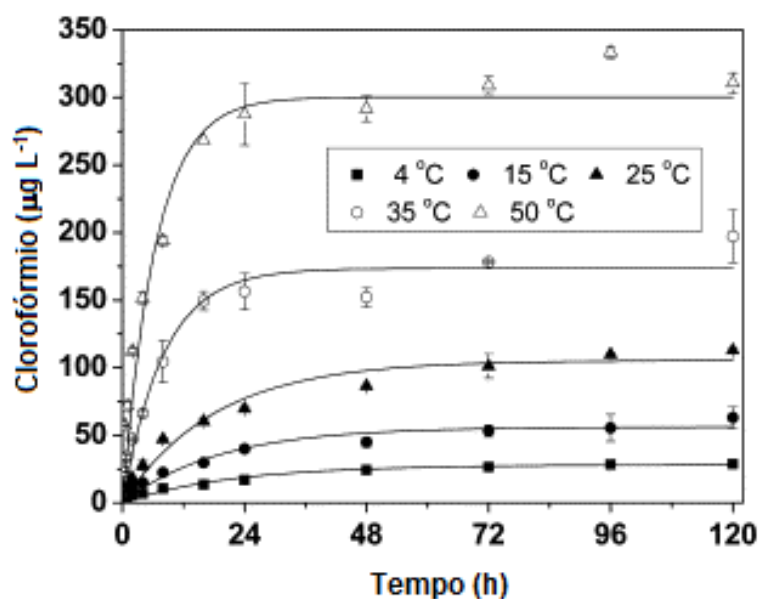
Em países com estações do ano bem definidas, podem ser observadas correlações entre as variações sazonais e as concentrações de SPD. Uma explicação possível para essa constatação diz respeito à temperatura, uma vez que a cinética da reação é mais rápida nos meses mais quentes (verão) e, portanto, a demanda de cloro é maior. Assim, é necessária uma maior aplicação de cloro, o que, conseqüentemente, favorecerá uma maior formação de SPD durante esta época do ano, já que a constante de temperatura da água influencia de forma direta a taxa de formação de THM. O contrário ocorre nos meses mais frios, ou seja, no inverno, quando são observadas baixas concentrações de THM (SINGER, 1994).

Rodriguez et al. (2007), em experimentos realizados para avaliar a presença de SPD em três sistemas de abastecimento de água no Canadá (Sainte-Foy, Quebec e Charlesbourg), constataram que a concentração de SPD variou muito de acordo com a estação do ano, sendo que as concentrações foram menores no inverno, cerca de duas a quatro vezes mais baixas quando comparadas às demais épocas do ano.

Os níveis mais elevados foram observados durante o verão e outono, quando as águas possuem maior temperatura. Durante essas estações, os valores de concentração de THM variaram de < 2 a 64 µg/L, em Sainte-Foy, de 28 a 101 µg/L, em Quebec, e de 11 a 99 µg/L, em Charlesbourg.

Zhang et al. (2013) determinaram os perfis de concentração temporais de clorofórmio sob várias temperaturas (Figura 3) e observaram que o valor máximo para a formação de clorofórmio aumentou proporcionalmente à temperatura da água. Os valores máximos para 4, 15, 25, 35 e 50 °C foram 28, 57, 128, 171 e 304 µg/L, respectivamente. Verificaram, ainda, que, quanto maior a temperatura da água, mais rápido ocorria o aumento da concentração de clorofórmio, bem como que os tempos necessários para atingir 90% do valor máximo de concentração ( $t_{90}$ ) foram cerca de 49, 43, 42, 18 e 15 h para as temperaturas da água de 4, 15, 25, 35 e 50 °C, respectivamente.

Figura 3 – Influência da temperatura na concentração de Clorofórmio



Fonte: Zhang et al. (2013).

### 2.2.3 Matéria orgânica natural

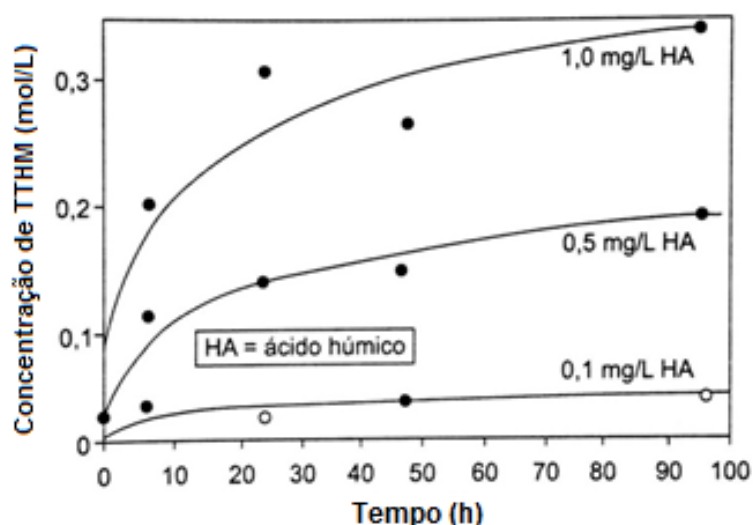
Segundo Singer (1994), a MON é o principal precursor na formação de SPD, de modo que a concentração dos subprodutos é diretamente proporcional à sua concentração nas águas.

A MON compreende tanto materiais orgânicos hidrófobos e hidrófilos, quanto substâncias fúlvicas e húmicas provenientes da decomposição vegetal, incluindo algas. A natureza e a distribuição desses materiais variam de acordo com o tipo de vegetação encontrada na bacia hidrográfica e com as espécies de algas presentes na água (SINGER, 1994).

As substâncias húmicas representam cerca de 30% a 50% da matéria orgânica presente na água natural e, dependendo da quantidade presente, as concentrações de THM podem atingir cerca de 300  $\mu\text{g/L}$ , devido à adição de cloro na água (LATIFOGLU, 2003).

Di Bernardo e Dantas (2005) observaram a influência do ácido húmico adicionado em amostras de água filtrada de uma ETA com valores de pH igual a 6,7; temperatura a 25°C e dosagem de cloro de 10 mg/L. O estudo concluiu que quanto maior a concentração de ácido húmico, maior a concentração de THM totais (Figura 4).

Figura 4 – Influência da concentração de ácido húmico na formação de THM totais em água.



Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Em função da correlação entre a formação de THM e a concentração de MON, Abouleish e Wells (2015) desenvolveram um modelo de regressão linear, utilizando os dados obtidos de medidas dos indicadores de presença de matéria orgânica (COD e  $UV_{254nm}$ ) para explicar diretamente se a redução da fração do COD ou da medida de  $UV_{254nm}$  poderia prever a formação de THM. Constataram que, no geral, a medida de  $UV_{254nm}$  explica 95% da variabilidade no potencial de formação de THM com intercepto estatisticamente diferente de zero. Por outro lado, o COD explica 82% da variabilidade no potencial de THM, mas com intercepto estatisticamente não diferente de zero. Concluíram, dessa forma, que o modelo de regressão a partir dos dados de COD é capaz de prever a formação de THM, mas que o modelo a partir dos dados de  $UV_{254nm}$  é capaz de prever a presença de COD.

#### **2.2.4 Tempo de contato**

A velocidade de reação do cloro com os compostos orgânicos presentes em águas brutas é lenta, e, assim, muitas vezes, as análises de THM realizadas logo após a saída da água tratada não revelam a presença do contaminante, enquanto que as realizadas, por exemplo, com 24 horas após evidenciam uma concentração mais elevada. Entretanto, é somente após 72 horas, que a concentração de THM consegue atingir 96% do seu total (RICHTER, 2009).

Marmo, Santos e Bresaola Júnior (2006) constataram um incremento na concentração de THM quando o tempo de oxidação passou de 12 para 24 horas, reforçando, assim, a importância deste parâmetro na formação de THM.

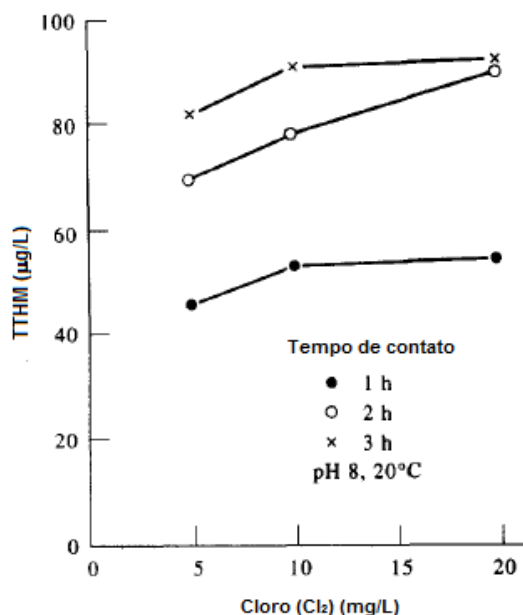
#### **2.2.5 Dose de cloro**

Um dos fatores que afetam a formação de THM diz respeito à dose de cloro aplicada. Assim, em doses elevadas de cloro ocorre uma degradação oxidativa ao invés das reações de substituição, resultando um aumento na formação de THM (LATIFOGLU, 2003).

EI-Dib e Ali (1995) concluíram que ocorre aumento na formação de THM com o incremento da dose de cloro. Porém, a formação não é considerada diretamente proporcional à aplicação de cloro, uma vez que, a partir da aplicação de uma

determinada dose não se pode verificar concentrações de precursores para que a reação continue a ocorrer, conforme observado na Figura 5.

Figura 5 – Relação da dosagem de cloro com a formação de THM.



Fonte: El-Dib e Ali (1995).

Meyer (1994) acrescenta que as reações entre o cloro e os compostos inorgânicos redutores, como, por exemplo, sulfitos, sulfetos, íon ferroso e nitrito, são comumente muito rápidas, e que alguns compostos orgânicos dissolvidos tendem a reagir rapidamente com o cloro. Entretanto, em geral, são necessárias várias horas para que a maioria das reações do cloro com compostos orgânicos se complete.

## 2.3 DESINFECÇÃO DA ÁGUA E ALTERNATIVAS DE CONTROLE DA FORMAÇÃO DOS SUBPRODUTOS DA DESINFECÇÃO/OXIDAÇÃO

### 2.3.1 Processo de desinfecção

No Brasil a cloração da água é o processo de desinfecção mais utilizado em estações de tratamento de água, o qual se caracteriza por ser essencial para a inativação dos microrganismos patogênicos presentes na água (bactérias, vírus, fungos e algas). Embora em um tratamento convencional que contemple as etapas de coagulação, decantação e filtração seja possível a remoção de 98% a 99% destes

microrganismos, uma vez que estão associados ao material particulado e as micelas coloidais que ficam retidas nesses processos, o restante dos patógenos normalmente é combatido por processos químicos.

A desinfecção da água dá-se por meio da aplicação do cloro e seus derivados (hipoclorito de sódio e cálcio, cal clorada e dióxido de cloro), de ozônio, da radiação ultravioleta, e do iodo e seus derivados (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2012).

Reações de oxidação do cloro com compostos inorgânicos e orgânicos presentes na água devem ser consideradas para que a demanda de cloro seja satisfeita e seu excesso torne-se disponível para o processo de desinfecção. Assim, a reação apresentada na equação (1) ocorre quando o cloro é adicionado à água considerada quimicamente pura:



O ácido hipocloroso dissocia-se fracamente em hidrogênio e íon hipoclorito, conforme a reação apresentada na equação (2):



O ácido hipocloroso, considerado um ácido fraco, é o responsável por controlar a ação desinfetante/oxidante do cloro na água, pelo que é denominado agente ativo na desinfecção. Os valores de pH influenciam a forma com o que cloro se apresenta na água. Assim, para um pH entre 6,5 a 8,5, onde a dissociação é incompleta, há a presença, em pequenas concentrações, das duas espécies: HOCl e OCl<sup>-</sup>. Em soluções com valores de pH menor que 2, a forma predominante é o Cl<sub>2</sub>; já, para valores de pH próximos a 5, a predominância é do HOCl, não mais existindo o Cl<sub>2</sub>. A forma OCl<sup>-</sup> é encontrada, predominantemente, em soluções com valores de pH 10, preferindo-se baixos valores de pH para o processo de desinfecção (MEYER, 1994; DANIEL, 2001; RICHTER, 2009).

### 2.3.2 Controle da formação dos subprodutos da desinfecção/oxidação

O controle da formação de THM em águas tratadas pode ser realizado basicamente por três caminhos sem que a eficiência e preservação do processo de desinfecção sejam perdidas: i) pela utilização de desinfetantes alternativos; ii) pela remoção da MON (precursores) antes da aplicação de cloro no processo, ou iii) pela remoção dos THM e outros subprodutos após a sua formação (CESCO, 2007).

A MON, precursor orgânico, pode ser removida de forma eficaz por meio de vários processos, tais como: coagulação reforçada, adsorção em carbono ativado, nanofiltração (NF), troca aniônica e processos oxidativos avançados (POA). Os processos de coagulação reforçada e adsorção em carvão ativado granular (CAG) são considerados as melhores tecnologias disponíveis para o controle de SPD.

Outra estratégia eficaz no controle de SPD/SPO trata-se da remoção após a sua formação. A pré-oxidação e/ou oxidação intermediária são etapas de tratamento comumente aplicadas em sistemas de abastecimento de água com a finalidade de controlar compostos de ferro e manganês, melhorando, desse modo, o processo de coagulação ou a eficiência da filtração, além de atender às exigências de desinfecção das legislações locais. Os SPD formados podem ser removidos por processos de tratamento por meio da adsorção em filtros de carvão ativado com adoção de filtro no ponto de entrada dos sistemas de distribuição. No entanto, a necessidade de substituição frequente dos CAG torna o processo pouco prático e não usual em ETA (WANG et al., 2015).

Atualmente, alguns oxidantes podem ser utilizados, tais como monocloramina, dióxido de cloro, radiação ultravioleta e ozonização. Dessa forma, como em todos os processos, esta opção apresenta vantagens e desvantagens. As desvantagens dizem respeito a não produção do residual necessário na rede de abastecimento, fazendo-se necessário, em consequência, a adição de doses extras de cloro, o que também pode acarretar na formação de SPD (ROY, 2010).

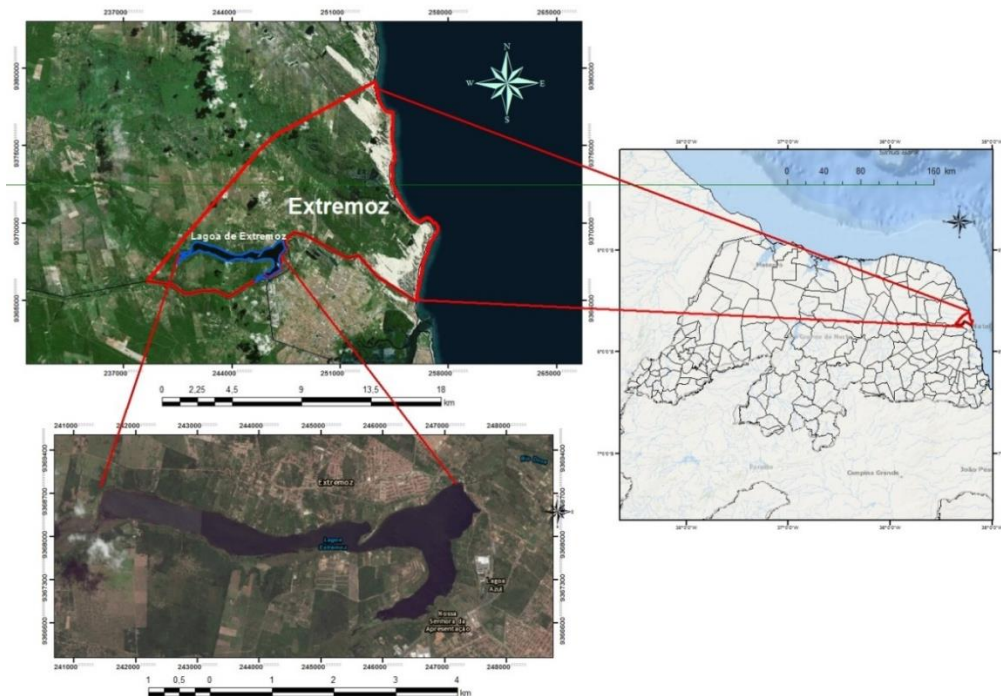
### 3 METODOLOGIA

#### 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

##### 3.1.1 Lagoa de Extremoz

Situada no município de Extremoz ( $5^{\circ}42'20''\text{S}$  e  $35^{\circ}18'26''\text{O}$ ), a aproximadamente 15 km do município de Natal-RN, a Lagoa de Extremoz (Figura 6) é responsável pelo fornecimento de água para cerca de 300.000 habitantes de Natal, além de ser utilizada para fins de recreação. O manancial da bacia hidrográfica do rio Doce recebe descargas ao sul do Rio Guagirú e ao norte do Rio Mudo. O referido corpo d'água possui capacidade de  $11.019.525 \text{ m}^3$  em  $3,59 \text{ km}^2$  de área, com profundidade média de 4,0 m (JERÔNIMO; SOUZA, 2013; NATAL, 2009).

Figura 6 – Mapa de localização da Lagoa de Extremoz-RN.



Fonte: autoria própria (2016).

O manancial em estudo sofre diversas influências, principalmente por estar localizado próximo da região metropolitana de Natal e também por estar cercado de prédios residenciais, hotéis, indústrias e granjas, o que pode comprometer a qualidade da sua água (JOURBERT, 2002).



Embora sofra diversas influências de atividades antrópicas, estudos realizados por Jerônimo e Souza (2013) relacionados à qualidade da água da Lagoa de Extremoz concluíram que ela é enquadrada na faixa de boa a ótima, considerando como indicadores de qualidade da água o Índice de qualidade da água do *Canadian Council of Ministers of the Environmental* (IQA-CCME) e o Índice de qualidade da água do *National Sanitation Foundation* (IQA-NFS). Entretanto, observaram cenários de riscos relacionados as concentrações de cianobactérias e elementos que influenciam diretamente no custo de tratamento dessa água, tais como alcalinidade, dureza, turbidez e cor.

### **3.1.2 Rede de Distribuição**

A água da Lagoa de Extremoz é tratada na ETA Extremoz a uma vazão de aproximadamente 700 L/s. Embora, na sua concepção, a ETA tenha sido projetada para atuar com o tratamento do tipo convencional, por questões operacionais, funciona com o tratamento do tipo filtração direta, observando as seguintes etapas: i) pré-oxidação, ii) coagulação, iii) filtração e iv) desinfecção. Durante as etapas de pré-oxidação e desinfecção, que possuem respectivamente a finalidade de remoção de matéria orgânica e inativação de patógenos, a estação faz a utilização tanto de cloro gasoso, quanto do cloro na forma orgânica (dicloroisocianurato de sódio, que possui 60% de cloro ativo). As concentrações aplicadas na água são: 0,7 ppm de cloro gasoso, durante a pré-oxidação, e a mistura de 3,0 ppm de cloro gasoso com mais 1,5 ppm de dicloroisocianurato de sódio, durante a desinfecção.

A distribuição de água na região norte da região metropolitana do município de Natal dá-se por duas fontes de abastecimento: a Lagoa de Extremoz, responsável por cerca de 60% da água distribuída, e aquíferos subterrâneos, através de 52 poços tubulares, dos quais apenas 35 se encontram em atividade, e que corresponde a cerca de 40% da água distribuída.

A divisão da rede de abastecimento é feita por zonas, sendo subdividida em quatro zonas principais, denominadas Z8, Z14, Z15 e Z16. O abastecimento ocorre por gravidade por meio de reservatórios elevados de água proveniente da ETA Extremoz e por injeção direta por poços tubulares (PT).

A estação elevatória é responsável por enviar a água tratada para os reservatórios R8 e R14. O reservatório R8 atende aos bairros da Redinha, Santarém,

Soledade II, Potengi, Nova República, Niterói, Jardim das Flores e Algimar. Já o reservatório R14 atende aos bairros do Parque dos Coqueiros, Paraíso, Vila Paraíso, Nossa Senhora da Apresentação, Vale Dourado, Jardim Progresso, Golandim, Amarante, Igapó, Jardim Lola, Aliança, Jardim Primavera, Panatis I, II e III, Santa Catarina, Soledade I e Panorama.

A captação de poços é dividida em:

- Captação Pajuçara (Zona 16): composta por 12 poços tubulares (PT-1 a PT-12), recebendo reforço de mais 4 poços que injetam água diretamente na rede de distribuição (PT-23, e PT-31 a PT-33). A Zona 16 abastece os bairros do Parque das Dunas I, II, III, IV, V e VI, Vista Verde I e II, Novo Horizonte, Gramoré, Pajuçara, Nova Natal, José Sarney, Cidade Praia, Santarém II e Gramorezinho.
- Poços do sistema Gramoré: são responsáveis por injetar água diretamente na rede de distribuição.
- Poços do sistema Rio Doce: composto por 5 poços, localizados à margem esquerda do Rio Doce, o sistema foi projetado com a finalidade de misturar suas águas com as dos poços da Zona 16, para diluição do teor de nitrato da água distribuída à população.
- Captação Jardim Progresso: composta por 7 poços (PT-17 a PT-20, PT-40 e PT-42), recalca água diretamente na rede de distribuição da Zona 15, que é reforçada ainda por três derivações da linha Extremoz – R8.
- As demais captações são: i) Brasil Novo, com 3 poços (PT-31 a PT-33); ii) Santa Catarina/Soledade, com 3 poços (PT-35 a PT-37); iii) Redinha, com 2 poços (PT-23 e PT-51); iv) Lagoa Azul, com 1 poço (PT-25); v) Panatis, com 1 poço (PT-34); vi) Amarante, com 1 poço (PT-38); vii) Alvorada, com 1 poço (PT-39) e viii) Potengi, com 1 poço (PT-34) (START PESQUISA E CONSULTORIA TÉCNICA LTDA, 2015; LR ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA, 2009).

### 3.2 AMOSTRAGEM E PONTOS DE COLETA

As coletas foram realizadas em duas etapas, primeiramente, com a água bruta da Lagoa de Extremoz, coletada na chegada da ETA Extremoz, operada pela Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN), conforme Figura 7. E, em seguida, as coletas foram realizadas em 7 pontos da rede

de distribuição, escolhidos em função das distâncias em relação a saída da ETA e pela não influência de água proveniente dos poços tubulares, e estão localizados conforme coordenadas apresentadas no Quadro 2 e Figura 8.

Figura 7 – Ponto de coleta de água bruta na ETA Extremoz – calha Parshall.



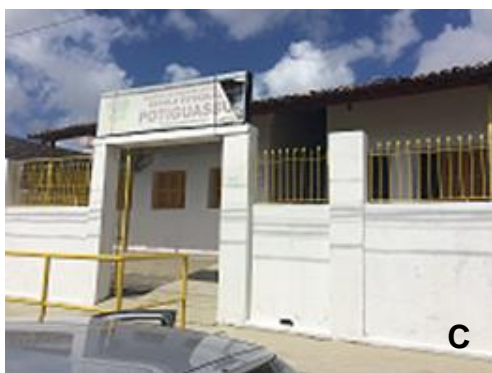
Fonte: autoria própria (2016).

Quadro 2 – Endereço e coordenadas geográficas dos pontos de coleta da rede de distribuição.

Identificação da Amostra	Endereço dos pontos de Coleta	Coordenadas	
		Latitude	Longitude
Amostra 01	Rua Libanês, 19, São Gonçalo (Posto de Saúde) – Av. Maranhão.	5°46'29.15"S	35°16'20.23"O
Amostra 02	Av. Tomaz Landim, 100, São Gonçalo do Amarante.	5°46'18.35"S	35°16'3.20"O
Amostra 03	Rua Luiz, 120, Igapó (Escola Estadual Potiguassu) – Praça Vicente de Paula.	5°46'32.14"S	35°15'1.48"O
Amostra 04	Av. Pedro Álvares Cabral - Parque dos Coqueiros (representativo do reservatório R14).	5°45'52.80"S	35°16'53.70"O
Amostra 05	Rua Trovador Gumercindo Saraiva, 475, Redinha (representativo do R8).	5°44'26.34"S	35°13'27.13"O
Amostra 06	Av. Dr. João Medeiros Filho, 8830, Redinha.	5°44'38.06"S	35°12'51.33"O
Amostra 07	Rodovia Governador Mário Covas BR 101 (saída da ETA Extremoz).	5°43'32.73"S	35°16'58.00"O

Fonte: autoria própria (2017).

Figura 8 – Pontos de amostragem da rede de distribuição: A) Amostra 01, B) Amostra 02, C) Amostra 03, D) Amostra 04, E) Amostra 05, F) Amostra 06 e G) Amostra 07.



Fonte: autoria própria (2017).

Os procedimentos de coleta, de preservação, de armazenamento e de análise das amostras foram realizados segundo as orientações da APHA, AWWA e WEF (2012) e da USEPA (1995).

### 3.3 ETAPAS DO TRABALHO EXPERIMENTAL

O trabalho experimental foi dividido em três etapas, descritas abaixo:

1º Etapa: Coleta e avaliação das características físico-química da água bruta, de acordo com os parâmetros: pH, temperatura, turbidez, alcalinidade, condutividade elétrica, cor aparente, cor verdadeira, absorvância em 254 nm, alcalinidade, dureza, carbono orgânico total, amônia e carbono orgânico dissolvido.

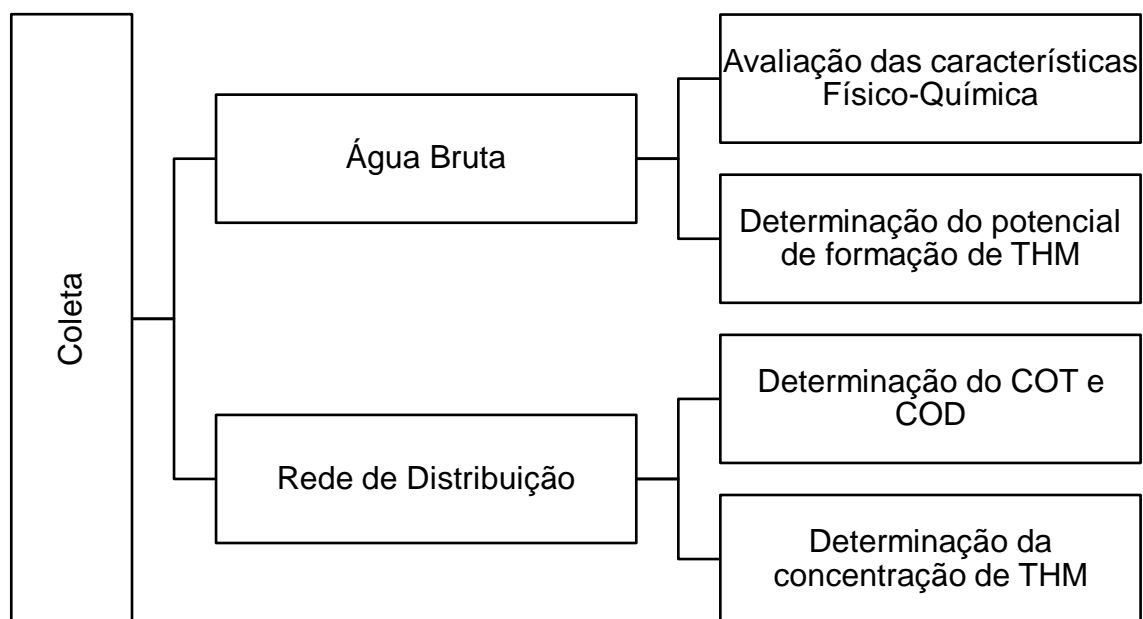
2º Etapa: Determinação do potencial de formação de trihalometanos por meio da adição de diferentes concentrações da solução de cloro na água bruta da Lagoa de Extremoz.

3º Etapa: Coleta e caracterização da água da rede de distribuição em 7 pontos por meio dos ensaios de carbono orgânico total, carbono orgânico dissolvido e trihalometanos.

Os ensaios envolvidos nas etapas do trabalho foram realizados no Laboratório de Química Ambiental (LQA) do Centro de Tecnologias do Gás e Energias Renováveis (CTGAS-ER) e no Núcleo de Análises de Águas, Alimentos e Efluentes (NAAE) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte (IFRN), ambos localizados na cidade do Natal, Rio Grande do Norte.

Na Figura 9, está representado o fluxograma geral das etapas do trabalho experimental desenvolvidas nesta pesquisa.

Figura 9 – Fluxograma das etapas da pesquisa.



Fonte: autoria própria (2017).

### 3.4 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA BRUTA

Para a avaliação físico-química da água bruta, foram realizadas coletas semanais, no período de agosto a outubro de 2016. As variáveis monitoradas foram: absorvância específica a 254 nm, cor aparente e verdadeira, temperatura, pH, dureza, carbono orgânico total e dissolvido, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, amônia, alcalinidade e turbidez. O Quadro 3 apresenta a descrição de todos os ensaios realizados e os equipamentos utilizados.

Quadro 3 – Parâmetros e métodos de análise.

Parâmetro	Metodologia de Análise	Referência	Equipamento
Absorbância a 254 nm (UV <sub>254nm</sub> )	Espectrofotometria UV/Visível	APHA, AWWA e WEF 5910	Espectrofotômetro de UV/VIS, Cary 50, Varian
Alcalinidade	Titulometria	APHA, AWWA e WEF 2320	-
Amônia	Eletrodo seletivo	APHA, AWWA e WEF 4500-NH <sub>3</sub> D	pHmetro, Orion 4 Star, Thermo Corporation
Carbono orgânico total e dissolvido	Combustão a alta temperatura com detecção de absorção com NDIR.	APHA, AWWA e WEF 5310	Analizador de Carbono Orgânico Total TOC/TN <sub>b</sub> Mult N/C, Analytkjena
Condutividade elétrica	Condutivimetria	APHA, AWWA e WEF 2510	Condutímetro, Inolab Level 2, WTW
Cor aparente e verdadeira	Espectrofotometria UV/Visível	APHA, AWWA e WEF 2120	Colorímetro portátil DM-COR, Digimed
Dureza	Espectrometria de Absorção Atômica para determinação de Ca <sup>2+</sup> e Mg <sup>2+</sup> .	APHA, AWWA e WEF 2340 B	Espectrômetro de Absorção Atômica, AA 6800, Shimadzu
Oxigênio dissolvido	Titulometria (WINKLER modificado)	APHA, AWWA e WEF 4500-O	-
pH	Potenciometria	APHA, AWWA e WEF 4500-H <sup>+</sup> B	pHmetro, Inolab Level 2, WTW
Temperatura	-	APHA, AWWA e WEF 2550 B	Termômetro digital, <i>Instrutemp</i>
Turbidez	Nefelométrico	APHA, AWWA e WEF 2130 B	Turbidímetro portátil, 2100Q, HACH

Fonte: autoria própria (2017).

Os parâmetros escolhidos para a avaliação da água bruta representam as variáveis envolvidas direta e/ou indiretamente na formação de SPD/SPO da água.

A cor aparente/verdadeira, a absorbância específica a 254 nm e o carbono orgânico total/dissolvido (COT/COD) e a absorbância da radiação ultravioleta específica (SUVA), representam a indicação de constituintes orgânicos na água, ou, como comumente são chamados, precursores para a formação de subprodutos.

Especificamente o COT e o COD quantificam de forma indireta a presença de matéria orgânica na água. Por outro lado, a SUVA consiste na razão entre a absorvância medida no comprimento de onda de 254nm em  $m^{-1}$  e a concentração de COD em mg/L, conforme Equação 3 (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

$$SUVA (L/mg \cdot m) = 100 (cm/m) [UV_{254nm} (cm^{-1}) / COD (mg/L)] \quad (3)$$

Os resultados dos cálculos da SUVA podem fornecer as características preponderantes em que a matéria orgânica se apresenta na água (Quadro 4).

Quadro 4 – Características da MON de acordo com os resultados de SUVA.

<b>VALOR DE SUVA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA MON</b>
$\leq 2,0$ L/mg-m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta fração de MON de origem não húmica.</li> <li>- Baixa absorção de radiação UV.</li> <li>- Baixa demanda de cloro.</li> <li>- Baixo potencial de formação de THM.</li> </ul>
$\geq 2,0$ L/mg-m $\leq 4,0$ L/mg-m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Mistura de matéria húmica hidrofóbica e não húmica hidrófila.</li> <li>- Média absorção de radiação UV.</li> <li>- Maior demanda de cloro.</li> <li>- Maior potencial de formação de THM.</li> </ul>
$\geq 4,0$ L/mg-m	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presença de matéria hidrofóbica húmica altamente aromática.</li> <li>- Alta absorção de radiação UV.</li> <li>- Alta demanda de cloro.</li> <li>- Alto potencial de formação de THM.</li> </ul>

Fonte: USEPA (2012)

A turbidez, por outro lado, quando presente em altos níveis, pode proteger microorganismos dos efeitos da desinfecção, estimulando o crescimento de bactérias, e assim demandando quantidades maiores de desinfetante nas águas (WHO, 2011).

O oxigênio dissolvido (OD) indica o grau de aeração da água e é um excelente indicativo da qualidade ambiental do manancial. A introdução de OD em mananciais de superfície resulta da fotossíntese, da ação de aeradores ou do próprio contato do ar atmosférico. O teor de oxigênio na água varia, principalmente, de acordo com a temperatura e com a altitude. Quanto maior sua concentração, melhor a qualidade da água. O OD é o critério mais importante nas determinações das condições sanitárias das águas superficiais, pois avalia o efeito de despejos oxidáveis (de origem orgânica)



no recurso hídrico, sendo utilizado, portanto, para verificar a qualidade das águas superficiais (CETESB, 2016).

Valores elevados de alcalinidade estão associados a processos de decomposição da matéria orgânica. O valor do pH influi na distribuição das formas livre e ionizada de diversos compostos químicos, implicando, assim, na reação do desinfetante quando aplicado a água. A condutividade caracteriza-se pela capacidade de a água conduzir corrente elétrica pela presença de substâncias dissolvidas nela, e, embora não tenha uma relação direta com a formação dos subprodutos, é considerado um parâmetro de qualidade. A amônia, composto da classe dos nitrogenados, quando presente em sua forma dissolvida na água, pode favorecer o crescimento excessivo de algas e plantas, bem como formar compostos clorados ativos, denominados cloraminas (BRASIL, 2014; SINGER, 1994).

A dureza indica a concentração de cátions multivalentes em solução na água. Os cátions mais frequentemente associados à dureza são os de cálcio e magnésio ( $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ), os quais, quando presentes em concentrações de águas tipicamente duras (30 a 100 mg/L), podem promover a formação de THM quando o processo de desinfecção for realizado com hipoclorito (BRASIL, 2014; NAVALON; ALVARO; GARCIA, 2009).

### 3.5 ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS

A potencialidade de formação de THM na água bruta da Lagoa de Extremoz foi mensurada com base no método APHA 5710 – *Formation of trihalomethanes and other disinfection by-products* da *American Public Health Association, American Water Works Association e Water Environment Federation* (2012).

Para tanto, as amostras de água bruta foram cloradas previamente com seis concentrações de cloro conhecidas (5, 10, 15, 17,5, 20, 30 mg/L), sob as condições padrão de tempo de reação, temperatura e pH, especificados no Quadro 5. Esse teste inicial teve o intuito de determinar a concentração ideal capaz de gerar um residual entre 3,0 e 5,0 mg/L de  $\text{Cl}_2$  ao final de 7 dias de contato, conforme especificado pelo método.

Quadro 5 – Condições padrão para o estudo do potencial de formação de THM.

Variável	Condição
Concentração de cloro residual	Mínimo de 3 mg/L e máximo de 5 mg/L ao final de 7 dias
pH	7,0
Temperatura	25 ± 2°C
Tempo de contato	7 dias

Fonte: APHA, AWWA e WEF (2012).

As amostras de água bruta com concentrações teste foram preparadas em balões volumétricos de 100 mL, nos quais foram adicionados 2 mL de solução tampão de fosfato (fosfato de potássio monobásico e hidróxido de sódio) para que o pH fosse fixado em  $7,0 \pm 0,2$ . Em seguida, um determinado volume de padrão de cloro, marca *Specsol*, foi adicionado em cada balão, a fim de obter-se a concentração desejada de cloro em cada frasco e, então, as amostras foram transferidas para frascos âmbar de 100 mL. Os frascos foram fechados com batoque, lacrados e mantidos sob temperatura controlada de 25°C, em estufa, durante o período de 7 dias. Depois de decorrido tal período, as amostras foram abertas, o cloro residual livre foi medido através da adaptação do método APHA, AWWA e WEF 4500-Cl<sup>-</sup> (método DPD colorimétrico), utilizando um Espectrofotômetro de UV/VIS (DR 5000, HACH). Em seguida, as amostras foram transferidas para *vials* de 60 mL contendo, aproximadamente, 1,0 g tampão de fosfato (1% de fosfato de sódio dibásico e 99% de fosfato de potássio monobásico) e 0,6 g de cloreto de amônio (agente desclorante indicado no método de análise de THM utilizado). Imediatamente, o *vial* foi fechado e armazenado a uma temperatura de  $4 \pm 2^\circ\text{C}$ , até o momento de proceder-se à análise, respeitando o prazo máximo estipulado pelo método de ensaio para a determinação das concentrações de THM.

A água bruta, sem adição de nenhum reagente químico utilizado no processo de tratamento, também foi caracterizada quanto às concentrações de THM, uma vez que a metodologia pede que sejam realizadas determinações preliminares das concentrações dos trihalometanos para o estudo do potencial.

### 3.6 PROCESSO DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS EM FUNÇÃO DO TEMPO

O comportamento da formação de THM em função do tempo foi determinado a partir da adaptação da metodologia de potencial de formação de THM. A partir da adição da concentração de 17,5 mg/L do padrão de cloro. As amostras foram armazenadas sob as condições padrão de pH e temperatura. As concentrações de THM foram quantificadas em intervalos de 24 horas a partir do dia do início do experimento, com término após 168 horas.

### 3.7 ANÁLISE DE TRIHALOMETANOS

As análises cromatográficas para a determinação de THM foram realizadas no Laboratório de Química Ambiental do CTGAS-ER, em Natal. O equipamento utilizado foi um Cromatógrafo a Gás (CG), da marca *Thermo Scientific*, modelo Trace CG Ultra NPD/ECD, com detector de captura de elétrons (ECD).

O método utilizado tanto para a extração, quanto para a análise de THM foi baseado no procedimento descrito pela metodologia EPA 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* da *United States Environmental Protection Agency* (1995).

A utilização de procedimentos de extração são pré-requisitos para as análises de compostos orgânicos halogenados através de técnicas analíticas de cromatografia gasosa. A extração indicada na metodologia é do tipo líquido-líquido e tem a finalidade de realizar a transferência do soluto de uma fase líquida para outra fase líquida, normalmente um solvente orgânico, o qual possui uma maior afinidade (HARRIS, 2016). Observados tais procedimentos, uma alíquota de 50 mL, armazenada à temperatura de 4°C, foi extraída em um frasco do tipo *vial* de 60 mL. No *vial*, adicionou-se um volume de 100 µL do padrão de decafluorobifenil, *surrogate* indicado no método. O *surrogate* é definido como um composto ou elemento puro adicionado ao material a ser ensaiado e que possui o comportamento químico e físico representativo da(s) substância(s) de interesse, de modo que a eficiência da extração pode ser avaliada, uma vez que sua concentração é conhecida (RIBANI et. al., 2004).

Em seguida foram adicionados 5 mL de pentano, grau HPLC/UV pesticida (*Macron Fine Chemicals*). O *vial*, então, foi agitado vigorosamente por 4 minutos e em seguida colocado em repouso por 2 minutos. Duas fases, bem definidas, separaram-se dentro do *vial*: a fase orgânica superior, chamada de extrato e a fase inferior, chamada de fase aquosa. Uma alíquota de 1 mL da fase orgânica foi retirada e transferida para um balão volumétrico, ao qual foi adicionado 20 µL de bromofluorobenzeno, padrão interno utilizado no método. Por fim a amostra foi transferida para um *vial* de 1 mL e analisada por CG-ECD. A fase aquosa foi descartada.

As condições analíticas do método variam de um equipamento para outro e, devido a esse fato, houve a necessidade de adequação de diversas condições apresentadas na metodologia.

As condições analíticas do método para a análise dos THM estão apresentadas no Quadro 6.

Quadro 6 – Condições analíticas do método para análises de THM para o cromatógrafo utilizado.

<b>Rampa</b>			
	<b>Taxa (°C/min)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>Tempo de Espera (min)</b>
<b>Início</b>	0,0	25	0,0
<b>Rampa 1</b>	2,0	50	10,0
<b>Rampa 2</b>	10,0	225	0,5
<b>Injetor</b>			
<b>Tipo de Injetor</b>	<i>Splitless</i>		
<b>Temperatura do Injetor</b>	230°C		
<b>Fluxo de Injeção</b>	60 mL/min		
<b>Volume de injeção</b>	1 mL		
<b>Detector</b>			
<b>Temperatura da base</b>	250 °C		
<b>Temperatura do detector</b>	290°C		
<b>Corrente de referência</b>	1,0 nA		
<b>Amplitude do poço</b>	50V		
<b>Largura do pulso</b>	1,0 µseg		
<b>Gás de <i>make-up</i></b>	30 mL/min (Nitrogênio 5.0 ECD com controle de halogenados, Linde gases).		
<b>Coluna</b>			
<b>Tipo</b>	Varian, VF-1ms, 30 m x 0,25 mm e 0,25 mm de filme.		
<b>Gás de arraste</b>	1,5 mL/min (Hélio 5.0 analítico, Linde gases).		
<b>Análise</b>			
<b>Tempo total</b>	40,5 min		

Fonte: autoria própria (2017).

Para a calibração do cromatógrafo, foram utilizados os seguintes padrões analíticos: Clorofórmio (*Accustandard*), Dibromoclorometano (*Accustandard*), Bromodiclorometano (Supelco), Bromofórmio (Supelco), Decafluorobifenil (*Accustandard*) e Bromofluorobenzeno (Supelco), todos rastreados ao *National Institute of Standards and Technology* (NIST).

No Quadro 7 apresentam-se os tempos de retenção dos analitos no método utilizado.

Quadro 7 – Tempos de retenção do método, de acordo com o analito.

<b>Analito</b>	<b>Tempo de retenção (min)</b>
Clorofórmio	2,7
Diclobromorometano	4,2
Dibromoclorometano	6,9
Bromofórmio	11,2
Padrão Interno	13,9
<i>Surrogate</i>	28,6

Fonte: autoria própria (2017).

Como a concentração dos padrões é elevada (entre 1000 mg/L e 5000 mg/L) e os mesmos são de caráter individual, foi necessário realizar uma diluição prévia, preparando um padrão multielementar de THM, na concentração de 100 mg/L. A diluição foi realizada com acetona com grau de pureza cromatográfico (*Sigma Aldrich*). A partir do padrão multielementar preparado, foram realizadas as diluições necessárias para a elaboração da curva analítica utilizada na calibração do equipamento, o limite de quantificação utilizado foi de 2,5 µg/L.

### 3.8 ANÁLISES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Na rede de distribuição, foi avaliada a presença de matéria orgânica e de THM. As coletas foram realizadas nos meses de dezembro de 2016, fevereiro e março de 2017 em 7 pontos, conforme especificado no Quadro 2. Os ensaios foram realizados de acordo com as metodologias apresentadas nos itens 3.4 e 3.7.

### 3.9 TRATAMENTO DOS RESULTADOS

Para os resultados obtidos nos ensaios físico-químicos da água bruta, no potencial de formação de THM e nas análises realizadas com a água da rede de distribuição foram calculadas as médias aritméticas e indicado as dispersões ocorridas através dos intervalos entre os mínimos e máximos, bem como através do desvio padrão. O teste de correlação de Pearson foi realizado como forma de evidenciar as relações existentes entre as variáveis físico-químicas e o potencial de

formação de THM, bem como a relação existente entre as análises de matéria orgânica e THM na água da rede de distribuição.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA BRUTA

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados das análises realizadas com a água bruta da Lagoa de Extremoz.

**Tabela 1 – Características físico-químicas da água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.**

PARÂMETROS	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Alcalinidade (mg/L CaCO <sub>3</sub> )	11	39,98	38,64	42,43	1,44
Amônia (mg NH <sub>3</sub> -N/L)	10	0,24	0,10	0,35	0,08
COD (mg/L)	11	5,28	4,76	5,64	0,28
Condutividade (µs/cm)	11	268	261	283	7,88
Cor Aparente (uH)	7	19,5	17,4	22,5	1,90
Cor Verdadeira (uH)	7	11,3	10,0	12,5	0,90
COT (mg/L)	11	6,53	5,61	6,96	0,40
Dureza (mg CaCO <sub>3</sub> /L)	11	47,34	40,87	54,50	4,75
Oxigênio Dissolvido (mg/L O <sub>2</sub> )	11	6,01	5,29	6,57	0,37
pH	11	7,41	7,25	7,50	0,07
SUVA (L/mg-m)	11	2,31	1,83	3,72	0,51
Temperatura (°C)	9	27,2	26,5	27,5	0,50
Turbidez (UNT)	7	1,54	1,43	1,77	0,12
UV <sup>7,0</sup> <sub>254nm</sub> (cm <sup>-1</sup> )	11	0,1226	0,0968	0,2056	0,0290

LEGENDA: COD – carbono orgânico dissolvido; COT – carbono orgânico total; SUVA – absorvância específica na região do ultravioleta; UV<sup>7,0</sup><sub>254nm</sub> – absorvância a 254 nm; UNT – unidade nefelométrica de turbidez; uH – unidade de Harzen equivalente a mg/L Pt-Co.

Fonte: autoria própria (2017).

Como forma de prevenção e redução da formação de SPD/SPO, a USEPA (1999) sugere que os valores para SUVA a 254 nm não sejam superiores a 2 L/mg-m. Os resultados demonstram que durante o período estudado apenas 27,3% dos valores encontraram-se abaixo do recomendado.

Segundo Edzwald e Van Benschoten (1990), pode-se classificar a água da Lagoa de Extremoz, de acordo com os resultados de SUVA obtidos como contendo a presença, principalmente, de matéria orgânica de origem não húmica, tendo em vista que, os valores obtidos encontram-se abaixo de 4,0 L/mg-m. Isso indica também que o COD é composto, em sua maior parte, por características menos aromáticas e com menor peso molecular, quando comparado com águas com valores de SUVA mais elevados. A USEPA (2012) especifica que águas em que os valores de SUVA estejam entre maiores que 2 L/mg-m e menores que 4 L/mg-m contém uma mistura de matéria húmica hidrofóbica e não húmica hidrofílica, com média absorção de radiação ultravioleta necessitando de uma maior demanda de cloro e conseqüentemente possuindo um maior potencial de formação de THM.

Dessa forma, segundo Piccolo (2002), a matéria orgânica possui características relativamente hidrofílicas, ou seja, a matéria orgânica é basicamente composta de ácidos fúlvicos.

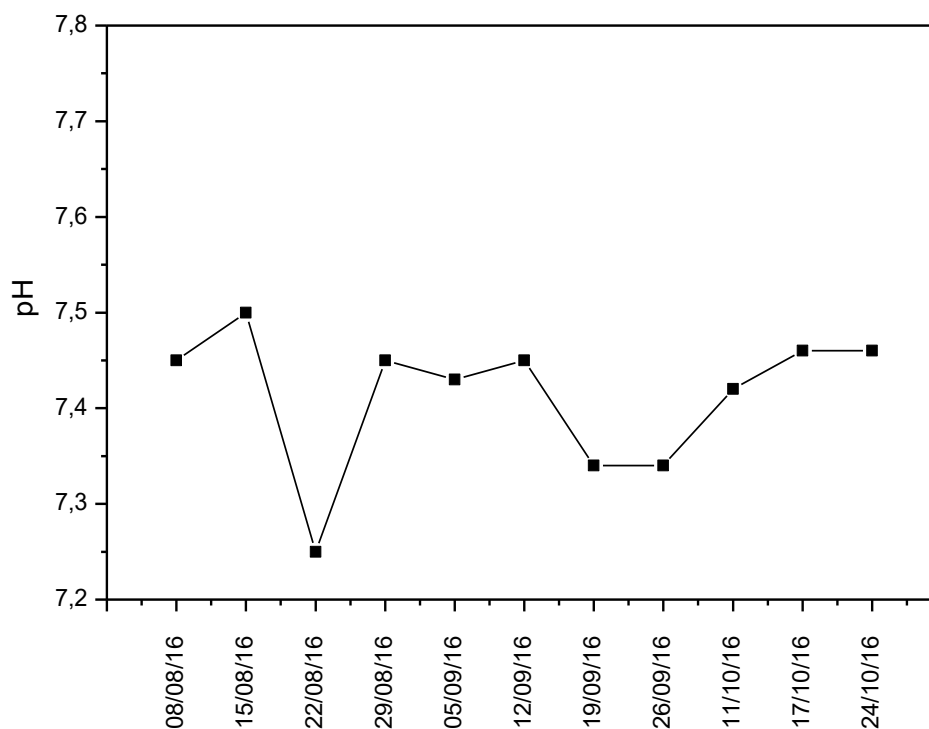
Segundo Duarte (2016), níveis bastante elevados de floração de algas podem ser detectados em algumas partes do manancial, o que justifica o valor médio de 6,53 mg/L de carbono orgânico total encontrado.

O pH, no que diz respeito a etapa de desinfecção, é uma variável importante em sistemas de tratamento de água, uma vez que intervém diretamente na concentração das diversas espécies químicas subsistentes na água. Além disso, o pH pode influenciar em outras propriedades, como, por exemplo, a cor, ou até mesmo ser responsável por processos de corrosão e incrustações, a depender da faixa em que se encontra (LENZI; FAVERO; LUCHESE, 2012).

A Figura 10 apresenta a variação de pH durante o período da pesquisa, nela observa-se que os valores não possuíram variações significativas, mantendo-se na faixa de 7,25 a 7,50.



Figura 10 – Variação do pH da água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.



Fonte: autoria própria (2017).

Os valores de pH obtidos estão de acordo com pesquisas anteriores realizadas neste manancial. Duarte (1999), em estudo realizado acerca da utilização dos índices do estado trófico (IET) e de qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das Lagoas de Bonfim, Extremoz e Jiqui-RN, obteve resultados de pH próximos, na faixa de 6,8 a 7,8, e afirma que estes valores são frequentes em lagos da região que recebem contribuições de águas superficiais, devido à geologia da bacia hidrográfica, que compreende solos calcários e areno-argilosos.

Os resultados de condutividade elétrica encontram-se na faixa de 261  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 283  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , valores próximos aos encontrados por Duarte (1999) e Cirne (2014), que obtiveram resultados variando entre 303  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 446  $\mu\text{S}/\text{cm}$  e 346  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 388  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , respectivamente.

A temperatura da água para o período esteve na faixa de 26,5°C a 27,5°C e está de acordo com os dados meteorológicos registrados para a região, segundo dados meteorológicos disponíveis no site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Embora a cor seja um indicador da presença de matéria orgânica na água, a mesma é tratada por questões estéticas. Desse modo, a Portaria 2914/2011 define o VMP para cor aparente, após o tratamento, como sendo 15 uH. Os resultados obtidos para a água bruta variaram de 17,4 uH a 22,5 uH.

A turbidez, assim como a cor é uma questão de inadequação estética, contudo, Lenzi, Favero e Luchese (2012) afirmam que, quando seus valores são elevados, eles podem comprometer a etapa de desinfecção da água, pois os microrganismos tendem a se associar as partículas da matéria orgânica em suspensão dificultando a ação do desinfetante. No período estudado, os resultados de a turbidez variaram de 1,43 UNT a 1,77 UNT.

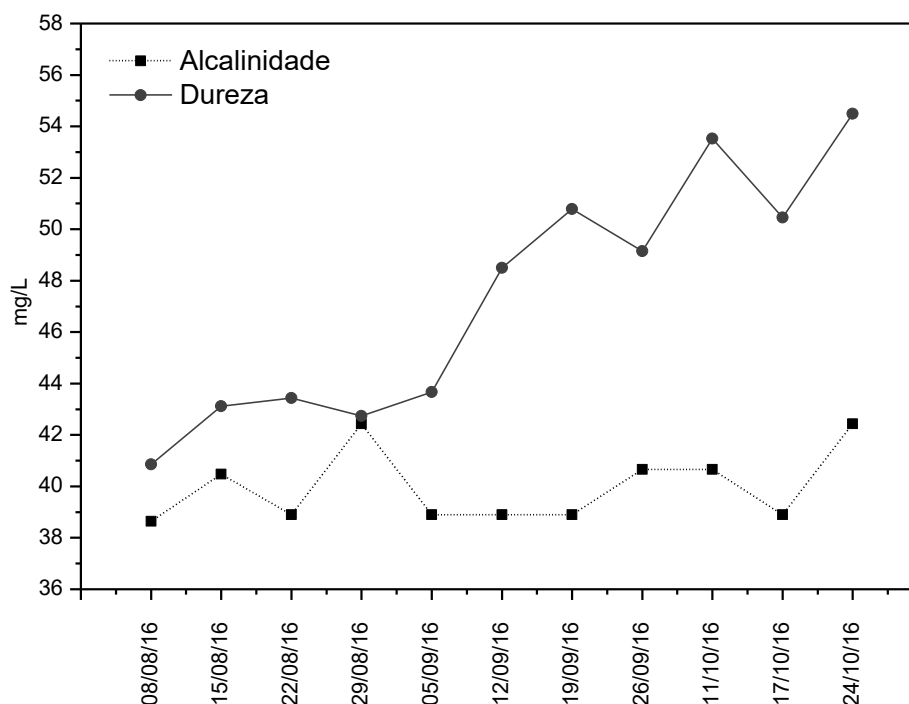
Duarte (1999) afirma que a água da Lagoa de Extremoz é uma água onde a cor tem predominância sobre a turbidez, devido, principalmente ao fitoplâncton e à matéria orgânica dissolvida presente no manancial, fato que ainda pode ser observado nos dias atuais.

As concentrações dos íons  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  responsáveis pela dureza da água mantiveram-se sem aumentos significativos durante o período monitorado. O resultado médio de 47,34 mg/L  $\text{CaCO}_3$  classifica a água do manancial, segundo Ritcher (2009), como sendo mole ou branda (< 50 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ) com tendência a uma dureza moderada (50 a 150 mg/L  $\text{CaCO}_3$ ). Fato também constatado por Duarte (1999), que obteve resultados mínimos de dureza na ordem de 25 mg/L  $\text{CaCO}_3$ .

O resultado médio da alcalinidade obtido para o período estudado foi de 39,98 mg/L  $\text{CaCO}_3$ . Valores de dureza superiores ao de alcalinidade indicam que há uma parcela desta não carbonatada e associada a outros íons, como cloretos e sulfatos (RITCHER, 2009).

A Figura 11 apresenta a comparação entre os resultados de dureza e alcalinidade.

Figura 11 – Resultados de dureza e alcalinidade na água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.



Fonte: autoria própria (2017)

Valores de amônia variaram de 0,10 mg/L  $\text{NH}_3\text{-N}$  a 0,35 mg/L  $\text{NH}_3\text{-N}$  e indicam a baixa probabilidade da formação de cloraminas durante a etapa de desinfecção, já que, mesmo antes do tratamento, os resultados já se encontram bem abaixo do VMP da Portaria MS nº 2914/2011, que é de 1,5 mg/L  $\text{NH}_3\text{-N}$ .

O oxigênio dissolvido representa um parâmetro que está relacionado diretamente com a quantidade e a natureza da matéria orgânica presente no corpo aquático. O valor médio de 6,0 mg/L  $\text{O}_2$  obtido durante o monitoramento da água bruta e representa o valor limítrofe para águas doces classe 1, segundo a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005, que especifica que os valores de OD não podem ser inferiores a 6,0 mg/L  $\text{O}_2$ .

#### 4.2 ESTUDO DO POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS

O potencial de formação de THM da água da Lagoa de Extremoz foi determinado, inicialmente, através de ensaios com variações de dosagens de cloro que garantissem um excesso de residual de cloro livre após 7 dias de reação. Primeiramente as dosagens de 5, 10, 15, 20 e 30 mg/L de cloro resultaram residuais

de 0,1, 0,4, 2,7, 5,8 e 13 mg/L  $\text{Cl}_2$ , respectivamente. Em função dos resultados não terem apresentado o residual de cloro livre dentro do estipulado pela metodologia para o prosseguimento do ensaio, houve a necessidade de testar uma nova concentração.

Observou-se que o valor de concentração para adição na água bruta estaria entre as concentrações de 15 e 20 mg/L, uma vez que os resultados de cloro residual livre para estas concentrações foram próximos ao indicado pela metodologia, desta maneira, adotou-se a concentração média desses valores, ou seja, 17,5 mg/L para o teste subsequente. Dessa maneira, o resultado de cloro residual livre obtido, com o teste utilizando uma dosagem inicial de cloro de 17,5 mg/L, foi 3,8 mg/L.

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados de cloro residual livre. Segundo a metodologia utilizada, após o tempo de reação de 7 dias, o residual livre de cloro deve estar entre 3,0 a 5,0 mg/L. Portanto, adotou-se a concentração de 17,5 mg/L para ser aplicada nos ensaios de potencial de formação de 7 dias, uma vez que esta concentração produziu um residual de cloro livre dentro do especificado (3,8 mg  $\text{Cl}_2$ /L).

**Tabela 2 – Resultados de cloro residual livre com tempo de contato de 7 dias a 25 °C para determinação da dosagem de cloro e confirmação de residual livre persistente.**

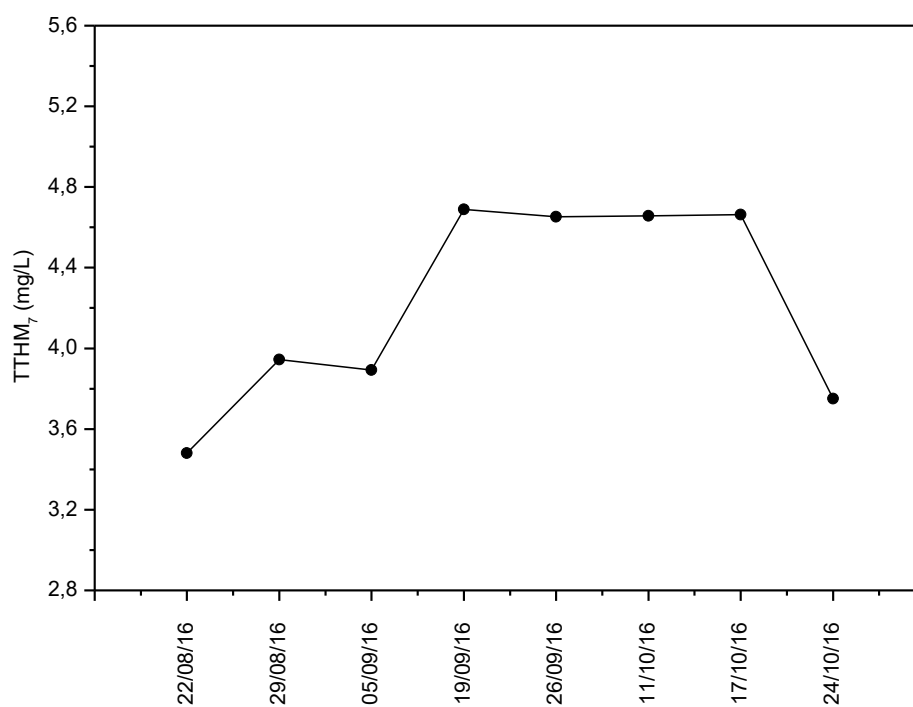
<b>Tipo de Cloro</b>	<b>Dosagem (mg <math>\text{Cl}_2</math>/L)</b>	<b>Cloro residual livre após 7 Dias (mg <math>\text{Cl}_2</math>/L)</b>
Solução Padrão de Cloro 5.000 mg/L Marca Specsol	5,0	0,1
	10,0	0,4
	15,0	2,7
	<b>17,5</b>	<b>3,8</b>
	20,0	5,8
	30,0	13,0

Fonte: autoria própria (2017).

Conforme o método APHA, AWWA e WEF 5710, o potencial de formação de trihalometanos (PFTHM ou  $\Delta$ PFTHM) pode ser determinado pela diferença entre a concentração final de trihalometanos totais ( $\text{TTHM}_7$ ) e a concentração inicial ( $\text{TTHM}_0$ ), sendo chamado de  $\Delta$ PFTHM ou, caso as concentrações iniciais sejam próximas a zero, o potencial de formação corresponde apenas a concentração final dos 7 dias de reação, sendo chamado, nesse caso, de PFTHM ou simplesmente de  $\text{TTHM}_7$ . Dessa forma, os resultados apresentados correspondem ao PFTHM ou  $\text{TTHM}_7$ , uma vez que as concentrações de  $\text{TTHM}_0$  na água bruta foram próximas à zero, ou seja, abaixo do limite de quantificação utilizado no método (2,5  $\mu\text{g/L}$ ).

Os resultados dos ensaios experimentais do potencial de formação de trihalometanos, para o período estudado corresponde à concentração média de 4,22 mg/L, com concentração máxima de 4,69 mg/L e mínima de 3,48 mg/L (Figura 12).

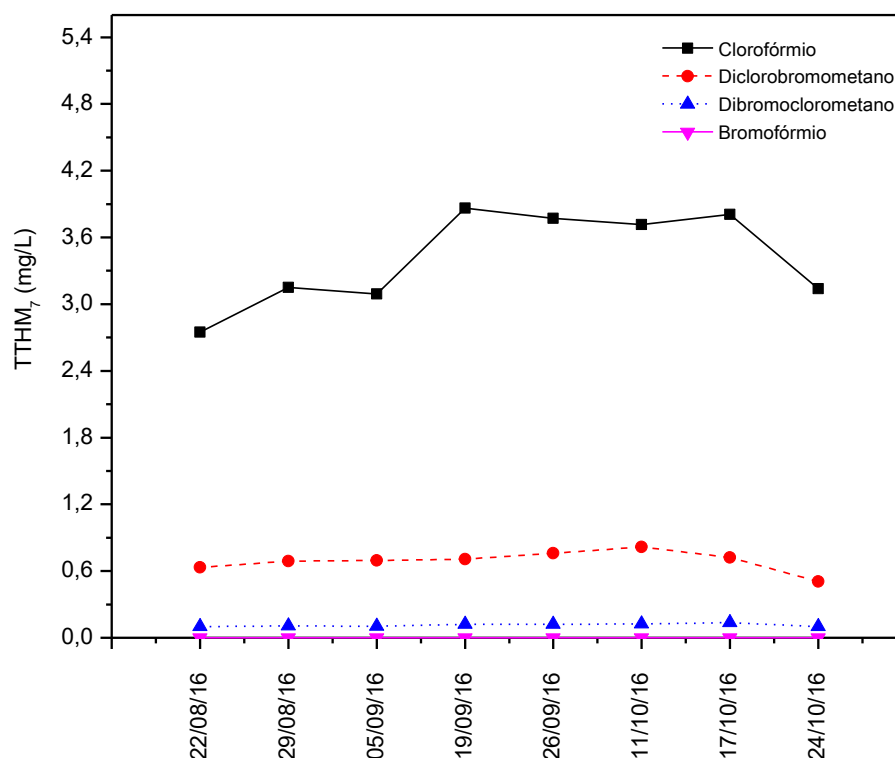
Figura 12 – Resultados de TTHM<sub>7</sub> obtidos na água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.



Fonte: autoria própria (2017).

Na Figura 13 apresentam-se as concentrações, por composto (clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio) que compõe os THM, durante o período estudado.

Figura 13 – Resultados individuais dos compostos que compõem os THM obtidos na água bruta da Lagoa de Extremoz, no período de 08/2016 a 10/2016.



Fonte: autoria própria (2017).

Dentro do limite de detecção da metodologia analítica empregada, o parâmetro que apresentou valor mais significativo foi o clorofórmio, com concentração média para o período estudado de 3,41 mg/L e desvio padrão de 0,41 mg/L, seguido do diclorobromometano com concentração média de 0,70 mg/L e desvio padrão de 0,09 mg/L, e, por fim, do dibromoclorometano, cuja concentração média foi de 0,11 mg/L e desvio padrão de 0,01 mg/L. Quanto às concentrações de bromofórmio, essas não puderam ser quantificadas, pois apresentaram-se abaixo do limite de quantificação (LQ) do método utilizado.

Avaliando-se individualmente cada composto que compõe os THM, constatou-se que 80,9% dos THM formados consistem no clorofórmio, 16,4% representa o diclorobromometano e 2,7% representa o dibromoclorometano. Os resultados foram semelhantes aos obtidos por Pardo (1996) em pesquisa acerca da avaliação de trihalometanos em sistema de abastecimento de água, onde realizou monitoramento a montante e a jusante da estação de tratamento de água ETA 3-4 da Sociedade de Abastecimento de Água e Saneamento (SANASA) em Campinas-SP, bem como em alguns pontos da rede de distribuição. Embora tenha realizados experimentos em

condições diferentes das realizadas nesse estudo, o referido autor identificou a formação de cerca de 85% a 63,89% de clorofórmio, indicando, portanto, a preponderância da formação desse THM em relação aos demais. Também foi verificada a formação em menor quantidade à dos THM bromados.

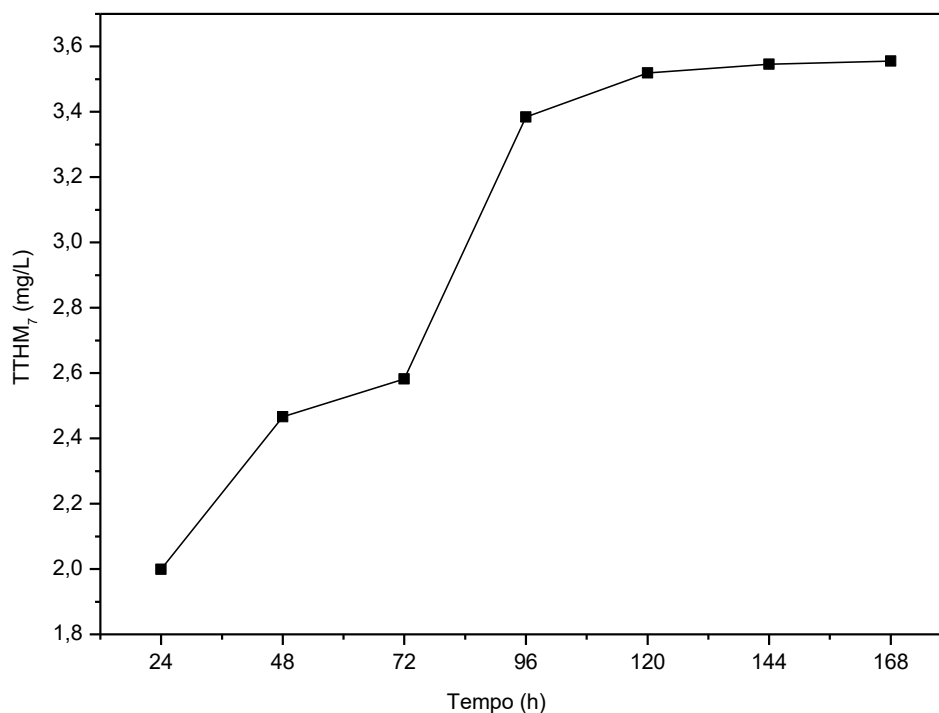
Os resultados do potencial de formação de trihalometanos indicam que a água da Lagoa de Extremoz possui forte potencialidade de formação de SPD, visto que os THM, de acordo com Latifoglu (2003), são utilizados como indicadores da presença de outros compostos orgânicos nas águas e que levando-se em consideração uma comparação com o VMP da Portaria 2914/2011 do Ministério da Saúde, o valor médio encontrado foi, aproximadamente, 42 vezes maior que o permitido para água potável, que é de 0,1 mg/L.

Tal fato, entretanto, não significa que serão formados valores tão elevados quanto esses durante o processo de tratamento de água. Dessa forma, os resultados obtidos devem ser considerados como um alerta para o sistema de abastecimento de água, bem como uma proposta na operação da ETA na previsão e no controle da formação de SPD/SPO.

#### **4.2.1 Processo de formação de trihalometanos em função do tempo**

A reação de formação de THM é associada ao tempo de contato do cloro com a água contendo matéria orgânica natural. A Figura 14 mostra a evolução das concentrações de THM, a cada 24 horas, a partir do dia do início do ensaio, finalizado ao completar 168 horas, o que totaliza os 7 dias de contato, conforme especificado no método para determinação do PFTHM.

Figura 14 – Processo de formação de THM em função do tempo de contato.



Fonte: autoria própria (2017).

Considerando que a concentração de THM atinge o total de 100% quando completadas as 168h de reação, os resultados obtidos demonstram que somente depois transcorridas 96h é que a concentração de THM atinge, aproximadamente, 95% do seu total, com concentração igual a 3,38 mg/L, divergindo do afirmado por Richter (2009).

As variações de concentração são, praticamente, inalteradas a partir de 120h de reação, pois a concentração de 3,51 mg/L, variou apenas 0,03 mg/L quando atingiu o tempo de 144h, e, em seguida, variou somente 0,01 mg/L, terminando as 168h com concentração igual a 3,56 mg/L.



#### 4.3 CORRELAÇÃO ENTRE O POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS E OS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

Na Tabela 3 apresenta-se os coeficientes de correlação de Pearson (R) entre as variáveis físico-químicas monitoradas e o potencial de formação de trihalometanos durante o período do estudo, os quais serão utilizados, ao invés do coeficiente linear ( $R^2$ ), para diferenciar as correlações positivas e negativas. As correlações foram definidas como sendo R fraco: 0,00 a 0,39; R moderado: 0,40 a 0,69 e R forte: 0,70 a 1,00.

**Tabela 3 – Coeficientes de correlação de Pearson (R) das variáveis físico-químicas e o TTHM<sub>7</sub>.**

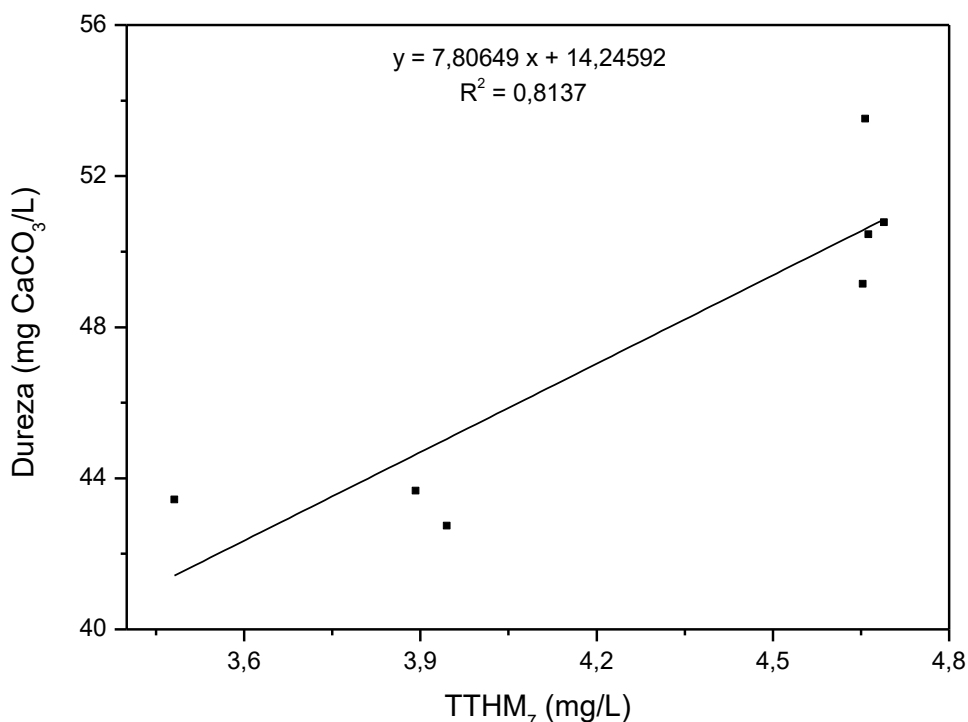
	<b>TTHM<sub>7</sub></b>	<b>Classificação</b>
<b>Alcalinidade</b>	0,03	Fraca
<b>Amônia</b>	-0,22	Fraca
<b>COD</b>	0,58	Moderada
<b>Condutividade</b>	0,69	Moderada
<b>Cor Aparente</b>	-0,82	Forte
<b>Cor Verdadeira</b>	-0,23	Fraca
<b>COT</b>	0,25	Fraca
<b>Dureza</b>	0,90	Forte
<b>OD</b>	0,11	Fraca
<b>pH</b>	0,33	Fraca
<b>SUVA</b>	0,05	Fraca
<b>Temperatura</b>	0,50	Moderada
<b>Turbidez</b>	0,39	Fraca
<b>UV<sup>7,0</sup><sub>254nm</sub></b>	0,15	Fraca

LEGENDA: COD – carbono orgânico dissolvido; COT – carbono orgânico total; SUVA – absorvância específica na região do ultravioleta; UV<sup>7,0</sup><sub>254nm</sub> – absorvância a 254 nm; pH – potencial hidrogeniônico; OD – oxigênio dissolvido; PFTHM – potencial de formação de trihalometanos;

Fonte: autoria própria (2017).

Dentre os resultados obtidos, em maior destaque, temos a dureza, com coeficiente  $R=0,90$ , valor que indica uma forte correlação positiva, ou seja, a formação de THM é diretamente proporcional ao aumento da dureza da água.

Na Figura 15 apresenta-se o gráfico da correlação entre o TTHM<sub>7</sub> e a dureza, o  $R^2$  obtido indica que, para uma água com as características de concentração de dureza apresentadas, haverá uma probabilidade aproximada de 81% para a formação de THM.

Figura 15 – Gráfico representativo da correlação obtida entre a dureza e o TTHM<sub>7</sub>.

Fonte: autoria própria (2017).

A expressiva correlação existente entre as concentrações de TTHM<sub>7</sub> e a dureza pode ser explicada segundo estudo realizado por Navalon, Alvaro e Garcia (2009), os quais verificaram o efeito da presença dos íons Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, responsáveis pela dureza das águas naturais e sua contribuição para o aumento da formação de trihalometanos. Utilizaram tanto soluções preparadas em laboratório com concentrações conhecidas de COD, Mg<sup>2+</sup> e Ca<sup>2+</sup>, como uma água bruta proveniente do rio Turia, localizado na cidade de Valência, leste da Espanha. Considerando apenas os experimentos realizados com a água bruta, compararam a evolução no aumento da concentração de THM, a partir das suas características naturais (145 mg/L Ca<sup>2+</sup> e 37 mg/L Mg<sup>2+</sup>), com a mesma água acrescida de concentrações adicionais destes íons. Verificaram que, com a adição de 60 e 100 mg/L de Ca<sup>2+</sup>, ocorria um aumento de 13,9 e 34,0 µg/L de THM, respectivamente. A adição das concentrações de 30 e 60 mg/L de Mg<sup>2+</sup> resultou em um aumento de 24,7 e 50,7 µg/L nas concentrações de THM, respectivamente. Constataram também que o aumento mais significativo no que diz respeito às concentrações individuais dos THM ocorre no CHCl<sub>3</sub> e no CHBrCl<sub>2</sub>, em detrimento do CHBr<sub>2</sub>Cl e CHBr<sub>3</sub>. Portanto, a presença dos íons, cálcio e magnésio,

responsáveis pela dureza das águas naturais, pode promover um aumento na concentração dos subprodutos da desinfecção objetivo deste trabalho.

Estudos realizados por Hua, Reckhow e Abusallout (2015), Yang et al. (2015) e Golea et al. (2017) destacam os parâmetros: SUVA, COD,  $UV_{254nm}$  e cor como bons indicadores da formação de subprodutos. Os resultados obtidos indicam uma forte correlação com a cor aparente ( $R = -0,82$ ), embora esta seja negativa, indicando apenas que formação de  $TTHM_7$  é inversamente proporcional ao parâmetro de cor aparente da água.

Como compostos aromáticos e húmicos predominam na matéria orgânica hidrofóbica, espera-se que as medidas de  $UV_{254nm}$  forneçam uma indicação razoável do PFTHM (WEISHAAR et al., 2003; BESSIERE et al., 2009). Os resultados, entretanto, demonstram uma baixa correlação entre  $TTHM_7$ ,  $UV_{254nm}$  e SUVA ( $R = 0,15$  e  $R = 0,05$  respectivamente). A baixa correlação está relacionada às características da matéria orgânica presente, tipicamente hidrofílica. Esta característica sugere que, os THM são formados a partir de diversos precursores, incluindo os compostos absorventes e não absorventes de radiação ultravioleta específica (HUA; RECKHO; ABUSALLOUT, 2015).

O carbono orgânico dissolvido apresentou uma correlação moderada quanto o  $TTHM_7$  ( $R = 0,58$ ), sendo considerado um indicador razoável para a formação de SPD, conforme Golea et al. (2017).

Assim como estudo realizado por Garcia et al. (2016), observa-se uma significativa correlação entre a temperatura e  $TTHM_7$  ( $R = 0,50$ ). A temperatura é um parâmetro diretamente associado à cinética de reação para a formação de THM, já que temperaturas elevadas tendem a consumir mais rapidamente o cloro adicionado a água, havendo a necessidade de adição de concentrações extras para manter o nível de cloro residual recomendado pela legislação, contribuindo, desse modo, para a formação de subprodutos da desinfecção.

A exceção da condutividade ( $R = 0,69$ ), que apresentou correlação moderada, os demais parâmetros apresentaram correlações fracas com as concentrações de  $TTHM_7$ .

#### 4.4 ANÁLISES NA REDE DE DISTRIBUIÇÃO

Os resultados médios, máximos e mínimos obtidos das análises realizadas na rede de distribuição estão apresentados na Tabela 4. Nela, observar-se um aumento nas concentrações de THM, COT e COD, quando comparados os valores máximos e mínimos. Esse aumento pode ser explicado devido à possível piora da qualidade da água em função da diminuição do nível de água da Lagoa de Extremoz durante o período de coleta.

Segundo dados da Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte (SEMARH) e da CAERN, a Lagoa de Extremoz atingiu aproximadamente 40% da sua capacidade, comprometendo assim o sistema de abastecimento. A adoção do mecanismo de rodízio, utilizado como uma medida preventiva em função do baixo nível da Lagoa observado, implica em maiores tempos de detenção da água tratada na rede, o que pode configurar uma piora em sua qualidade, desta forma contribuindo para as elevações das concentrações obtidas tanto de COT e COD, quanto de THM quantificadas no período.

**Tabela 4 – Resultados de THM, COT e COD na rede de distribuição, no período de dezembro de 2016 e fevereiro e março de 2017.**

AMOSTRA	PARÂMETROS	n	MÉDIA	MÍNIMO	MÁXIMO	DESVIO PADRÃO
Amostra 01	THM (mg/L)	3	1,06	0,55	1,76	0,63
	COT (mg/L)	4	7,12	3,44	9,98	2,76
	COD (mg/L)	4	6,10	3,31	7,81	2,02
Amostra 02	THM (mg/L)	4	0,82	0,65	1,00	0,15
	COT (mg/L)	4	7,10	6,63	7,57	0,40
	COD (mg/L)	4	6,44	5,98	7,14	0,53
Amostra 03	THM (mg/L)	3	1,01	0,71	1,23	0,27
	COT (mg/L)	4	6,98	6,63	7,82	0,60
	COD (mg/L)	4	6,30	5,85	7,11	0,63
Amostra 04	THM (mg/L)	3	1,11	0,64	1,84	0,64
	COT (mg/L)	3	6,95	6,55	7,60	0,57
	COD (mg/L)	3	6,22	5,61	7,15	0,82
Amostra 05	THM (mg/L)	3	0,71	0,29	1,03	0,38
	COT (mg/L)	4	5,33	2,44	7,68	2,52
	COD (mg/L)	4	5,10	2,45	7,36	2,36
Amostra 06	THM (mg/L)	4	0,39	0,16	0,72	0,26
	COT (mg/L)	4	4,65	3,99	5,99	0,91
	COD (mg/L)	4	4,23	2,88	5,60	1,11
Amostra 07	THM (mg/L)	2	0,63	0,63	0,63	0,001
	COT (mg/L)	2	8,28	7,76	8,80	0,74
	COD (mg/L)	2	6,80	6,12	7,48	0,96

LEGENDA: THM – trihalometanos (clorofórmio, diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio); COT – carbono orgânico total e COD – carbono orgânico dissolvido.

Fonte: autoria própria (2017).

Comumente, observa-se em águas tratadas a queda nos níveis de matéria orgânica quando estes são comparados aos níveis da água bruta, entretanto, os resultados para COT e COD obtidos divergem de tal fato. Isso pode estar associado

à presença de biofilmes ao longo da tubulação, já que estes tendem a comprometer diversos parâmetros de qualidade da água (Liu et al., 2016).

Outra contribuição para as concentrações de COD e COT obtidas, está relacionada a introdução da água de lavagem dos filtros da ETA no processo de tratamento.

As concentrações de THM, além de associadas à qualidade da água, podem ser associados a presença de biofilmes ao longo das tubulações. De acordo com Abokifa et al. (2016) e Wang et al. (2013), o carbono microbiano presente no biofilme contribui para a formação de SPD, sendo os THM detectados em maiores concentrações quando comparados aos demais subprodutos.

Wang et al. (2013) ainda associa a formação de maiores quantidades de THM em detrimento dos demais SPD, em função da composição bioquímica do biofilme quando este está presente em tubulações de policloreto de vinila (PVC). Dessa forma, o fato de o material da tubulação, dos pontos da rede de distribuição em que as amostras foram coletadas, possivelmente ser de PVC, pode contribuir para a alteração das características do biofilme que venham a existir e conseqüentemente contribuir para a formação de THM, além de outras classes de SPD.

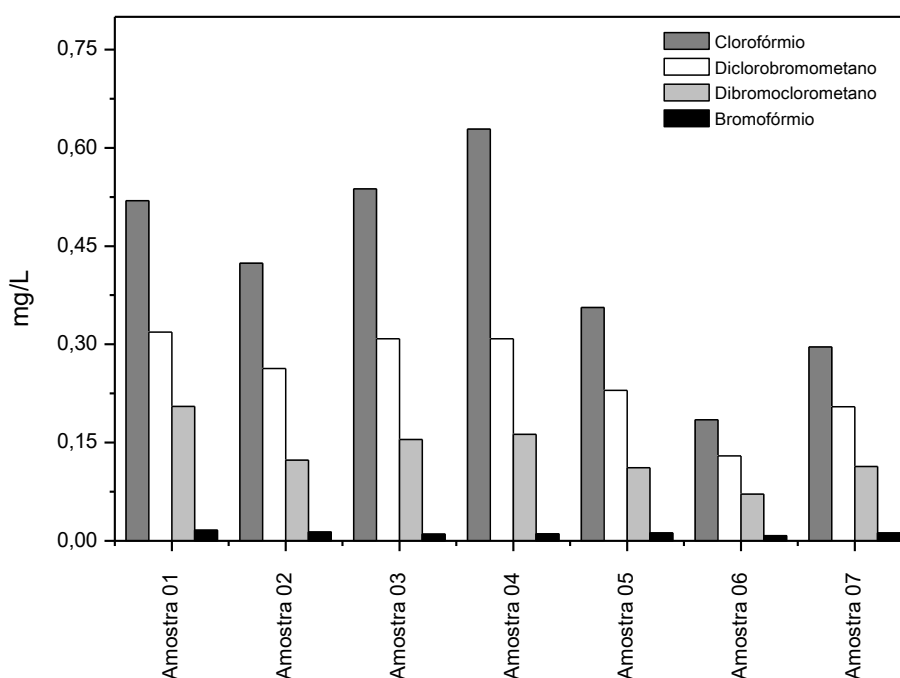
Outro fator relacionado a presença de THM em águas tratadas é a remoção da MON durante o processo de tratamento, pois, muitas vezes, os tratamentos tipicamente convencionais adotados em ETA não são capazes de remover esse precursor quando o mesmo é caracterizado como contendo principalmente matéria orgânica do tipo hidrofílica (HUA; RECKHO; ABUSALLOUT, 2015), sendo necessária a utilização de estratégias alternativas para a remoção da MON e THM.

O desinfetante utilizado no processo de tratamento também pode caracterizar maiores ou menores concentrações de SPD, principalmente pela forma como o cloro dissocia-se e reage com os precursores. Na ETA Extremoz, como mencionado anteriormente, são utilizados tanto o cloro gasoso quanto o dicloroisocianurato de sódio (NaDCC) durante a etapa de desinfecção, ambos com potencial formação de SPD. Esse último, embora seja aprovado para utilização durante a desinfecção em sistemas de tratamento de água pela USEPA, somente é recomendado pelo órgão regulamentador de águas de abastecimento do Reino Unido e pela Organização Mundial de Saúde (OMS) para usos em casos emergenciais, em razão da sua capacidade de fornecer cloro livre de fácil utilização, desde que não ultrapassando o período de noventa dias ao longo de um ano (KUZNESOF, 2004; WHO, 2011).

O período que compreendeu as análises na rede de distribuição é caracterizado como a estação sazonal do verão. Em redes de distribuição, a temperatura ambiente configura um fator de contribuição na reação de formação de THM, pois o consumo de cloro é acelerado durante os meses mais quentes, necessitando a adição de doses extras do agente desinfetante ao longo da rede, de modo a manter as concentrações de residual desejáveis, resultando, assim, no aumento das concentrações de THM (GARCIA et al., 2016).

No que se referem às concentrações individuais dos THM (Figura 16), as maiores concentrações observadas dizem respeito ao clorofórmio, seguido do diclorobromometano, dibromoclorometano e bromofórmio, respectivamente. Tendência também observada no ensaio de PFTHM, com exceção do bromofórmio, onde as concentrações não puderam ser quantificadas, uma vez que apresentaram-se abaixo do limite de quantificação adotado para o método.

Figura 16 – Resultados individuais dos compostos que compõem os THM obtidos na água da rede de distribuição, no período de dezembro de 2016 e fevereiro e março de 2017.



Fonte: autoria própria (2017).

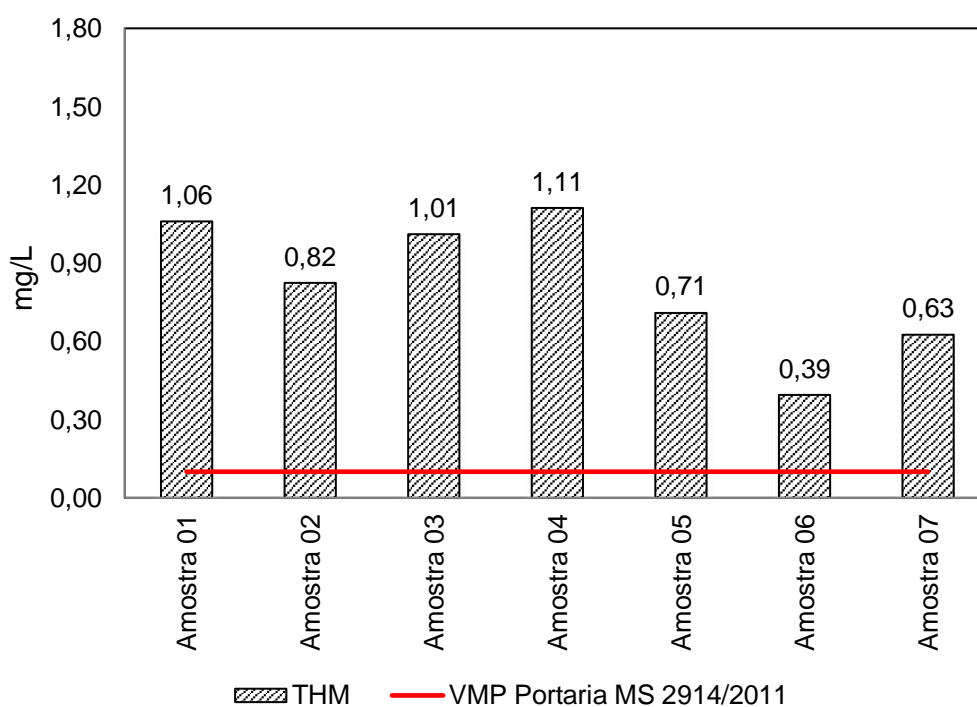
A formação dos THM organo-bromados está associada a presença do íon brometo na água. Embora as concentrações desse analito não tenham sido devidamente avaliadas neste estudo, sua presença pode estar vinculada a diversas fontes desde antrópicas e, até mesmo, à intrusão de água do mar em mananciais

utilizado para fins de abastecimento (MCTIGUE et al., 2014). Portanto, a presença do bromofórmio nas análises realizadas na rede requer uma investigação da presença de brometo em todas as etapas do tratamento da água e no sistema de distribuição.

As concentrações referentes aos THM podem ser observadas na Figura 17. Conforme a Portaria n° 2914 do MS, o valor máximo permitido para essa classe de subproduto da desinfecção é 0,1 mg/L. Diante dos resultados obtidos, observou-se que 100% das amostras analisadas apresentaram seus valores médios superiores ao legislado, variando de 4 a 10 vezes superiores ao VMP.

A menor concentração de THM detectada na amostra 06, está associada à provável mistura da água da Lagoa com água proveniente de poços tubulares.

Figura 17 – Concentrações de THM na rede de distribuição, no período de dezembro de 2016 e fevereiro e março de 2017.



Fonte: autoria própria (2017).

As correlações entre os valores de THM com COT e COD, obtidas a partir dos resultados dos ensaios realizados na rede de distribuição, demonstraram coeficientes de correlação moderados entre esses parâmetros.

Quando comparados as correlações de THM entre o COT e o COD, observa-se que a fração dissolvida da matéria orgânica, ou seja, o carbono orgânico dissolvido,



apresenta uma melhor correlação ( $R = 0,60$ ) em relação à fração total ( $R = 0,50$ ), seguindo a mesma tendência observada das correlações obtidas na água bruta.

## 5 CONCLUSÕES/RECOMENDAÇÕES

Os resultados obtidos relacionados à caracterização físico-química da água bruta, o ensaio de potencial de formação de trihalometanos e as análises na rede de distribuição, no período de agosto a outubro de 2016, para os ensaios relacionados a água bruta e, no período de dezembro de 2016, fevereiro e março de 2017, para os ensaios relacionados a rede de distribuição permitem as seguintes conclusões/recomendações:

- Os precursores monitorados mostraram a presença de matéria orgânica não húmica e com características hidrofílicas que correspondem à preponderância de ácidos fúlvicos.
- As concentrações de TTHM<sub>7</sub> indicam que a água da Lagoa de Extremoz possui uma forte potencialidade para a formação de trihalometanos e conseqüentemente de outros subprodutos da desinfecção, já que os THM são utilizados como indicadores. Estes resultados devem ser considerados como um alerta para o sistema de abastecimento de água, bem como uma proposta na operação da ETA na previsão e controle da formação de SPD/SPO.
- A forte correlação da dureza com o PFTHM indica que a presença dos íons Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> podem contribuir para a formação de THM.
- A cor aparente pode ser considerada um indicador para a formação de subprodutos devido sua forte correlação com o TTHM<sub>7</sub>.
- As correlações de COT e COD com o TTHM<sub>7</sub> e o THM, respectivamente na água bruta e na água tratada, tiveram a mesma tendência, sendo consideradas moderadas.
- O tempo de reação no que se refere a formação de THM pode ser um fator importante.
- A diminuição no nível da Lagoa de Extremoz possivelmente influenciou os resultados dos ensaios realizados na rede de distribuição.

- O aumento nas concentrações de COT e COD também representam um aumento nas concentrações de THM, conforme observado nos resultados obtidos nas análises realizadas na água tratada.
- Todas as concentrações de THM avaliadas na rede de distribuição foram acima do valor máximo permitido da Portaria MS nº 2914/2011, indicando que medidas que visem a minimizar a formação de SPD no sistema de abastecimento de água potável devem ser consideradas, seja por meio da investigação da influência dos desinfetantes já utilizados quanto à formação dos THM na água tratada, seja pelo estudo da viabilidade de utilização de desinfetantes alternativos, ou, até mesmo, pela adoção de processos de remoção de SPD ao final do tratamento.
- Dentre os THM formados, tanto no ensaio de potencial, quanto nas análises de rede, o clorofórmio foi o que apresentou maiores concentrações.
- A presença de bromofórmio na rede de distribuição requer uma investigação da presença de brometo ao longo do tratamento, uma vez que este não foi monitorado no presente estudo e não foram observadas concentrações de bromofórmio durante o estudo de potencial.

## REFERÊNCIAS

ABOKIFA, A. A. et al. Investigating the role of biofilms in trihalomethane formation in water distribution systems with a multicomponent model, **Water Research**, v.104, p.208 – 219, 2016.

ABOULEISH, M.Y.Z.; WELLS, M.J.M. Trihalomethane formation potential of aquatic and terrestrial fulvic and humic acids: Sorption on activated carbon, **Science of the Total Environment**, v.521 – 522, p.293 – 304, 2015.

AGRIZZI, A. D. **Avaliação da formação de trihalometanos considerando o uso de cloro e permanganato de potássio como pré-oxidantes em águas de abastecimento**. 2011. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico, Espírito Santo, 2011.

ALVARENGA, J. A. **Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consumo humano**. 2010. 100 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2011.

APHA, AWWA e WEF – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard methods**: for the examination of water and wastewater. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012.

BESSIERE, Y. et al. Effect of hydrophilic/hydrophobic fractionations of natural organic matter on irreversible fouling of membranes, **Desalination**, v.249, n.1, p.182 –187, 2009.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914, de 14 de dezembro de 2011. Descreve os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, p. 43 – 49, 2 jan. 2012. Seção 1.

\_\_\_\_\_. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Manual de controle da qualidade da água para técnicos que trabalham em ETAS**. Ministério da Saúde, Fundação Nacional de Saúde - Brasília: Funasa, 2014.

\_\_\_\_\_. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Meio Ambiente. 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, e dá outras providências. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, p.58 – 63, 18 mar. 2005. Seção 1.

CARNEIRO, C. G. **Estudo do Potencial de Formação de Trihalometanos da Lagoa do Peri, Florianópolis-SC**. 2012. 59 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CESCO, D. D. **Avaliação em escala real da formação de THMs em águas de abastecimento**. 2007. 82 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2007.

CETESB - COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem**. Disponível em: <<http://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/32/2013/11/variaveis.pdf>>. Acesso em: 29 de jun. 2016.

CIRNE, J. R. R. **Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração**. 2014. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

DANIEL, L. A (Coord.). **Processos de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: RIMA, 2001.

DI BERNARDO, L; DANTAS, A. D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2. ed. São Paulo: Rima, 2005.

DUARTE, M. A. C. (coord). **Estudo do potencial de formação de trihalometanos em águas de mananciais da região metropolitana de Natal/RN**. Natal, MCTI/CNPq: 2016 (Projeto de Pesquisa Científica).

\_\_\_\_\_. **Utilização dos índices do estado trófico (IET) e de qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das Lagoas de Bonfim, Extremóz e Jiqui- RN**. 1999. 156 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, 1999.

EDZWALD, J. K; VAN BENSCHOTEN, J. E. Aluminum coagulation of natural organic matter. In: HAHN, H. H; KLUTE, R. (Ed.). **Chemical water and wastewater treatment**. Springer-Verlag, 1990. p. 341-359.

EL-DIB, M. A.; ALI, R. K. THMs formation during chlorination of raw Nile river water, **Water Research**, v.29, n.1, p.375 – 378, 1995.

GARCIA, M. V. et al. Climatic, Geographic and Operational Determinants of Trihalomethanes (THMs) in Drinking Water Systems, **Scientific Reports**, v.6, p.1 – 12, out. 2016.

GOLEA, D. M. et al. THM and HAA formation from NOM in raw and treated surface waters, **Water Research**, v.112, p.226 – 235, 2017.

HARRIS, D. C. **Análise química quantitativa**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

HUA, G.; RECKHOW, D. A.; ABUSALLOUT, I. Correlation between SUVA and DBP formation during chlorination and chloramination of NOM fractions from different sources, **Chemosphere**, v.130, p.82 – 89, 2015.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. Estações e dados: estações automáticas, estação Natal A-304, período pesquisado 08/08/2016 a 24/10/2016. Disponível em:

<[http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg\\_dspDadosCodigo\\_sim.php?QTMwNA==](http://www.inmet.gov.br/sonabra/pg_dspDadosCodigo_sim.php?QTMwNA==)>. Acesso em 14 fev. 2017.

JERÔNIMO, C. E. M.; SOUZA, F. R. S. Determinação do índice de qualidade da água da Lagoa de Extremoz-RN: série temporal e correlação a índices pluviométricos, **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.10, n.10, 2013.

JOUBERT, C. P. P. Variação de parâmetros físico-químicos ao longo da Lagoa de Extremoz. In: 2º Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental, 2002, Porto Alegre. **Anais...**, Porto Alegre: Gestão Ambiental Urbana e Industrial, 2002.

KUZNESOF, P.M. Sodium dichloroisocyanurate: (NaDCC – anhydrous and dihydrate), **Chemical and Technical Assessment**, n. 61<sup>st</sup> JECFA, p.1 – 8, 2004.

LATIFOGLU, A. Formation of trihalomethanes by the disinfection of drinking water, **Indoor and Built Environment**, Ankara, v.12, n.6, p.413 – 417, 2003.

LENZI, E. FAVERO, L. O. B., LUCHESE, E. B. **Introdução a química da água: ciência, vida e sobrevivência**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

LIU, P. et al. Reducing natural organic matter and disinfection by-product precursors by alternating oxic and anoxic conditions during engineered short residence time riverbank filtration: A laboratory-scale column study, **Science of the Total Environment**, v.565, p.616 – 625, 2016.

LR ENGENHARIA E CONSULTORIA LTDA. **Diagnóstico do plano diretor de drenagem e manejo de águas pluviais da cidade do Natal: Item 2.8 – Estudos de Saneamento Básico - Relatório Consolidado**. Natal: LR Engenharia e Consultoria LTDA, 2009.

MARMO, C. R.; SANTOS, B. V. A. P.; BRESAOLA JÚNIOR, R. Comparação entre os métodos cromatográfico e espectrofotométrico na detecção de trihalometanos em águas de abastecimento. In: 30º CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 2006, Punta del Este. **Anais...**, Punta del Este: Asociación Interamericana de Ingeniería Sanitaria y Ambiental – AIDIS, 2006.

MCTIGUE, N. E. et al. Occurrence and consequences of increased bromide in drinking water sources, **Environmental Engineering & Technology**, v.106, n.11, p.E492 – E508, 2014.

MEYER, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública, **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.10, n.1, p.99 – 110, 1994.

NATAL. Secretaria Municipal de Meio Ambiente e Urbanismo. **Natal em dados 2009**. Natal: SEMURB, 2009.

NAVALON, S.; ALVARO, M.; GARCIA, H.  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{Mg}^{2+}$  present in hard waters enhance trihalomethane formation, **Journal of Hazardous Materials**, v.169, p. 901–906, 2009.

NETO, M. L. F. **Norma Brasileira de Potabilidade de Água: Análise dos parâmetros agrotóxicos numa abordagem de avaliação de risco**. 2010. 169 f. Tese (Doutorado Ciências de Saúde Pública e Meio Ambiente) - Escola Nacional de Saúde Pública Sergio Arouca, Rio de Janeiro, 2010.

NIKOLAOU, A. D.; KOSTOPOULOU, M. N.; LEKKAS, T. D. Organic by-products of drinking water chlorination, **Global Nest Journal**, Greece, v. 1, n.3, p.143-156, 1999.

PARANÁ (Estado). Lei estadual nº 17.278, de 01 de agosto de 2012. Dispõe sobre ação preventiva na área de saneamento básico com a redução do valor máximo permitido (VMP), para trihalometanos (TAM) e a fixação de valor para ácidos haloacéticos (HAA). **Diário Oficial Paraná**, Paraná, n. 8768, p.3, 2 ago 2012.

PARDO, S. D. A. **Avaliação do potencial de formação de trihalometanos em sistemas de abastecimento de água**. 1996. 139 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1996.

PASCHOALATO, C. F. P. R. **Efeitos da pré-oxidação, coagulação, filtração e pós-cloração na formação de subprodutos orgânicos halogenados em águas contendo substâncias húmicas**. 2005. 291 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil, Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

PICCOLO, A. The supramolecular structure of humic substances: A novel understanding of humus chemistry and implications in soil science, **Advances in Agronomy**, v.75, p.57-134, 2002.

QUAY, C.; RODRIGUEZ, M.; SÉRODES, J. Using ozonation and chloramination to reduce the formation of trihalomethanes and haloacetic acids in drinking water, **Desalination**, Quebec, n.176, p.229 – 240, 2004.

RIBANI, M. et al. Validação em métodos cromatográficos e eletroforéticos, **Química Nova**, v.27, n. 5, p.771 – 780, 2004.

RICHARDSON, S. D.; TERNES, T. A. Water analysis: emerging contaminants and current issues, **Analytical Chemistry**, v.86, p.2813 – 2848, 2014.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009.

RIO GRANDE DO NORTE. Secretaria de Recursos Hídricos do Estado do Rio Grande do Norte. **Situação Volumétrica de Reservatórios do RN**: Ficha técnica do Reservatório Lagoa de Extremoz. Disponível em <<http://sistemas.searh.rn.gov.br/MonitoramentoVolumetrico/Monitoramento/FichaTecnica?idReservatorio=1038>>. Acesso em 30 abr. 2017.

\_\_\_\_\_. Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte. **Zona Norte terá rodízio no abastecimento a partir desta quarta-feira (08)**, Rio Grande do Norte, fev. 2017. Disponível em: <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=140006&ACT=&PAGE=&PARM=&LBL=MAT%C9RIA>>. Acesso em 30 abr. 2017.

ROCCARO, P. et al. Effects of pH on the speciation coefficients in models of bromide influence on the formation of trihalomethanes and haloacetic acids, **Water Research**, v.62, p.117 – 126, 2014..

RODRIGUEZ, M. J. et al. Chlorinated disinfection by-products in drinking water according to source, treatment, season, and distribution location, **Journal of Environmental Engineering and Science**, v.6, n. 4, p.355 – 365, 2007.

ROSALÉM, S. F. et al. Avaliação de trialometanos formados na etapa de pré-oxidação com cloro e permanganato de potássio em água de abastecimento, **Revista Dae**, São Paulo, n.191, p.54 – 59, 2012.

ROY, A. J. Treatment alternatives for compliance with the Stage 2 D/DBPR: An economic update, **Journal American Water Works Association**, p.44 – 51, 2010.

SADIQ, R.; RODRIGUEZ, M. J. Disinfection by-products (DBPs) in drinking water and predictive models for their occurrence: a review, **Science of the Total Environment**, v. 321, p.21 – 46, 2004.

SANTOS, L. A. **Avaliação de fatores intervenientes na formação de trialometanos em sistemas de abastecimento de água**: estudo de caso na região metropolitana de Belo Horizonte - MG. 2013. 107 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2013.

SILVA, B. H. L.; MELO M. A. B. Trihalometanos em água potável e riscos de câncer: simulação usando potencial de interação e transformações de Bäcklund, **Química Nova**, v.38, n.3, p.309 – 315, 2015.

SIMPSON, K. L.; HAYES, K. P. Drinking water disinfection by-products: an australian perspective, **Water Research**, v.32, n.5, p.1522 – 1528, 1998.

SINGER, P. C. Control of disinfection by-products in drinking water, **Journal of Environmental Engineering**, p.727 – 744, 1994.

START PESQUISA E CONSULTORIA TÉCNICA LTDA. **Plano municipal de saneamento básico do município de Natal/RN**: Produto 02 - diagnóstico da situação do saneamento, subproduto 2.3 - Situação dos serviços de abastecimento de água potável e de esgotamento sanitário, tomo I - situação dos serviços de abastecimento de água potável. Natal: Start Pesquisa e Consultoria Técnica LTDA, 2015.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Alternative disinfectants and oxidants guidance manual**. USEPA: 1999.

\_\_\_\_\_. **EPA 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. Ohio, 1995.

\_\_\_\_\_. **EPA drinking water guidance on disinfection by-products**: advice note No 4, version 2. USEPA: 2012.

WANG, J. et al. Disinfection byproduct formation from chlorination of pure bacterial cells and pipeline biofilms, **Water Research**, v.47, p.2701 – 2709, 2013.

WANG, X. et al. Disinfection byproducts in drinking water and regulatory compliance: a critical review, **Frontiers of Environmental Science & Engineering**, v.9, n. 1, p.3 – 15, 2015.

WEISHAAR, J.L. et al. Evaluation of specific ultraviolet absorbance as an indicator of the chemical composition and reactivity of dissolved organic carbon, **Environmental Science and Technology**, v.37, n.20, p.4702 – 4708, 2003.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. **Environmental health criteria 216**: disinfectants and disinfectant by-products. Geneva: WHO, 2000.

\_\_\_\_\_. **Guidelines for drinking-water quality**. 4. Ed. Geneva: WHO, 2011.

XIE, Y. **Disinfection byproducts in drinking water**: formation, analysis, and control, United States: Lewis Publishers, 2004.

YANG, L. et. al. Assessing trihalomethanes (THMs) and N-nitrosodimethylamine (NDMA) formation potentials in drinking water treatment plants using fluorescence spectroscopy and parallel factor analysis, **Chemosphere**, v. 121, p. 84 – 91, 2015.

ZHANG, F. et al. Reduction of organic matter and trihalomethane formation potential in reclaimed water from treated municipal wastewater by coagulation and adsorption, **Chemical Engineering Journal**, v.223, p.696 – 703, 2013.



## ANEXO A – Comprovante de submissão do artigo na Revista Engenharia Sanitária e Ambiental

### [ESA] Agradecimento pela Submissão



Equipe Editorial <noreply.ojs@scielo.org >

Hoje, 20:51

Você

Prezado(a) Srta Rafaela Ribeiro Oliveira,

Acusamos o recebimento da submissão do seu manuscrito "POTENCIAL DE FORMAÇÃO DE TRIHALOMETANOS NA LAGOA DE EXTREMOZ-RN" para Engenharia Sanitária e Ambiental.

O sistema de avaliação é double blind review , onde não revela o nome do autor para o avaliador nem o nome do avaliador para o autor, adotado pelo Conselho Editorial para garantir a avaliação independente realizada por consultores ad hoc.

Os números anteriores da revista podem ser acessados pelo site:

[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_serial&pid=1413-4152&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_serial&pid=1413-4152&lng=pt&nrm=iso)

Através da interface de administração do sistema, utilizado para a submissão, será possível acompanhar o progresso do documento dentro do processo editorial, bastando logar no sistema localizado em:

URL do Manuscrito:

<http://submission.scielo.br/index.php/esa/author/submission/181889>

Login: rafaelaribeirooliveira

Em caso de dúvidas, envie suas questões para este e-mail. Agradecemos mais uma vez considerar nossa revista como meio de transmitir ao público seu trabalho.

Equipe Editorial  
Engenharia Sanitária e Ambiental

Equipe Editorial  
Engenharia Sanitária e Ambiental

---

Engenharia Sanitária e Ambiental  
<http://submission.scielo.br/index.php/esa>