



I-524 - AVALIAÇÃO DO USO DO PERMANGANATO DE POTÁSSIO EM SUBSTITUIÇÃO AO CLORO NA PRÉ-OXIDAÇÃO DE ÁGUA COM COR MODERADA

Geovanna Maria Bezerra de Medeiros Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

Hélio Rodrigues dos Santos⁽²⁾

Engenheiro Civil pela UFRN. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Professor Associado da UFRN.

Endereço⁽¹⁾: Sítio Nova Esperança - Zona Rural – Várzea – Rio Grande do Norte – CEP: 59185-000 – Brasil
– Tel: +55 (84) 98876-6534 – e-mail: geovannambms@gmail.com

RESUMO

O cloro é bastante utilizado em ETAs devido ao seu alto poder desinfetante e oxidante, baixo custo e fácil manuseio e operação. Contudo, a pré-oxidação com cloro de águas contendo material orgânico de origem natural (MON) resulta na formação de subprodutos prejudiciais à saúde humana, dentre os quais os trihalometanos (THMs), que podem provocar doenças em seres humanos, incluindo o câncer. Devido ao potencial de geração de subprodutos do cloro, diversos agentes alternativos têm sido testados e empregados em ETAs. Este trabalho tem como objetivo avaliar o emprego do permanganato de potássio como alternativa ao cloro na pré-oxidação da água de uma lagoa costeira com cor moderada e baixa turbidez (Lagoa do Jiqui) como estratégia para reduzir a formação de subprodutos da desinfecção (SPDs). Para isso, foram realizados ensaios em *jar-test* (sem pré-oxidação, com pré-oxidação utilizando cloro e com pré-oxidação utilizando o permanganato de potássio), simulando a configuração de tratamento de uma ETA real (ETA Jiqui, em Parnamirim/RN): filtração direta descendente em linha. Nos ensaios sem pré-oxidação, o PAC foi eficiente na remoção de cor da água da lagoa do Jiqui. Nos ensaios com pré-oxidação associada ao PAC, o cloro reduziu ainda mais (comparação com ensaios sem pré-oxidação) a cor verdadeira e a Absorbância a 254 nm (ABS-254) da água. Já o permanganato de potássio, reduziu a cor verdadeira e a ABS-254 na água filtrada apenas na menor dose (1 mg/L), sendo que doses maiores elevaram a cor, a ABS-254 e a turbidez da água.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração direta em linha, oxidante alternativo ao cloro, ensaio em *jar-test*, ETA Jiqui, lagoa litorânea.

INTRODUÇÃO

No Brasil e em toda a América Latina, o cloro tem sido utilizado no tratamento de águas para abastecimento em larga escala em função de seu baixo custo e alta eficiência (FERREIRA FILHO, 2017). O emprego do cloro no tratamento de água pode ter como objetivos a desinfecção (destruição dos microorganismos patogênicos), a oxidação (alteração das características da água pela oxidação dos compostos nela existentes) ou ambas as ações ao mesmo tempo (MEYER, 1994).

Por ser de fácil aplicação, possuir baixo custo e alto poder oxidante, o cloro na forma gasosa ou em seus derivados (hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio) tem sido bastante utilizado como oxidante e fornecido vários benefícios adicionais na etapa de pré-oxidação no tratamento de água, como a remoção de cor, ferro e manganês, assim como tem sido efetivo na redução de sabor e odor da água (ROSALÉM, et al., 2012).

Apesar de ser altamente eficiente, o uso do cloro tem sido questionado devido a sua reação com compostos orgânicos presentes na água, formando subprodutos da desinfecção (SPDs). O cloro pode reagir com a matéria orgânica da água bruta, gerando subprodutos de reação chamados de compostos orgânicos halogenados, como por exemplo, os trihalometanos (THMs), que são comprovadamente cancerígenos (ROSALÉM, 2007).



De acordo com BARROS (2018), os primeiros estudos sobre a formação de subprodutos da desinfecção foram apresentados por Rook, em 1974, na Holanda, e por Bellar, nos Estados Unidos. A partir destes estudos, os pesquisadores demonstraram que as reações de oxidação e desinfecção promovidas pelo cloro resultaram em aspectos negativos, em especial a produção de compostos e subprodutos indesejáveis, tais como os trihalometanos (THM), ácidos haloacéticos, haloacetoneitrilas, entre outros.

Desde a descoberta dos SPDs, diversas pesquisas foram realizadas sobre o processo de formação e os efeitos à saúde relacionados à presença desses compostos na água de consumo, de forma a chegar em níveis que pudessem minimizar os riscos à população.

Dentre as estratégias para evitar a formação desses SPDs, destaca-se o emprego de oxidantes alternativos ao cloro, como: cloraminas, dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio, permanganato de potássio e radiação ultravioleta, que possam evitar a formação destes halógenos. Dentre esses, o permanganato de potássio ($KMnO_4$) destaca-se pois, além de ser utilizado no controle de gosto e odor e na remoção de cor, ferro e manganês, pode ser empregado no controle da formação de subprodutos na oxidação e desinfecção no tratamento de água; sua aplicação ocorre de forma simples, feita apenas com a dosagem do produto, sendo que em altas doses têm elevados custos. Além disso, a solução de permanganato de potássio apresenta cor púrpura, e, se aplicada em excesso, pode conferir cor à água. (FERREIRA FILHO, 2017).

A pré-oxidação com permanganato de potássio, combinada com a desinfecção com cloro, resulta em concentrações menores de SPDs do que ocorre quando a pré-oxidação é feita com cloro, de modo que o permanganato de potássio pode substituir o cloro na etapa de pré-oxidação para reduzir as concentrações de matéria orgânica natural (MON) e, ao mesmo tempo, reduzir a formação de SPDs (ROSALÉM, 2007). O permanganato de potássio é altamente reativo sob condições encontradas nas estações de tratamento de água. Oxida uma grande variedade de compostos orgânicos e inorgânicos (DANIEL, 2001). Este agente é capaz de inativar bactérias e vírus, mas trata-se de um composto sem poder desinfetante, portanto seu uso ocorre apenas como agente oxidante, em que as doses a serem utilizadas são menores e, como as doses de cloro são normalmente maiores, o custo de ambos se torna equivalente. Além disso, sua aplicação fornece a segurança na redução do desenvolvimento de SPDs (DANIEL, 2001). Dessa forma, esta pesquisa tem o objetivo de avaliar a aplicação do permanganato de potássio em substituição ao cloro em uma ETA que trata água de uma lagoa costeira tropical com cor moderada e baixa turbidez.

MATERIAL E MÉTODOS

MANANCIAL DE ESTUDO

A lagoa do Jiqui localiza-se em Parnamirim, próximo ao limite com a Zona Sul da capital Natal, possuindo um comprimento de 1.210 m e uma largura máxima de 200 m na seção de captação da CAERN (PMSBM, 2015).

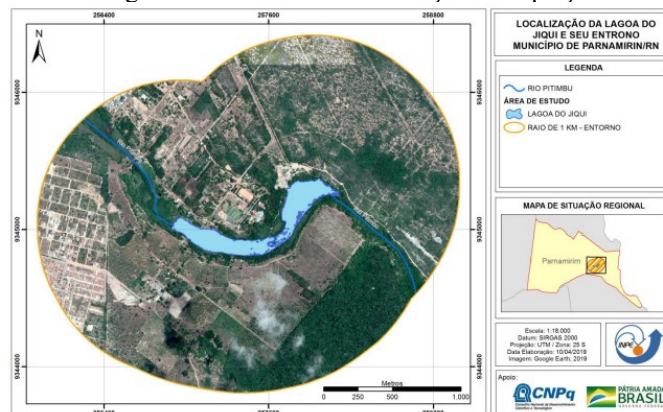


Figura 1: Mapa de localização da lagoa do Jiqui.

Este trabalho foi realizado por meio do estudo de tratabilidade da água da lagoa do Jiqui, um manancial superficial lântico utilizado para o abastecimento de cerca de 30% das Zonas Sul, Leste e Oeste da cidade de Natal. A lagoa, na verdade, se constitui numa região de alargamento e aprofundamento do rio Pitimbu, que é, portanto seu único afluente e efluente superficial, sendo que o próprio rio Pitimbu e também a lagoa sofrem influência significativa do aquífero subterrâneo Dunas-Barreiras, que é a principal fonte de alimentação desses corpos hídricos (DINIZ, 2018).

O tratamento da água da lagoa do Jiqui é realizado na estação de tratamento de água (ETA) Jiqui, cuja configuração é do tipo filtração direta descendente em linha. Atualmente, a ETA Jiqui é operada com o emprego de policloreto de alumínio (PAC) para coagulação e de cloro na pré-oxidação e na desinfecção final. Na lagoa do Jiqui, a turbidez da água é baixa (média de 1,5 e 2,0 NTU) e a cor aparente é moderada (média de 20 a 25 uC, em cerca de 8 meses por ano, com picos durante o período chuvoso de 75 uC) (CAERN, 2021).

DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Para o desenvolvimento deste trabalho, inicialmente foram realizados ensaios de demanda do permanganato de potássio na oxidação da água da lagoa do Jiqui, conforme os descritos em Di Bernardo et al (DI BERNARDO, et al., 2002). A seguir, foram realizados ensaios de tratabilidade com o emprego do coagulante policloreto de alumínio (PAC), associado ou não à oxidação ora com cloro (hipoclorito de cálcio), ora com permanganato de potássio. Os ensaios foram realizados com o uso de equipamento de *jar-test* seguido de filtração em papel de filtro, simulando a configuração de tratamento por filtração direta em linha, correspondente à da ETA Jiqui. As etapas e parâmetros avaliados, assim como os fatores fixos e variados estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1: Ensaios realizados em *jar-test*.

Etapas de ensaio	Fatores mantidos fixos	Fatores variados	Parâmetros avaliados
Ensaio de demanda de permanganato de potássio	$G_m = 85 \text{ s}^{-1}$ (100 rpm).	Dose de permanganato de potássio: 0,2; 0,4; 0,6; 0,8; 1,0; 1,2; 1,4; 1,7; 2,0 mg/L; Tempo de reação: 10 min e 30 min.	Residual de permanganato de potássio.
Ensaio para determinação da dose do coagulante - (PAC)	$G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ (500 rpm); $T_{mr} = 30 \text{ s}$.	Dose de PAC 12%: 10; 15 e 20 mg/L.	pH, cor aparente, cor verdadeira, turbidez e ABS 254 nm.
Ensaios de pré-oxidação com cloro	$G_m = 85 \text{ s}^{-1}$ (100 rpm); $T_m = 10 \text{ min}$. $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ (500 rpm); $T_{mr} = 30 \text{ s}$. $G_f = 85 \text{ s}^{-1}$ (100 rpm); $T_f = 1 \text{ min}$.	Dose de hipoclorito de cálcio 65%: 3,0; 4,5 e 6,0 mg/L; Tempo de reação: 10 min. (As doses de hipoclorito de cálcio correspondem a: 1,95; 2,93 e 3,9 mg/L de Cl_2 respectivamente).	pH, cor aparente, cor verdadeira, turbidez, ABS 254 nm, residual de cloro.
Ensaios de pré-oxidação com permanganato de potássio	$G_m = 85 \text{ s}^{-1}$ (100 rpm); $T_m = 10 \text{ min}$. $G_{mr} = 1000 \text{ s}^{-1}$ (500 rpm); $T_{mr} = 30 \text{ s}$. $G_f = 85 \text{ s}^{-1}$ (100 rpm); $T_f = 1 \text{ min}$.	Dose de permanganato: 1,0; 1,5 e 2,0 mg/L; Tempo de reação: 10 min.	pH, cor aparente, cor verdadeira, turbidez, ABS 254 nm, residual de permanganato de potássio.

COLETA E CONSERVAÇÃO DA ÁGUA BRUTA

Para os ensaios citados, a coleta da água bruta foi realizada em um ponto de coleta na adutora de água bruta, antes que a água recebesse qualquer produto químico. A água foi coletada em bombonas plásticas e levada para o laboratório. Os ensaios foram realizados um dia após a coleta.

ENSAIOS DA DEMANDA DE PERMANGANATO DE POTÁSSIO

O ensaio para determinação da demanda de permanganato de potássio na etapa de pré-oxidação foi realizado de acordo com o seguinte procedimento, baseado em Di Bernardo et al. (2002):

1. A amostra de água bruta foi homogeneizada e colocada, de forma simultânea, nos jarros.
2. A velocidade de rotação dos agitadores do *jar-test* foi ajustada para 100 rpm (85 s-1);
3. As alíquotas de uma solução de KMnO_4 (concentração da solução: 1 g/L), correspondentes às concentrações desejadas (ver Tabela 2), foram colocadas nas cubetas de vidro do suporte frontal do equipamento de *jar-test* as soluções foram lançadas simultaneamente nos jarros e o cronômetro foi acionado;
4. As amostras foram coletadas em tempos de contatos de 10 min e 30 min;
5. Após os tempos de oxidação, as amostras foram coletadas em recipientes de vidro, previamente higienizados;
6. Por fim, foi feita a análise do residual de permanganato de potássio.

Tabela 2: Alíquotas de uma solução de KMnO_4 para tempos de contato de 10 e 30 minutos

Demanda de permanganato de potássio (KMnO_4)									
Tempo de contato (min)	Concentrações (mg/L)								
10	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0
30	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,7	2,0

ENSAIOS EM JAR-TEST: SIMULAÇÃO DA FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE EM LINHA

A etapa de pré-oxidação foi realizada com gradiente de velocidade de 85 s-1. Os oxidantes utilizados foram permanganato de potássio, KMnO_4 e hipoclorito de cálcio granular, $\text{Ca}(\text{ClO})_2$. Para a simulação das etapas do tratamento da amostra foram utilizados os seguintes parâmetros: pré-oxidação ($G_m = 85 \text{ s-1}$; $T_m = 10 \text{ min}$), seguida de coagulação utilizando PAC 12% ($G_{mr} = 500 \text{ s-1}$; $T_{mr} = 30 \text{ s}$); floculação ($G_m = 85 \text{ s-1}$; $T_m = 1 \text{ min}$) (Figura 2).

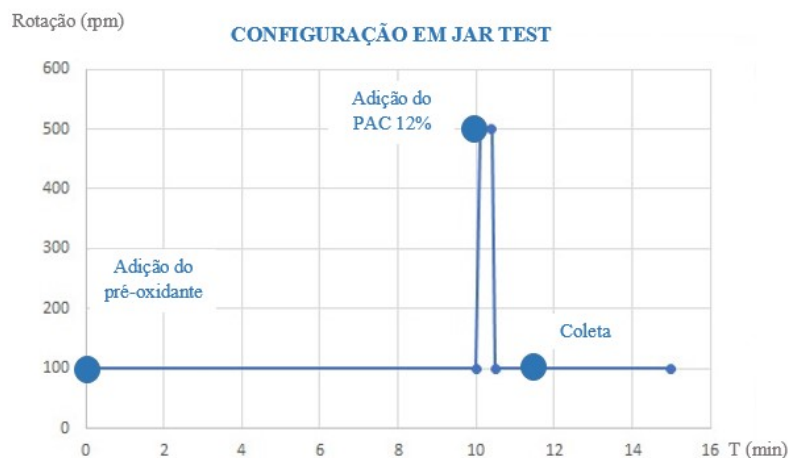


Figura 2: Configuração em jar-test para a filtração descendente em linha com a adição do pré-oxidante (permanganato de potássio ou cloro) e coagulante (PAC 12%).

Seguido da coleta, foi realizada a filtração com filtros de papel qualitativo de gramatura de 80 g/m², espessura de 205 µm e porosidade de 14 µm. As amostras coletadas seguiram para análise em colorímetro, turbidímetro, espectrofotômetro, pHmetro e para a avaliação de cor verdadeira, as amostras foram filtradas em bomba a vácuo com membrana filtrante de porosidade 45 µm e diâmetro de 47 mm.

Este procedimento experimental foi composto pelas etapas descritas a seguir:

1. Inicialmente a amostra foi agitada e colocada de forma simultânea nos jarros do equipamento de *jar-test*;
2. Nos ensaios com emprego de pré-oxidante (permanganato de potássio ou cloro), ajustava-se a rotação do equipamento para 100 rpm ($G_m = 85 \text{ s}^{-1}$), adicionavam-se as doses desejadas do pré-oxidante e mantinha-se a agitação por 10 minutos. Para o ensaio sem pré-oxidação, o procedimento iniciou na etapa seguinte;
3. As alíquotas do coagulante (PAC 12%), correspondentes às concentrações desejadas (10, 15 e 20 mg/L), foram colocadas nas cubetas de vidro do suporte frontal do equipamento de *jar-test*, a rotação foi ajustada para 500 rpm por 30 s;
4. Após ajustar a rotação do equipamento novamente para 100 rpm, por 1 minuto, foi realizada a coleta em recipientes de vidro devidamente higienizados;
5. Por fim, as amostras foram submetidas a análises de cor aparente, cor verdadeira, turbidez, ABS 254 nm e pH (medido sob agitação).

A leitura do pH foi realizada sob agitação, ou seja, após a coleta, o equipamento continuou em funcionamento, a uma rotação de 100 rpm, desta forma foi inserido o pHmetro nos jarros de forma a medir o pH.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

DETERMINAÇÃO DA DEMANDA DE PERMANGANATO DE POTÁSSIO

Para avaliar a demanda de permanganato de potássio na água da lagoa do Jiqui, foi realizado um ensaio de demanda com esse oxidante, com doses variando de 0,2 a 2,0 mg/L de KMnO_4 e tempos de contato de 10 e 30 min (ver Figura 3).

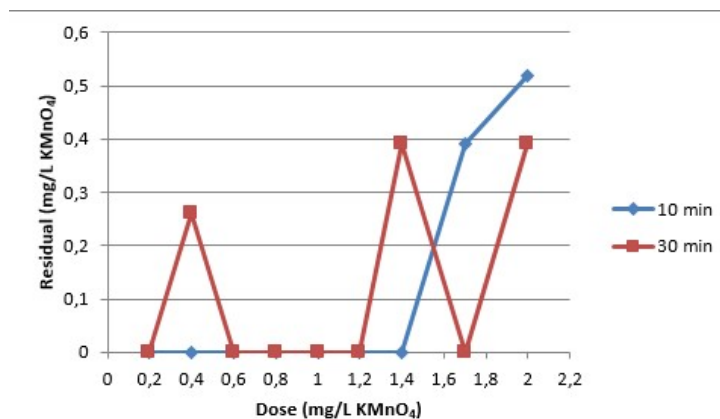


Figura 3: Curvas de demanda de permanganato de potássio para a água da lagoa do Jiqui.

Para o tempo de contato (TC) do permanganato de potássio de 10 minutos, a concentração residual do oxidante foi nula para doses de até 1,4 mg/L. Para TC maior (30 minutos), esperava-se observar concentrações residuais nulas para doses ainda maiores, uma vez que o maior tempo de contato possibilita o maior consumo do oxidante. Assim, os residuais observados para as doses de 0,4 e 1,4 mg/L devem ser considerados resultados anômalos (“outliers”), de modo que a demanda de permanganato de potássio para TC de 30 minutos foi considerada igual a 1,7 mg/L.

Sendo assim, pelos dados obtidos, definiu-se que, para as análises seguintes (simulação da ETA em *jar-test* com uso do permanganato de potássio), as doses de permanganato de potássio empregadas ficariam entre 1,0 e 2,0 mg/L.

DETERMINAÇÃO DA DOSE DE COAGULANTE (PAC)

Em relação ao estudo da dose de coagulante a ser utilizada nas simulações subsequentes de filtração direta descendente em linha com o uso dos pré-oxidantes (cloro e permanganato de potássio), foi feito ensaio em *jar-test* para a avaliação preliminar da dose a ser aplicada. A Tabela 3 mostra o resultado deste estudo:

Tabela 3: Resultados do ensaio em *jar-test* para a dose de coagulante PAC 12%.

Água bruta: T(°C) = 24, pH = 7,37, turbidez = 2,13 NTU, cor aparente = 25,7 uC, cor verdadeira = 14,2 uC, ABS-254 = 0,104 nm.

Dose de coagulante (mg/L)	pH (coagulação)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Turbidez (NTU)	Abs 254 nm
10	7,28	20,6	11,9	0,9	0,114
15	7,20	11,5	10,3	0,4	0,092
20	7,22	8,6	9,8	0,3	0,082

Analisando a cor aparente e verdadeira houve uma redução em todas as doses testadas, quando comparamos ao resultado da água bruta, o mesmo ocorre para a turbidez e a ABS-254.

A dose de 20 mg/L de PAC 12% foi a dose ótima de coagulante e para isto foram levados em consideração os parâmetros apresentados na tabela 3, considerando que a dose mais adequada foi a que resultou em menor cor aparente e cor verdadeira, turbidez e ABS 254 nm.

PRÉ-OXIDAÇÃO COM CLORO ASSOCIADO AO USO DO COAGULANTE (PAC 12%)

No estudo utilizando solução de hipoclorito de cálcio como pré-oxidante, foram testadas doses de 1,95; 2,93 e 3,9 mg/L de cloro. Os resultados deste ensaio são apresentados na Tabela 4.



Tabela 4: Resultado do ensaio em jar-test utilizando o cloro (hipoclorito de cálcio) como pré oxidante. Água bruta: T(°C) = 24, pH = 7,37, turbidez = 2,13 NTU, cor aparente = 25,7 uC, cor verdadeira = 14,2 uC, ABS-254 = 0,104 nm.

Dose de coagulante (mg/L)	Dose de cloro (mg/L)	pH (coagulação)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Turbidez (NTU)	Abs 254 nm	Residual de cloro (mg/L)	Abs 254 nm (Amostra filtrada em membrana de 0,45 µm)
20	1,95	7,06	8,2	7,9	0,3	0,084	0,07	0,079
20	2,93	7,11	7,5	6,5	0,2	0,079	0,08	0,073
20	3,9	7,20	7,4	8,5	0,3	0,098	0,09	0,094

A dose mais adequada para etapa de pré-oxidação com este oxidante foi a de 2,93 mg/L no tempo de contato de 10 minutos (tempo assumido para os ensaios), gerando um residual de 0,08 mg/L, cor verdadeira de 6,5 uC e turbidez de 0,2 NTU, mostrando uma boa remoção de cor e turbidez quando comparamos aos resultados do ensaio anterior e o resultado da água bruta.

PRÉ-OXIDAÇÃO COM PERMANGANATO DE POTÁSSIO ASSOCIADO AO USO DO COAGULANTE (PAC 12%)

No estudo utilizando solução de permanganato de potássio como oxidante, foram adicionadas concentrações de 1,0; 2,0 e 3,0 mg/L. Os resultados deste ensaio estão representados na Tabela 5 .

Tabela 5: Resultado do ensaio em jar-test utilizando o permanganato de potássio como pré-oxidante. * Dado não determinado.

Água bruta: T(°C) = 24, pH = 7,37, turbidez = 2,13 NTU, cor aparente = 25,7 uC, cor verdadeira = 14,2 uC, ABS-254 = 0,104 nm.

Dose de coagulante (mg/L)	Dose de permanganato de potássio (mg/L)	pH (coagulação)	Cor aparente (uC)	Cor verdadeira (uC)	Turbidez (NTU)	Abs 254 nm	Residual de permanganato de potássio	Abs 254 nm (Amostra filtrada em membrana de :
20	1,0	7,11	9,4	6,6	0,7	0,075	0	0,083
20	1,5	7,03	16,3	*	0,6	0,090	0	0,102
20	2,0	7,04	35,1	25	0,5	0,100	0	0,098

Nos resultados acima podemos observar que em doses maiores de permanganato de potássio, ocorreu a elevação nos parâmetros cor aparente, cor verdadeira e ABS-254. Na análise de cor verdadeira para a dose de 1,5 mg/L de KMnO_4 ocorreu que o dado não pode ser determinado devido a um erro de manipulação da amostra.



Apesar da dose de 1 mg/L do oxidante ter um melhor resultado, existe um aumento na turbidez, deixando este parâmetro acima do padrão estabelecido pela Portaria 888/2021 para água filtrada.

A comparação dos resultados deste ensaio (pré-oxidação com permanganato de potássio) com os do sem pré-oxidação, para a dose de 20 mg/L de coagulante (PAC 12%), indicam a elevação da cor na água filtrada para doses de KMnO_4 superiores a 1,0 mg/L. A dose de 1 mg/L de KMnO_4 , por sua vez, parece ter surtido pouco efeito na remoção de MON (cor aparente e verdadeira e ABS-254).

Ao compararmos também os tratamentos realizados com pré-oxidação, é possível notar que o cloro possui melhor resultado que o permanganato de potássio, pois não confere cor à água, pH na faixa padrão, boa remoção de matéria orgânica, mas é necessária uma dose maior para que isto ocorra, o que pode afetar no desenvolvimento de subprodutos da desinfecção.

Além disso, o hipoclorito de cálcio granular, apesar de possuir alto poder oxidante, possui baixa solubilidade em água, o que dificulta a sua diluição, sendo necessário preparar a solução de forma a diluí-la antes da dosagem na estação, já o permanganato de potássio é de fácil preparação e aplicação.

CONCLUSÕES

- O policloreto de alumínio (PAC), mesmo sem adição de pré-oxidante, é efetivo no tratamento da água da lagoa do Jiqui, no período de estiagem, para doses da ordem 15 a 20 mg/L, com a obtenção de valores reduzidos de cor aparente e verdadeira e turbidez (abaixo dos VMP da Portaria 888/2021);
- O emprego do cloro como pré-oxidante associado ao PAC reduz ainda mais (comparação com ensaios sem pré-oxidação) a cor verdadeira e ABS-254 na água filtrada;
- O permanganato de potássio foi “preliminarmente” efetivo para a pré-oxidação da água da lagoa do Jiqui apenas para a menor dose testada (1 mg/L), com valores de turbidez e cor aparente inferiores ao VMP da Portaria 888/2021. Doses maiores elevaram a cor, a turbidez da água (acima dos VMP da Portaria 888/2021) e a ABS-254, de modo que seu uso como pré-oxidante se mostrou desvantajoso para tais doses;
- Esta pesquisa realizou apenas ensaios preliminares, no intuito de avaliar o potencial de emprego do permanganato de potássio para a água da lagoa do Jiqui, de modo que, a despeito das conclusões alcançadas, recomenda-se a realização de ensaios complementares, com outras combinações de dose de coagulante/permanganato (inclusive menores que as testadas) e em períodos chuvosos, e com a avaliação da formação de SPDs, que não foi possível neste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BARROS, W. M. **Riscos associados à utilização do agente desinfetante cloro no tratamento de água potável: uma revisão de literatura.** Cajazeiras/PB, 2018. Disponível em: <[https://estudante.ifpb.edu.br/media/cursos/25/documentos/TCC - Wildson de Moura Barros.pdf](https://estudante.ifpb.edu.br/media/cursos/25/documentos/TCC_-_Wildson_de_Moura_Barros.pdf)>. Acesso em: 17 de setembro de 2021.
2. DANIEL, L. A. **Métodos Alternativos de desinfecção da água.** Programa de pesquisa em saneamento básico - PROSAB. São Carlos, SP, 2001. Disponível em: <<http://finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/LuizDaniel.pdf>>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.
3. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A.; CENTURIONE, P. **Ensaio de tratabilidade de Água dos Resíduos Gerados em Estações de Tratamento de Água.** 2002.
4. DINIZ, G.M. **Determinação de condições ótimas de coagulação e mistura rápida para água da lagoa do Jiqui/RN.** Trabalho de conclusão de curso (Engenharia Química), Universidade Federal do Rio Grande



- do Norte, 2018. Disponível em: https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/7896/1/DeterminacaodeCondicoes_Diniz_2018.pdf. Acesso em: 10 de julho de 2021.
5. FERREIRA FILHO, S. S. **Tratamento de Água**: Concepção, projeto e operação de estações de tratamento. 2017. São Paulo, GEN LTC; 1ª edição (3 setembro 2020).
 6. GABINETE DO MINISTRO. **PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 4 DE MAIO DE 2021**. Publicado em: 07/05/2021. Edição: 85. Seção: 1. Disponível em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>. Acesso em: 10 de setembro de 2021.
 7. MEYER, S. T. **O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública**. Rio de Janeiro, 1994. Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/csp/v10n1/v10n1a11.pdf>. Acesso em: 12 de agosto de 2021.
 8. PLANO MUNICIPAL DE SANEAMENTO BÁSICO DE NATAL - PMSB. **Situação dos Serviços de Abastecimento de Água Potável e de Esgotamento Sanitário**. Natal/RN, 2015.
 9. ROSALÉM, Sabrina. **Estudo de Identificação e Quantificação de Trihalometanos em Água de Abastecimento**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro tecnológico, Universidade Federal do Espírito Santo, 2007. Disponível em: https://repositorio.ufes.br/jspui/bitstream/10/3892/1/tese_2651_Disserta%3%a7%3%a3o_Sabrina.pdf. Acesso em: 09 de abril de 2021.
 10. ROSALÉM, S.F. et. al. **Avaliação de trihalometanos formados na etapa de pré-oxidação com cloro e permanganato de potássio em água de abastecimento**. DAE, 2012. Disponível em: http://revistadae.com.br/artigos/artigo_edicao_191_n_1482.pdf. Acesso em: 02 de agosto de 2021.
 11. SILVA, C. S. P. et al. **Aplicação de geotecnologias para mapeamento do uso e ocupação do solo na lagoa do jiqui e seu entorno - sub bacia hidrográfica do rio Pitimbu/RN**. Foz do Iguaçu, 2019. Disponível em: <https://s3-sa-east-1.amazonaws.com/abrh/Eventos/Trabalhos/107/XXIII-SBRH0440-1-20190812-100613.pdf>. Acesso em: 17 de setembro de 2021.