

Avaliação da formação de trihalometanos na água de abastecimento público da cidade de Cáceres (MT), Brasil

Evaluation of trihalomethane formation in public water supply in the city of Cáceres, Brazil

Mauri Queiroz de Menezes Junior^{1*} , Célia Alves Souza¹ 

RESUMO

Estudos recentes vêm demonstrando que a aplicação de cloro poderia levar à formação de trihalometanos (THM), que ocorre quando o cloro reage com a matéria orgânica natural, também denominada de precursora de THM e presente em águas naturais. A *United States Environmental Protection Agency* (USEPA) classificou os THM como prováveis carcinogênicos para humanos. Com o objetivo de avaliar os níveis de THM na água destinada ao abastecimento público na cidade de Cáceres/MT, foram coletadas amostras de água em três pontos distintos: P1 na água bruta, P2 na saída do reservatório e P3 na rede de abastecimento, por um período de um ano (agosto de 2018 a junho de 2019), com frequência bimestral. Além dos THM, foram monitorados os parâmetros de turbidez, cor, pH e cloro residual livre. Os resultados de água bruta demonstraram que o fenômeno natural denominado "decoada" aumentou as concentrações de turbidez e cor aparente no período enchente/cheia pelo intenso processo de decomposição que ocorre nesse momento, elevando os níveis de matéria orgânica na água bruta. Quanto à água tratada, valores de turbidez fora do preconizado foram detectados. Os níveis de THMs chegaram próximo (0,09518 mg.L⁻¹ – P2) de atingir o VMP de 0,1 mg.L⁻¹ em consequência da presença de precursores. Os valores de THM foram maiores em P2 pelo fato de esse ponto apresentar medição maior de cloro residual livre em relação a P3. Todavia, notou-se uma forte correlação entre THM e turbidez ($p < 0,05$ e $R^2 = 0,67$), o que demonstra que o parâmetro de turbidez pode ser um indicativo da presença de precursores de THM.

Palavras-chave: "decoada"; turbidez; matéria orgânica natural, cloro.

ABSTRACT

Recent studies have shown that the application of chlorine could lead to the formation of trihalomethanes (THM), which occurs when chlorine reacts with natural organic matter (NOM), also known as precursors of THM, present in natural waters. The United States Environmental Protection Agency (USEPA) has classified THM as probable carcinogens for humans. In order to assess the levels of trihalomethanes in water destined for public supply in the city of Cáceres, state of Mato Grosso, Brazil, water samples were collected from three different points: P1, at raw water; P2, at the outlet of the reservoir; and P3, at the supply network, for a period of one year (from August 2018 to June 2019), with bimonthly frequency. In addition to THM, the parameters of turbidity, color, pH, and free residual chlorine were monitored. The results of raw water demonstrated that the natural phenomenon called "decoada" increased the concentrations of turbidity and apparent color in the flood/spate period, due to the intense decomposition process that occurs in this period, increasing the levels of organic matter in raw water. As for treated water, turbidity values outside the recommended values were detected. THM levels (0,09518 mg.L⁻¹ – P2) almost reached the MPV of mg.L⁻¹, as a result of the presence of precursors. The THM values were higher in P2 because this point presents a higher concentration of free residual chlorine in relation to P3. However, there was a strong correlation between THM and turbidity ($p < 0,05$ and $R^2 = 0,67$), thus demonstrating that the turbidity parameter may be indicative of the presence of THM precursors.

Keywords: "decoada"; turbidity; natural organic matter; chlorine.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a Portaria de Consolidação nº 05/2017 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Segundo essa legislação, as águas devem ser submetidas a um processo de desinfecção para a inativação de microrganismos patogênicos.

Os processos de desinfecção são imprescindíveis para o fornecimento de água potável e de qualidade, tendo como objetivo a destruição ou inativação de organismos patogênicos, nocivos e indesejáveis à saúde (MEYER, 1994; TOMINAGA; MIDIO, 1999; WHO, 2008; SANTOS; MARTENDAL; CARASEK, 2011; BACH, 2014). O uso de cloro para desinfecção tem permitido a melhora

¹Universidade do Estado de Mato Grosso – Cáceres (MT), Brasil.

*Autor correspondente: mauri_queiroz1@hotmail.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflito de interesses.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 17/04/2020 – Aceito: 12/10/2020 – Reg. ABES: 20200142

da qualidade de vida e a diminuição da mortalidade infantil por doenças entéricas, com uma eficiência sem precedentes na história da humanidade. Registros históricos mostram que a cloração possibilitou a redução de casos de cólera, disenteria e febre tifoide em todo o mundo (WHO, 2000).

Segundo Pádua *et al.* (2007), as primeiras experiências com a aplicação de cloro na água, para fins de desinfecção, aconteceram em 1894, e posteriormente ele se tornou o oxidante mais utilizado nas estações de tratamento de água (ETA) em virtude de sua facilidade de obtenção, baixo custo e alta eficiência. Diversos estudos demonstram os benefícios do cloro, e não foram realizadas pesquisas sobre seus pontos negativos até 1974, com a publicação do trabalho de Rook (1974), que demonstrou que a aplicação de cloro poderia levar à formação de um subproduto denominado trihalometanos (THM).

A formação dos subprodutos da cloração ocorre quando o cloro reage com a matéria orgânica natural (MON), também denominada de precursora de THM e presente em águas naturais, e que pode continuar ocorrendo por muito tempo, enquanto houver reagente disponível (PAIXÃO; SILVA; ANDREOLA, 2014). A MON pode ser derivada da decomposição da vegetação terrestre, resultando de ácidos húmicos e fúlvicos, da decomposição de vegetais aquáticos e algas e de efluentes industriais. A maioria desses ácidos contém radicais cetona, que pode causar a formação de halofórmios após a reação com o cloro (MEYER, 1994; PÁDUA *et al.*, 2007; BECKER, 2010).

São vários os fatores que interferem na formação dos subprodutos da cloração, como: tempo de contato, temperatura, pH, concentração de brometo, características e concentrações dos precursores e dosagem de cloro residual livre (MEYER, 1994; BECKER, 2010).

A exposição humana aos subprodutos da cloração pode acontecer não somente pela ingestão direta da água, mas também por meio de inalação após a transferência dos subprodutos para o ar, absorção dérmica durante o banho, na lavagem de roupas e louças ou em qualquer outra atividade que utilize água clorada (BLOEMEN; BURN, 1993). Alguns estudos também indicaram a presença de THM em alimentos e bebidas preparados com água clorada, como sorvetes, sucos e refrigerantes (TOMINAGA; MIDIO, 1999; JO *et al.*, 2005 *apud* PEREIRA, 2007).

De acordo com a *United States Environmental Protection Agency* — USEPA (2008), desde a descoberta dos subprodutos da cloração em água potável em 1974, uma série de estudos epidemiológicos investigaram a relação entre a exposição aos subprodutos da desinfecção e o câncer (MEYER, 1994; BLACK; HARRINGTON; SINGER, 1996; TOMINAGA, MIDIO, 1999).

A agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* — EPA), em 1979, aconselhou que o limite máximo para a soma das concentrações dos THM (clorofórmio + bromodiolclorometano + dibromodiolclorometano + bromofórmio) fosse de 100 µg.L⁻¹ na água para consumo humano. Em 1998, a USEPA reduziu o limite para 80 µg.L⁻¹, valor mantido até o momento (USEPA, 1999, 2009).

Outros países seguiram os Estados Unidos em relação à legislação e adotaram os padrões de 350 µg.L⁻¹ no Canadá, 25 µg.L⁻¹ na Alemanha, 75 µg.L⁻¹ na Holanda e 10 µg.L⁻¹ na França (LEÃO, 2008; ALVARENGA, 2010; BECKER, 2010).

No Brasil, a partir da promulgação da Portaria nº 36 do Ministério da Saúde (MS), de 19 de janeiro de 1990, foram estabelecidos novos padrões de potabilidade da água. Conforme essa legislação, o teor máximo de THM em água potável foi fixado em 100 µg.L⁻¹, que foi mantido pela atualização dessa

legislação com a Portaria do Ministério da Saúde 2914/2011 e, mais recentemente, com a Portaria de Consolidação nº 05/2017 do MS.

USEPA (1999) classificou os seguintes THM como prováveis carcinogênicos para humanos: clorofórmio, bromofórmio e bromodiolclorometano (Grupo 2B) e dibromodiolclorometano (Grupo C), com efeitos nocivos como câncer de fígado e rim e prejuízos à reprodução e ao sistema nervoso.

Os estudos demonstram, então, que é de fundamental importância a avaliação da formação de THM nos sistemas de abastecimento de água, com o intuito de se fornecer à população água isenta de contaminação e propiciar a minimização da geração de subprodutos carcinogênicos (FERREIRA FILHO; SAKAGUTI, 2008; LEÃO, 2008; ALVARENGA, 2010; BECKER, 2010).

No estado de Mato Grosso, ainda não foram efetuados estudos acadêmicos quanto aos níveis e ao potencial de formação de THM nas águas de abastecimento público. Nesse cenário, o presente trabalho tem como objetivo determinar e avaliar a formação de THM no sistema de abastecimento de água do município de Cáceres/MT.

METODOLOGIA

Área de estudo

A cidade de Cáceres/MT foi fundada em 6 de outubro de 1778, à margem esquerda do rio Paraguai. A partir dos anos 1970, o número de habitantes expandiu-se por conta de dois processos intensos que ocorreram concomitantemente: o fluxo migratório de outras regiões do Brasil para o Centro-Oeste e a mudança da população para a cidade, provocada, entre outros fatores, pela mecanização da agricultura e a concentração da posse da terra (MENDES, 2009). Atualmente, a população desse município é de 94.376 habitantes, segundo estimativa do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) para o ano de 2019. O clima, segundo a classificação de Koppen, é tropical quente e úmido, com inverno seco (Awa).

O abastecimento e a distribuição da água no município de Cáceres possui diversos problemas, como encanamentos antigos e de amianto, baixa pressão da água, baixa declividade, falta de regularidade e frequência no fornecimento e grande índice de perdas no sistema de abastecimento (CÁCERES, 2014).

A área de estudo corresponde ao sistema público de abastecimento da cidade de Cáceres, que tem como responsável a autarquia Águas do Pantanal. É composto de um sistema de tratamento convencional que realiza a captação de água no rio Paraguai e, por meio de tubulações denominadas adutoras, transporta a água bruta para três ETA, uma de concreto e duas metálicas. Para retirar as impurezas presentes na água, elas passam pelos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração, câmara de contato, reservatório, e distribuição. A desinfecção por meio do cloro ocorre na câmara de contato, que logo em seguida segue para o reservatório.

Foram definidos três pontos de amostragem, quais sejam: P1 (água bruta) próximo da captação de água do município, com o intuito de caracterizar a água destinada a tratamento; P2 (saída do reservatório), por ser o local mais próximo após a etapa de desinfecção; e P3 na rede de distribuição, localizado na Av. Radial 1, Bairro Garcês, que é uma ponta de rede do abastecimento de Cáceres localizado a aproximadamente 4,3 km de distância da ETA (Figura 1).

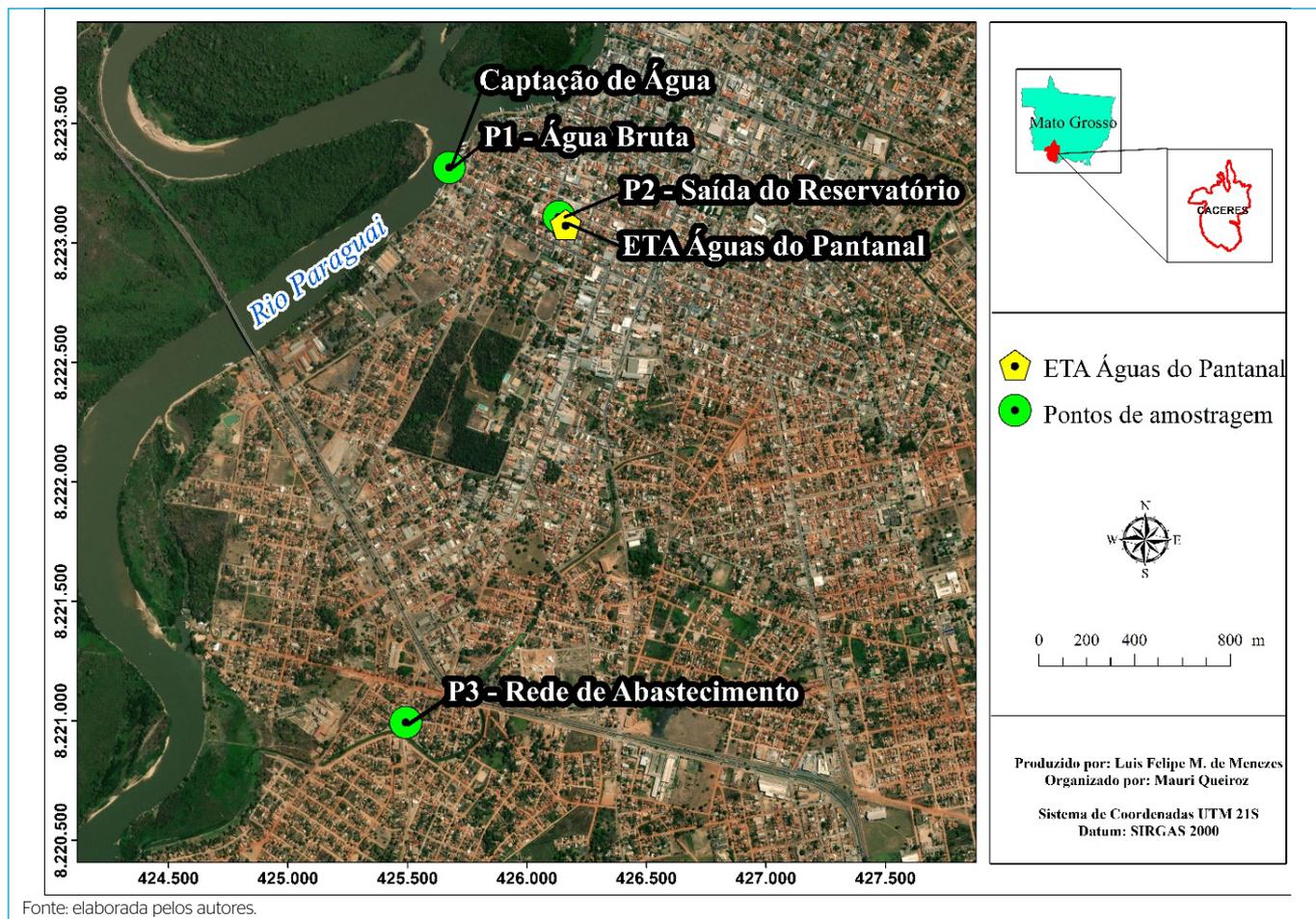


Figura 1 - Localização da área urbana de Cáceres (MT) e dos pontos monitorados no sistema de abastecimento público de água.

Processamento dos exames laboratoriais de água

As análises de THM foram feitas por cromatografia gasosa com detector por espectrometria de massa e concentrador por *purge-and-trap* (CG-MS), que tem como referência o EPA 8270 (APHA; AWWA; WEF, 2012).

Os frascos para coleta foram de vidro borosilicato, previamente preparados, e continham ácido ascórbico como agente redutor, com o fim de inibir a formação adicional de THM e de outros compostos organoclorados no período compreendido entre a coleta e a análise.

Após a identificação das amostras, estas foram refrigeradas a 4°C para minimizar o potencial de volatilização dos compostos voláteis. Foram preparadas no laboratório da autarquia Águas do Pantanal e enviadas para o laboratório "Control Análise" do município de Cuiabá para a realização das análises.

Os seguintes testes físico-químicos foram realizados no laboratório da autarquia Águas do Pantanal: turbidez (turbidímetro PoliControl AP200), pH (pHmetro de bancada AT 355, Alfabik), cor aparente (colorímetro PoliControl AquaColor) e cloro residual livre (colorímetro PoliControl AquaColor).

Na água bruta (P1), foram realizados somente os testes de cor Aparente, pH e turbidez e, nos pontos de água tratada (P2 e P3), os testes de THM, cloro residual livre, cor aparente, pH e turbidez.

As coletas de amostras foram feitas entre os meses de agosto de 2018 e julho de 2019, com frequência bimestral.

Análise dos dados

Os dados foram agrupados em tabelas estatísticas e gráficos. Posteriormente, utilizou-se o teste *t* para a comparação entre os tratamentos e a significância estatística ($p < 0,05$) para realizar correlações e regressão linear entre os valores de THM e os parâmetros físico-químicos da água tratada. Todos os testes estatísticos foram realizados com o pacote Office (Excel 2016) e o *software* PAST 3.0 (HAMMER; HARPER; RYAN, 2001). A análise forneceu os níveis de THM formados após o tratamento de água de abastecimento público, e foram realizadas comparações com valores estabelecidos pela legislação vigente no Brasil, bem como algumas propriedades físico-químicas das águas de abastecimento público.

RESULTADOS

Água bruta

Os resultados de água bruta (Tabela 1) demonstraram que a turbidez variou de 12 a 39,45 NTU, portanto condizente com a faixa preconizada pela Resolução

Tabela 1 – Resultados dos parâmetros físico-químicos da água bruta (P1) no período de amostragem.

P1 - Água bruta						
Parâmetros	ago/18	out/18	dez/18	fev/19	abr/19	jun/19
pH	7,5	5,15	7,7	7,4	7,6	7,3
Turbidez (NTU)	16,3	39,45	30,05	31,35	12	25,7
Cor Aparente (mg Pt Co/L)	74,3	152	190	186	110	67,3

Fonte: elaborada pelos autores.

do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 357/2005, isto é, < 100 NTU. Resultados similares (entre 11,8 e 34,2 NTU) foram encontrados por Buhler (2011), (entre 11,8 e 34,2 NTU), ao avaliar a qualidade da água do rio Paraguai no perímetro urbano de Cáceres/MT, e por Pimenta, Nepomuceno e Pavanin (2008), ao avaliarem o efeito genotóxico das águas superficiais do rio Paraguai no perímetro urbano de Cáceres, onde observaram os valores de 12 e 25 NTU. A variação verificada neste estudo, principalmente entre outubro de 2018 e fevereiro de 2019, está relacionada ao escoamento superficial, frequentemente maior nos períodos de chuva, que provoca aumento na presença de materiais em suspensão.

O aumento de turbidez, no período de chuvas, é confirmado com o parâmetro de cor aparente, que tem valores maiores nesse período e variou de 67,3 a 190 mg Pt Co.L⁻¹ neste estudo.

Esse aumento de turbidez e cor no período de chuva, bem como o pH ácido (5,15) observado em outubro de 2018, estão relacionados a um fenômeno natural denominado “decoada”, que ocorre no Pantanal durante o início da fase hidrológica de enchente. Em trabalhos realizados na planície do rio Paraguai por Hamilton, Sippel e Melack (1995), Calheiros e Ferreira (1997), Hamilton *et al.* (1997), Calheiros e Hamilton (1998), Calheiros, Seidl e Ferreira (2000), Oliveira e Calheiros (2000), Calheiros (2003), Calheiros e Oliveira (2010), Oliveira *et al.* (2010), Oliveira, Calheiros e Padovani (2013) e Andrade *et al.* (2014) observou-se que, na fase da “decoada”, há aumento das concentrações de nutrientes e íons, com elevação dos valores de condutividade e alcalinidade e diminuição do pH, entre outras alterações.

Água tratada

Na análise de água tratada referente aos parâmetros de pH, turbidez, cor, cloro residual livre e THM na saída do reservatório (P2) e na rede de distribuição (P3), foram obtidos os resultados mostrados a seguir.

Potencial hidrogeniônico

Os resultados de pH (Figura 2) para P2 e P3 apresentaram o mesmo valor, com um mínimo de variação, ficando entre 7 e 7,1. Isso indicou o controle de pH na ETA e a adequação à Portaria do MS 05/2017, que recomenda para sistema de abastecimento de água o pH entre 6 e 9,5.

Turbidez

A Portaria 05/2017 do MS estabelece que, após filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta), deve-se obter em 95% das amostras o valor máximo permíssivel (VMP) de 0,5 NTU para turbidez. Esse limite só foi atingido no P2 em agosto de 2018 (Figura 3); nos demais pontos, o valor foi acima de 0,5 NTU, demonstrando estar em desacordo com o estabelecido nessa Portaria. Isso

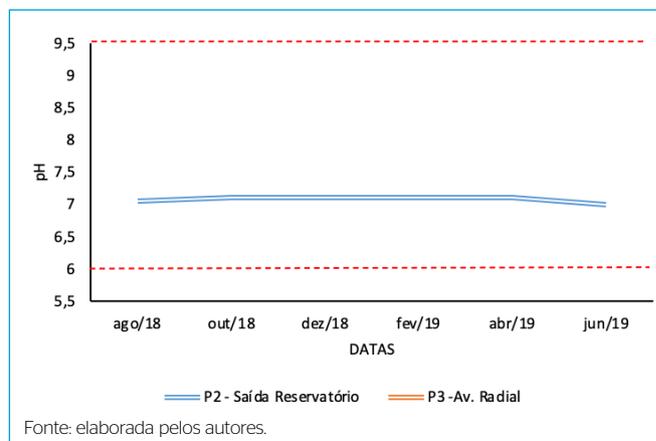


Figura 2 – Resultado de pH nos pontos de amostragem de água tratada na cidade de Cáceres (MT). A linha vermelha representa a faixa de recomendação para pH segundo a Portaria 05/2017. (A linha laranja não aparece no gráfico pois está coincidente com a linha azul).

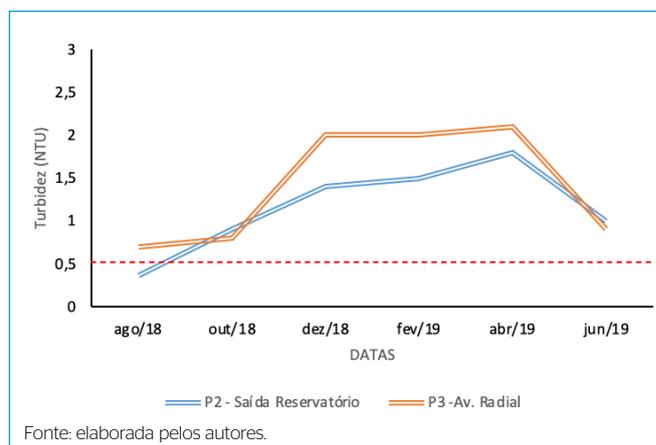


Figura 3 – Resultado de turbidez nos pontos de amostragem de água tratada na cidade de Cáceres (MT). A linha vermelha representa o limite máximo estabelecido pela Portaria 05/2017.

provavelmente tem relação com o fato de uma das ETA (concreto) ser muito antiga — a primeira do município, com mais de 30 anos —, o que influencia nos processos de purificação da água e/ou na não aplicação de coagulantes na dosagem considerada ideal, a qual é estabelecida por meio de estudos de *jar test*.

O ponto P3 (eede de abastecimento) apresentou resultados de turbidez superiores aos do P2 (saída do reservatório). Isso significa dizer que a água,

ao percorrer seu caminho do reservatório até ponto da rede de abastecimento, sofre alteração na turbidez, muito provavelmente relacionada ao contato com as paredes internas da tubulação e/ou ainda a pequenas infiltrações que podem ocasionar a entrada de materiais/substâncias indesejáveis.

Os maiores valores de turbidez ocorreram na estação chuvosa, que está correlacionada ao aumento desse parâmetro na água bruta, conforme verificado anteriormente. Isso corrobora a hipótese levantada quanto à aplicação de coagulantes, que deve ser regulada mediante estudos da água bruta e ter suas dosagens variáveis conforme a sazonalidade de chuvas.

Cor aparente

A legislação estabelece o limite máximo de 15 Pt Co.L⁻¹, o qual foi verificado em todos os pontos de amostragem de água tratada (Figura 4). Nos meses de outubro e dezembro de 2018, o ponto P3 apresentou valores superiores aos do P2, corroborando a ideia de outros fatores estarem influenciando nos parâmetros cor e turbidez durante o escoamento da água nas tubulações. Estes parâmetros estão intimamente ligados, pois apresentaram os seus respectivos valores máximos na mesma data (abril de 2019). Ambos se referem à presença de substâncias dissolvidas, coloidais ou suspensas na água, mas em tamanhos diferentes.

Cloro residual livre

Em todas as datas verificadas para os pontos de amostragem de água tratada, o cloro residual livre manteve-se superior em P2 (Figura 5), notadamente em razão de o reservatório estar próximo da câmara de contato, local de mistura do cloro com a água tratada.

A legislação determina que seja mantido um residual livre de cloro na água reservada e tratada na faixa de 0,2 a 2 mg.L⁻¹, o que foi verificado nos pontos de amostragem. O controle e a manutenção na faixa preconizada são importantes, pois a relação de conformidade existente entre a formação de THM e a dosagem de cloro na água é uma variável que demonstra claramente o impacto da ação de cada oxidante sobre a formação de subprodutos da desinfecção. Essa função relacional do impacto é dada por Meyer (1994), quando menciona que “quanto maior a dosagem de cloro, maior será a probabilidade de formação de THM” em uma dada massa de água que abrigue seus precursores orgânicos.

Trihalometanos

Os resultados apresentados de THM estiveram muito próximos de atingir o limite máximo estabelecido pela Portaria nº 05/2017 em dezembro de 2018, nos dois pontos de amostragem (Figura 6): 0,09518 mg.L⁻¹ (P2) e 0,08646 mg.L⁻¹ (P3).

Porém, comparados com os valores máximos permissíveis para THM em outros países como França (0,01 mg.L⁻¹), Alemanha (0,025 mg.L⁻¹) e EUA (0,08 mg.L⁻¹), os valores de THM estariam acima do permitido para algumas amostragens, servindo de alerta à prestadora de serviço responsável pela água no município de Cáceres para que não ultrapasse o permitido pela legislação brasileira.

O maior valor nesse período, logo após as primeiras grandes chuvas, pode estar relacionado à presença de matéria orgânica na água bruta, indicada pelos maiores resultados de turbidez e cor que caracterizam o fenômeno natural “decoada”. Neste fenômeno, ocorre aumento considerável na quantidade de materiais húmicos na água bruta, que não foram totalmente removidos na

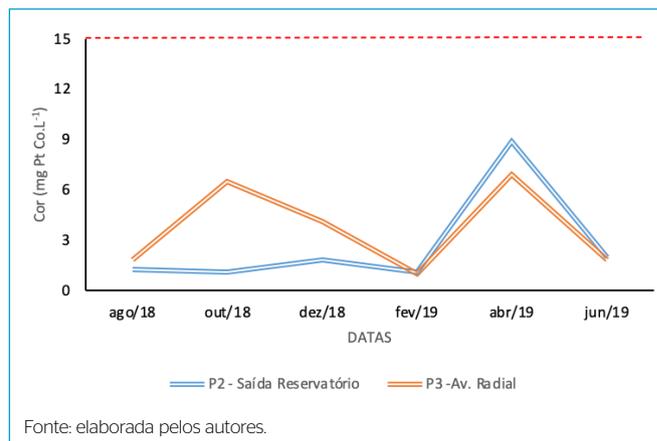


Figura 4 - Resultado de cor aparente nos pontos de amostragem de água tratada na cidade de Cáceres (MT). A linha vermelha representa o limite máximo estabelecido pela Portaria 05/2017.

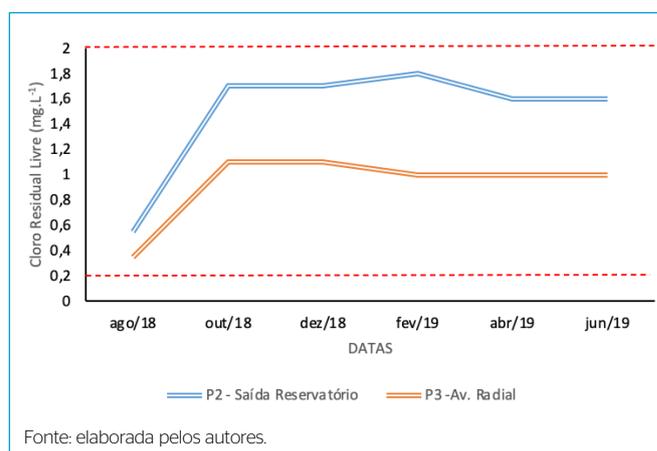


Figura 5 - Resultado de cloro residual livre nos pontos de amostragem de água tratada na cidade de Cáceres (MT). A linha vermelha representa a recomendação obrigatória estabelecida pela Portaria 05/2017.

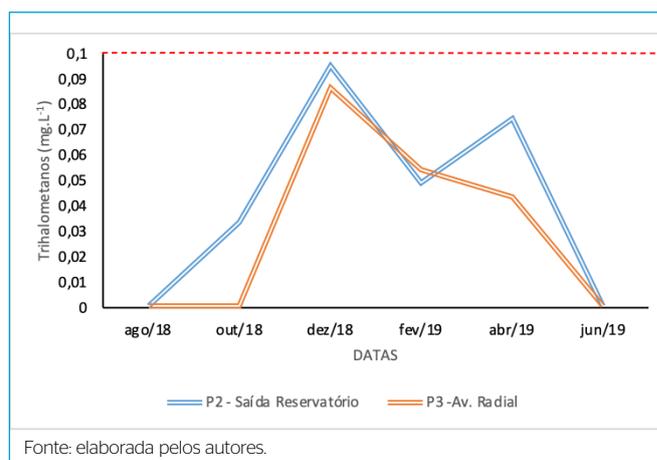


Figura 6 - Resultado de trihalometanos nos pontos de amostragem de água tratada na cidade de Cáceres (MT). A linha vermelha representa o limite máximo estabelecido pela Portaria 05/2017.

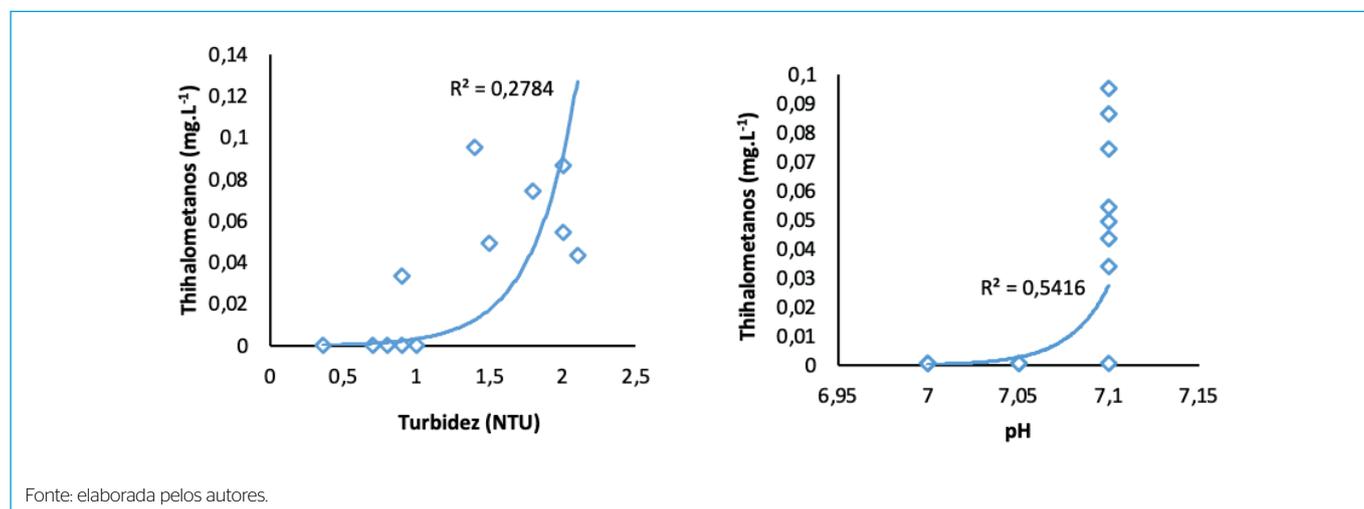


Figura 7 - Relação entre trihalometanos e turbidez e entre trihalometanos e potencial hidrogeniônico nos pontos de amostragem (P2 e P3) de julho de 2018 a junho de 2019. A linha sólida denota a tendência exponencial da relação positiva.

ETA. Isso contribui para valores acima do preconizado para turbidez na água tratada, os quais podem, nesse caso, ser uma medida indireta da matéria orgânica natural, que em contato com o cloro (maior presença em P2) resulta nas maiores concentrações de THM observadas neste trabalho.

Estudos realizado por Leão (2008) demonstraram que os níveis de THM em água são influenciados pela sazonalidade, como apresentando também por Serrano *et al.* (2015), em trabalho que mostrou variação na concentração de THM na primavera e no verão de 15 e 22 $\mu\text{g.L}^{-1}$, respectivamente, e apresentou valores entre 6 e 9 $\mu\text{g.L}^{-1}$ no inverno e no outono em sistema de distribuição.

Também foi observado, no presente estudo, que a concentração de THM foi maior na saída do reservatório, muito provavelmente pela maior presença de cloro residual livre, que se manteve constante nos meses de outubro de 2018 a julho de 2019 na rede de abastecimento e no reservatório, porém os THM tiveram bruscas alterações, o que equivale a dizer que houve alteração nos seus precursores.

Mesmo os resultados de turbidez sendo maiores para P3 em relação a P2, os THM apresentam-se maiores em P2 (reservatório), onde o cloro residual livre foi maior; assim, admite-se uma relação entre a formação de THM com cloro residual livre e turbidez. Entretanto, constatou-se que com a limitação de turbidez, como nos períodos de agosto e outubro de 2018 e julho de 2019, houve pouca formação de THM.

Tratamento estatístico

Uma relação positiva foi observada entre os valores de THM e turbidez da água tratada (Figura 7; $R^2 = 0,67$; $p < 0,05$), demonstrando que, com o aumento de turbidez, os THM também aumentam. Isso corrobora a hipótese de que esse parâmetro possa ser utilizado com indicador da presença de MON e, consequentemente, da formação de THM.

O parâmetro de pH apresentou correlação positiva com os THM (Figura 7; $R^2 = 0,59$; $p < 0,05$), porém os valores de pH tiveram pouca variação (entre 7 e 7,1). O controle de pH nas ETA é de suma importância.

Meyer (1994) e FUNASA (2007) enunciam em seus trabalhos que a formação dos THM aumenta com a elevação do pH pela ação catalítica que este exerce sobre o halofórmio.

Os parâmetros de cor aparente e cloro residual livre da água tratada não apresentaram significância estatística.

CONCLUSÕES

O rio Paraguai, fonte de abastecimento de água para a cidade de Cáceres, apresenta grande potencial de formação de THM. Isso é fato principalmente com o início das chuvas, quando há acréscimos da turbidez e cor, indicadores da presença de matéria orgânica na água bruta, característica do fenômeno natural denominado “decoada”. Sendo assim, é de grande valia o monitoramento contínuo do rio, essencialmente no período de chuvas, com o objetivo de se ter maior controle de dosagens de produtos nas ETA.

Os resultados de turbidez mostraram-se em desacordo com o preconizado pela legislação de água tratada, não ficando acima do limite permissível somente na amostra de P2 realizada em agosto de 2018, o que pode estar associado à precariedade da ETA e à falta de estudos para a aplicação de corretas dosagens de coagulantes. É fortemente recomendado o seu controle, pois ele mostrou-se um ótimo limitante da formação de THM.

Outro ponto importante notado refere-se à frequência de monitoramento de THM em sistema de abastecimento de água estipulada pela Portaria nº 05/2017, que fixa o período trimestral. Como visto neste trabalho, a formação de subprodutos de cloro é susceptível a comportamento distinto ao longo do ano, podendo não ser aferida pela frequência de monitoramento estipulada. Para trabalhos futuros, recomenda-se a utilização de mais pontos de amostragem, com frequência maior que a utilizada neste trabalho.

Sendo assim, podemos concluir quanto ao processo de desinfecção que se trata de etapa importante na ETA, ainda que existam riscos à saúde humana causados pela reação do cloro com compostos orgânicos da água bruta. A eficiência da etapa de cloração não deve ser comprometida, pois a diminuição da

incidência de doenças transmissíveis pela água somente foi alcançada com a difusão do emprego da técnica da cloração. Esta constitui, assim, uma questão importante a ser estudada caso a caso, já que as características da água bruta e as condições e tecnologias adotadas nas ETA desempenham um papel importante na formação dos THM.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Menezes, M. Q: Conceituação, Curadoria de dados, Investigação, Metodologia, Administração do projeto, Recursos, Software, Supervisão, Visualização, Escrita — Primeira Redação, Escrita — Revisão e Edição. Souza, C. A.: Análise formal, Metodologia, Supervisão, Validação, Visualização, Escrita — Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, J.A. *Avaliação da formação de subprodutos da cloração em água para consumo humano*. 101f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22. ed. Washington, D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2012.
- ANDRADE, M.H. *et al.* Caracterização limnológica de dois ambientes de área de inundação do rio Paraguai, Pantanal de Mato Grosso do Sul, com ênfase no fenômeno da “decoada”. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 5., 2014. *Anais [...]*. Campo Grande: Embrapa Informática Agropecuária/INPE, 2014. p. 220-230. Disponível em: <https://www.geopantanal.cnptia.embrapa.br/2014/cd/p37.pdf>. Acesso em: 26 jan. 2020.
- BACH, L. *Avaliação da formação de trihalometanos em processos de cloração de água e estudo do efeito do pré-tratamento fundamentado no uso de radiação ultravioleta*. Dissertação (Mestrado em Química) – Programa de Pós-Graduação de Química, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.
- BECKER, B.R. *Proposta de teste para verificação da formação de trihalometanos (TAM) em ETAs*. 71f. Monografia (Graduação) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- BLACK, B.D.; HARRINGTON, G.W.; SINGER, P.C. Reducing cancer risks by improving organic carbon removal. *Journal AWWA*, v. 88, n. 6, p. 40-52, 1996. <https://doi.org/10.1002/j.1551-8833.1996.tb06570.x>
- BLOEMEN, H.J.; BURN, J. *Chemistry and analysis of volatile organic compounds in the environment*. Londres: Chapman & Hall, 1993.
- BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação do MS nº 05, de 28 de setembro de 2017. Dispõe sobre a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde (SUS). *Diário Oficial da União*, Brasília, 2017.
- BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria nº 36/MS/GM, de 19 janeiro de 1990*. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasil, 1990. Disponível em: http://189.28.128.100/dab/docs/legislacao/portaria36_19_01_90.pdf. Acesso em: 6 jun. 2018.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Classificação de águas, doces, salobras e salinas do Território Nacional. *Diário Oficial da União*, Brasília, 2005.
- BUHLER, B.F. *Qualidade da água e aspectos sedimentares da bacia hidrográfica do rio Paraguai no trecho situado entre a baía do late e a região do Sadao, município de Cáceres - MT, sob os enfoques quantitativos e perceptivos*. 140f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Universidade do Estado de Mato Grosso, Cáceres, 2011.
- CÁCERES. *Plano Municipal de Saneamento Básico de Cáceres*. Situação do saneamento no município de Cáceres. Cáceres, 2014.
- CALHEIROS, D.F. *Influência do pulso de inundação na composição isotópica ($\delta^{13}C$ e $\delta^{15}N$) das fontes primárias de energia na planície de inundação do rio Paraguai (Pantanal - MS)*. 164f. Tese (Doutorado em Ciências) – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/64/64132/tde-06122004-091252/publico/Debora.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2020.
- CALHEIROS, D.F.; FERREIRA, C.J.A. Alterações limnológicas no rio Paraguai (“Dequada”) e o fenômeno natural de mortalidade de peixes no Pantanal Matogrossense - MS. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, Corumbá, 1997. 48 p. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/792189/alteracoes-limnologicas-no-rio-paraguai-dequada-e-o-fenomeno-natural-de-mortalidade-de-peixes-no-pantanal-mato-grossense--ms>. Acesso em: 28 jan. 2020.
- CALHEIROS, D.F.; HAMILTON, S.K. Limnological conditions associated with natural fish kills in the Pantanal wetland of Brazil. *Verhandlungen - Internationale Vereinigung fur Theoretische und Angewandte Limnologie*, v. 26, n. 5, p. 2189-2193, 1998. <https://doi.org/10.1080/03680770.1995.11901134>
- CALHEIROS, D.F.; OLIVEIRA, M.D. O Rio Paraguai e sua planície de inundação: o pantanal mato-grossense. *Ciência & Ambiente*, 2010. Disponível em: http://www.riosvivos.org.br/arquivos/site_noticias_854088643.pdf. Acesso em: 10 jan. 2020.
- CALHEIROS, D.F.; SEIDL, A.F.; FERREIRA, C.J.A. Participatory research methods in environmental science: local and scientific knowledge of a limnological phenomenon in the Pantanal wetland of Brazil. *Journal of Applied Ecology*, v. 37, n. 4, p. 684-696, 2000. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2664.2000.00524.x>
- FERREIRA FILHO, S.S.; SAKAGUTI, M. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 13, n. 2, p. 198-206, 2008. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522008000200010>
- FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). *Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano*. Brasília: Ministério da Saúde, 2007. 126 p.

- HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; CALHEIROS, D.F.; MELACK, J.M. An anoxic event and the other biogeochemical effects of the Pantanal wetland on the Paraguay River. *Limnology and Oceanography*, v. 42, n. 2, p. 257-272, 1997. <https://doi.org/10.4319/lo.1997.42.2.0257>
- HAMILTON, S.K.; SIPPEL, S.J.; MELACK, J.M. Oxygen depletion and carbon dioxide and methane production in waters of the Pantanal wetland of Brazil. *Biogeochemistry*, v. 30, p. 115-141, 1995. <https://doi.org/10.1007/BF00002727>
- HAMMER, O.; HARPER, D.A.T.; RYAN, P.D. PAST: Paleontological Statistics software package for education and data analysis. *Paleontologia Electronica*, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2001. https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf. Acesso em: 24 dez. 2019.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Estimativas da população. IBGE, 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=25272&t=resultados>. Acesso em: 21 dez. 2019.
- LEÃO, V.G. *Água tratada: formação de trihalometanos pelo uso do cloro e os riscos potenciais à saúde pública em cidades da mesorregião do leste rondoniense*. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) - Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- MENDES, N.F. *História de Cáceres: história da administração municipal*. 2. ed. Cáceres: Ed. UNEMAT, 2009. 222 p.
- MEYER, S.T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99-110, mar. 1994. <https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011>
- OLIVEIRA, M.D.; CALHEIROS, D.F. Flood pulse influence on phytoplankton communities of the South Pantanal floodplain, Brazil. *Hydrobiologia*, v. 427, p. 102-112, 2000. <https://doi.org/10.1023/A:1003951930525>
- OLIVEIRA, M.D.; CALHEIROS, D.F.; PADOVANI, C.R. Mapeamento e descrição das áreas de ocorrência dos eventos de decoada no Pantanal. *Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento*, v. 121, p. 1-21, 2013. Disponível em: www.cpap.embrapa.br. Acesso em: 23 jan. 2020.
- OLIVEIRA, M.D.; HAMILTON, S.K.; CALHEIROS, D.F.; JACOBI, C.M. Oxygen depletion events control the invasive golden mussel (*Limnoperna fortunei*) in a tropical floodplain. *Wetlands*, Wilmington, v. 30, n. 4, p. 705-716, 2010. <https://doi.org/10.1007/s13157-010-0081-3>
- PÁDUA, V.L. *et al.* Potenciais fatores de risco à saúde decorrentes da presença de subprodutos de cloração na água utilizada para consumo humano. Brasília: Funasa, 2007. 127 p.
- PAIXÃO, R.M.; SILVA, L.H.B.R.; ANDREOLA, R. A cloração e a formação de trihalometanos. *Iniciação Científica Cesumar*, v. 16, n. 2, p. 191-198, jul./dez. 2014.
- PEREIRA, D.D.C.F. Detecção de subprodutos da desinfecção com cloro em água dessalinizada. 118f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.
- PIMENTA, V.M.S.D.; NEPOMUCENO, J.C.; PAVANIN, L.A. Genotoxicity of water from the Paraguay river near Cáceres-MT, Brazil in the drosophila wingspot test. *Environmental and Molecular Mutagenesis*, v. 49, n. 6, p. 458-466, 2008. <https://doi.org/10.1002/em.20404>
- ROOK, J.J. Formation of haloforms during chlorination of natural waters. *Water Treatment and Examination*, v. 23, p. 234-243, 1974.
- SANTOS, M.S.; MARTENDAL, E.; CARASEK, E. Determination of THMs in soft drink by solid-phase microextraction and gas chromatography. *Food Chemistry*, v. 127, n. 1, p. 290-295, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.12.115>
- SERRANO, M. *et al.* Seasonal evaluation of the presence of disinfection by-products throughout a drinking water treatment plant. *Science of the Total Environment*, v. 517, p. 246-258, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.02.070>
- TOMINAGA, M.Y.; MIDIO, A.F. Exposição humana a trihalometanos presentes em água tratada. *Revista de Saúde Pública*, v. 33, n. 4, p. 413-21, ago. 1999. <https://doi.org/10.1590/S0034-89101999000400013>
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Alternative disinfectants and oxidants guidance manual*. Washington, DC.: USEPA, 1999. Disponível em: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyNET.exe/2000229L.TXT?ZyActionD=ZyDocument&Client=EPA&Index=1995+Thru+1999&Docs=&Query=&Time=&EndTime=&SearchMethod=1&TocRestrict=n&Toc=&TocEntry=&QField=&QFieldYear=&QFieldMonth=&QFieldDay=&IntQFieldOp=O&ExtQFieldOp=O&XmlQuery=&File=D%3A%5Czyfiles%5CIndex%20Data%5C95thru99%5Ctxt%5C00000015%5C2000229L.txt&User=ANONYMOUS&Password=anonymous&SortMethod=h%7C-&MaximumDocuments=1&FuzzyDegree=0&ImageQuality=r75g8/r75g8/x150y150g16/i425&Display=hpfr&DefSeekPage=x&SearchBack=ZyActionL&Back=ZyActionS&BackDesc=Results%20page&MaximumPages=1&ZyEntry=1&SeekPage=x&ZyPURL>. Acesso em: 26 jan. 2019.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *Disinfection byproduct health effects*. Washington, DC.: USEPA, 2008. Disponível em: <http://www.epa.gov>. Acesso em: 26 nov. 2018.
- UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). *National primary drinking water regulations*. Washington, DC.: USEPA, 2009. Disponível em: <http://water.epa.gov/drink/contaminants/upload/mcl-2.pdf>. Acesso em: 16 fev. 2019.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Disinfectants and disinfectant by-products*. Genebra: WHO, 2000. 499 p.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for drinking-water quality incorporating 1st and 2nd addenda: recommendations*. Genebra: WHO, 2008. v. 1. Disponível em: <https://apps.who.int/iris/handle/10665/204411>. Acesso em: 20 abr. 2019.