

## Tratamento de água para abastecimento público utilizando pré-oxidação com ácido peracético e coagulação com sulfato de alumínio

### Water treatment for public supply using pre-oxidation by peracetic acid and coagulation by aluminum sulfate

Keila Cardoso Teixeira<sup>1</sup>, Thayrine Dias Carlos<sup>2</sup>, Renato Almeida Sarmiento<sup>2,3</sup>, Nelson Luis Gonçalves Dias de Souza<sup>1,4</sup>, Douglas Henrique Pereira<sup>1,4</sup>, Grasielle Soares Cavallini<sup>\*1,4</sup>

---

#### RESUMO

O ácido peracético (APA) é muito utilizado como agente desinfetante e por ser um oxidante forte possui capacidade de inativar um amplo espectro de microrganismos patogênicos. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi a avaliação do ácido peracético como um agente pré-oxidante de um processo de coagulação com sulfato de alumínio ferroso (SAF) utilizando como amostra de estudo água para abastecimento público. A caracterização da água bruta e tratada foi realizada pelos parâmetros físico-químicos: turbidez, pH, cor real, *E. coli* e coliformes totais. Para as análises microbiológica foi utilizada a técnica da filtração em membranas com meio de cultura cromogênico seletivo e diferencial para coliformes. Os resultados demonstram que nas concentrações maiores do ácido peracético e do coagulante houve a diminuição do pH prejudicando o processo de coagulação/floculação. No parâmetro cor a remoção foi total em todas as dosagens avaliadas. A configuração que apresentou a maior eficiência na remoção da turbidez foi de 5 mg.L<sup>-1</sup> de SAF + 1 mg.L<sup>-1</sup> de APA, atingindo 87,4% na velocidade de sedimentação de 0,35 cm.min<sup>-1</sup> e comparada a mesma dosagem de SAF sem adição de APA foi possível observar que a eficiência de remoção de turbidez foi menor (85,7%), demonstrando a contribuição do APA no processo. Nas análises microbiológicas pode-se notar que a concentração de APA 1 mg.L<sup>-1</sup> foi suficiente para inativação total de *E. coli* e para inativação total de coliformes totais foi necessária a dosagem de 4 mg.L<sup>-1</sup>. Embora o processo de coagulação/floculação/sedimentação não tenha atingido turbidez inferior a 5 NTU como exigido pela portaria de potabilidade da água (Portaria nº 888/2021 MS), o processo proposto foi satisfatório, pois o processo convencional contemplaria a etapa subsequente de filtração responsável pela remoção de sólidos em suspensão remanescentes do processo sedimentação.

**Palavras-chave:** Pré-oxidação; Ácido peracético; Tratamento de água; Sulfato de alumínio ferroso.

---

#### ABSTRACT

Peracetic acid (PAA) is widely used as a disinfecting agent and, as it is a strong oxidant, it has the ability to inactivate a wide spectrum of pathogenic microorganisms. Thus, the objective of this work was the evaluation of peracetic acid as a pre-oxidizing agent of a coagulation process with ferrous aluminum sulfate

---

<sup>1</sup> Curso de Química Ambiental, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Biodiversidade e Biotecnologia da Amazônia Legal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

<sup>3</sup> Programa de Pós-Graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil.

<sup>4</sup> Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Tocantins, Gurupi, Tocantins, Brasil, \* grasielle@uft.edu.br.

(FAS) using water for public supply as a study sample. The characterization of raw and treated water was performed by the physical-chemical parameters: turbidity, pH, real color, *E. coli* and total coliforms. For the microbiological analysis, the technique of membrane filtration with selective and differential chromogenic culture medium for coliforms was used. The results demonstrate that at higher concentrations of peracetic acid and coagulant there was a decrease in pH, impairing the coagulation/flocculation process. In the color parameter, the removal was total in all evaluated dosages. The configuration that showed the highest efficiency in removing turbidity was 5 mg.L<sup>-1</sup> of FAS + 1 mg.L<sup>-1</sup> of PAA, reaching 87.4% at a sedimentation velocity of 0.35 cm.min<sup>-1</sup> and compared to the same dosage of FAS without addition of PAA, it was possible to observe that the efficiency of turbidity removal was lower (85.7%), demonstrating the contribution of APA in the process. In the microbiological analysis, it can be noted that the concentration of PAA 1 mg.L<sup>-1</sup> was sufficient for total inactivation of *E. coli* and for total inactivation of total coliforms, a dosage of 4 mg.L<sup>-1</sup> was necessary. Although the coagulation/flocculation/sedimentation process did not reach turbidity below 5 NTU as required by the water potability ordinance (Ordinance No. 888/2021 MS), the proposed process was satisfactory, as the conventional process would include the subsequent filtration step responsible for removing suspended solids remaining from the sedimentation process.

**Keywords:** Pre-oxidation; Peracetic acid; Water treatment; Ferrous aluminum sulfate.

---

## INTRODUÇÃO

Embora as formas de tratamento de água para abastecimento público sejam bem estabelecidas e cumpram com os padrões de qualidade exigidos, os estudos para melhorar as formas de tratamento existentes ou a criação de novos métodos de tratamento são de suma importância para o desenvolvimento do saneamento ambiental. Os aprimoramentos das técnicas de tratamento são relevantes para reduzir custos operacionais, criar métodos alternativos e sanar problemas recorrentes (ACHON, BARROSO, CORDEIRO, 2014). O tratamento convencional, também conhecido como ciclo completo, é o mais utilizado no Brasil devido as variações sazonais das características da água bruta, este método, consiste nas etapas de mistura rápida, floculação, decantação ou flotação, filtração e desinfecção (LIBÂNIO et al., 2006).

A coagulação é um dos processos mais usados no tratamento de água para a remoção da matéria orgânica natural e da turbidez (LIU et al., 2011). A coagulação age principalmente nas partículas em suspensão almejando o aumento da taxa de agregação dos coloides (CUI et al., 2020). A coagulação é realizada por métodos de mistura rápida em que o coagulante é disperso na água de tratamento, nesta etapa é de suma importância que o pH seja monitorado, pois é um fator que interfere diretamente na formação de coágulos (LIBÂNIO, 2010; YU et al., 2020).

Na coagulação ocorre a desestabilização das cargas das partículas, que está

relacionada com o pH, a alcalinidade da água bruta, a natureza das partículas coloidais, o tamanho das partículas e o tipo e a dosagem dos produtos químicos que são aplicados (MARONEZE et al., 2014). Tanto o pH quanto a dosagem do coagulante estão diretamente ligados, pois cada produto químico apresenta uma faixa ótima de pH e o simples aumento da dosagem não garante que vai ocorrer uma eficiência maior (YU et al., 2020).

O processo de coagulação para remoção de matéria orgânica com sais metálicos consiste em três principais aspectos: no primeiro, os íons metálicos com cargas positivas e os coloides orgânicos com cargas negativas são eletricamente neutralizados, desestabilizados e agregados, no segundo, os íons metálicos e as moléculas de matéria orgânica solúveis formam complexos insolúveis e precipitados, e no terceiro, a adsorção química e física de compostos orgânicos ocorre na superfície do alumínio (LIMA e ROLLEMBERG, 2020).

Os principais mecanismos que ocorrem na coagulação são: compressão da dupla camada, adsorção e neutralização de cargas, varredura, adsorção e formação de pontes.

A compressão da dupla camada acontece quando se emprega coagulantes com íons de cargas contrárias, especialmente os íons de elevada carga positiva, estabelecendo uma estabilização eletrostática (DI BERNARDO, 1993).

O processo de adsorção e neutralização de cargas ocorre quando os cátions metálicos na forma de sais são colocados na água, acarretando na formação de espécies solúveis hidrolisadas. Então ocorre a adsorção destes compostos pelos coloides e em seguida a neutralização devido a diferença de cargas (DI BERNARDO, 1993).

A varredura normalmente acontece quando há dosagens altas de sais de alumínio e ferro, que são frequentemente superiores do que a concentração de saturação dos respectivos hidróxidos, acarretando na formação de precipitados de ferro ou de alumínio (DI BERNARDO, 1993).

No processo de Adsorção e formação de pontes acontece quando são colocados polímeros sendo eles sintéticos ou naturais, de amplas cadeias moleculares servindo de ponte entre a superfície no qual estão aderidos e outras partículas. Vale ressaltar que a coagulação pode ocorrer como resultado individual ou combinado desses mecanismos (DI BERNARDO, 1993).

A função do coagulante é desestabilização da suspensão coloidal diminuindo todas as forças atrativas, desse modo reduzindo a barreira de energia e permitindo que as partículas possam se agregarem (SANTOS et al., 2007).

Normalmente, os coagulantes são divididos em dois grupos principais, os polieletrólitos e os coagulantes metálicos. No caso dos polieletrólitos as cadeias poliméricas já estão formadas quando são adicionadas na água. No entanto, nos coagulantes metálicos quando são adicionados na água passam por um processo de hidrólise e os íons de cargas positivas são liberados no meio (LIMA e ROLLEMBERG, 2020).

Os principais coagulantes disponíveis no mercado para o tratamento de água são: sulfato de alumínio, cloreto férrico, hidroxiclreto de alumínio e sulfato férrico (MACEDO, 2007).

No Brasil, um dos coagulantes mais usados é o sulfato de alumínio ( $(Al_2(SO_4)_3)$ ). Ele é adicionado a água com o óxido de cálcio (CaO), que é mais conhecido como cal virgem é usado para o controle do pH do meio. O sulfato de alumínio é um sal que é obtido pela reação entre o ácido sulfúrico e o hidróxido de alumínio, é solúvel em água (LUTTRELL, 2015).

Logo após a coagulação da água, ocorre o processo de floculação que se inicia com a mistura lenta, com o objetivo de que as partículas menores se juntem para formar agregados maiores ou flocos (LIMA; ROLLEMBERG, 2020).

De acordo com Libânio (2005) no processo de floculação existem três mecanismos que são resultados das colisões entre as partículas, são elas a floculação pericinética, floculação ortocinética e a floculação por sedimentação diferencial. A floculação pericinética ocorre por causa da energia térmica do fluido, que ocasiona o movimento Browniano das partículas coloidais menores que 1  $\mu$ m. Na floculação ortocinética é necessária a introdução de energia externa que promove a união das partículas desestabilizadas e dos microflocos. A floculação por sedimentação tem como diferencial a não uniformidade e densidade dos flocos formados, o que acaba ocasionando diferentes velocidades de sedimentação e acarretando no choque entre os flocos e um maior crescimento destes.

A sedimentação é um processo de separação sólido-líquido usada para a retirada de partículas discretas e floculentas, como por exemplo sólidos suspensos, compostos orgânicos e partículas coloidais (WANG et al., 2011; HUA et al., 2016).

Alguns sistemas de tratamento podem apresentar a pré-oxidação como um etapa preliminar de tratamento, de acordo com Veneu e colaboradores (2015), o pré-tratamento com agentes de oxidação como o ozônio, cloro, permanganato de potássio podem melhorar o processo de coagulação.

A pré-oxidação tem como objetivo a remoção de algas e cor, melhorar a eficiência da coagulação, oxidar a matéria orgânica para impedir a formação de biofilmes nos filtros, evitar incrustações em membranas, remover metais específicos ou a finalidade de desinfecção (MATILAINEN; VEPSALAINEN; SILLANPAA; 2010).

O cloro é a principal agente químico usado na pré-oxidação, por causa do seu fácil manuseio, o seu alto potencial oxidante e também pelo seu baixo custo. O uso de reagentes clorados como o dióxido de cloro ( $\text{ClO}_2$ ), hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ), hipoclorito de cálcio [ $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ] e cloro ( $\text{Cl}_2$ ) na etapa de pré-oxidação traz alguns benefícios, tais como, a redução do odor e do sabor da água, a remoção do ferro, manganês e também a remoção de cor (ROSALÉM et al., 2013).

No entanto, a utilização de oxidantes clorados pode gerar subprodutos tóxicos como os trihalometanos, que apresentam potencial carcinogênico (MEYER, 1994). Devido a isso, os estudos para a substituição do cloro por oxidantes alternativos são relevantes, sendo o ácido peracético um promissor substituinte (KITIS, 2004)

O APA é um ótimo sanitizante devido a sua capacidade oxidante de componentes celulares dos microrganismos, tendo uma rápida ação à baixas concentrações sobre um amplo espectro de microrganismos. É esporicida em baixas temperaturas e continua efetivo na presença de material orgânico sendo, portanto, um biocida efetivo. Sua ação biocida é influenciada pela concentração, temperatura e tipo de microrganismos (SREBERNICH, 2007).

O APA também é usado no tratamento de águas residuárias como um agente desinfetante (WAGNER et al., 2002), é comercializado na forma de uma mistura aquosa quaternária equilibrada, contendo ácido peracético, ácido acético, peróxido de hidrogênio e água (GEHR et al., 2003).

Fonseca e colaboradores (2020), realizaram estudos utilizando o APA para a pré-oxidação de água de abastecimento público para remoção de clorofila e observou eficiência satisfatória na concentração de  $4 \text{ mg.L}^{-1}$ , demonstrando que o oxidante tem grande potencial para estudos de pré-oxidação seguidos de coagulação.

Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a utilização do ácido peracético, na pré-oxidação da água bruta, como tratamento preliminar ao tratamento convencional, utilizando o sulfato de alumínio ferroso como coagulante.

## METODOLOGIA

O estudo foi realizado utilizando amostras de água coletadas no lago da Universidade Federal do Tocantins, campus de Gurupi, formado pela barragem do córrego Água Franca, zona rural. A caracterização da água bruta foi realizada pelos parâmetros físico-químicos: turbidez, pH e cor real em 455 nm, de acordo com a metodologia descrita por *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2017).

Os ensaios de coagulação/floculação/sedimentação foram realizados em equipamento *Jar-test* (JT 102), utilizando gradiente de mistura rápida, 260 RPM, por 1 minuto, gradiente de mistura lenta, 80 RPM por 30 minutos e sedimentação de 0,7 cm.min<sup>-1</sup>, 0,46 cm.min<sup>-1</sup> e 0,35 cm.min<sup>-1</sup>. A velocidade de sedimentação é calculada pela razão entre a altura da coleta e o tempo de sedimentação. Neste trabalho a altura de coleta foi de 7 cm de profundidade e nos tempos 10, 15 e 20 minutos de sedimentação.

O coagulante utilizado foi o sulfato de alumínio ferroso (SAF) e o pré-oxidante avaliado foi o ácido peracético (APA) 15% (m/m). Os reagentes foram adicionados antes do processo de mistura rápida. Os ensaios foram realizados conforme a Tabela 1.

**Tabela 1** – Ensaios de coagulação/floculação/sedimentação realizados.

	[SAF] (mg/L)	[APA] (mg/L)
Ensaio 1	10	0
Ensaio 2	10	4
Ensaio 3	5	4
Ensaio 4	5	2
Ensaio 5	5	1
Ensaio 6	5	0

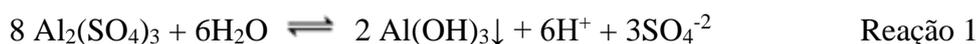
A eficiência dos ensaios foi avaliada pelos parâmetros turbidez e cor. O pH de coagulação e pH final foram monitorados durante os ensaios.

Os ensaios 1, 2, 3, 4 e 5 foram caracterizados quanto a remoção de coliformes fecais e *E. coli*. Para as análises microbiológica foi utilizada a técnica da filtração em membranas, na qual foram filtrados 100 mL da amostra, através de uma membrana de nitrato celulose estéril com porosidade de 0,45 µm, sendo a mesma disposta em placas de Petri contendo o meio de cultura cromogênico seletivo e diferencial para coliformes e incubadas à 36°C por 24h. Sendo a quantificação de coliformes totais e *E. coli* em UFC.100 mL<sup>-1</sup> (Unidade formadora de colônia por 100 mL). Conforme descrito pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA et al., 2017).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

As características físico-químicas da água bruta, assim como, os resultados obtidos nos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação são apresentados na Tabela 2.

De acordo com a Tabela 2 é possível observar que a adição do coagulante SAF contribui mais significativamente para o decréscimo do pH da amostra. Isso pode ser justificado porque o APA é um ácido fraco (pka = 8,2), enquanto o sulfato de alumínio se trata de um sal ácido (Reação 1), logo que sua produção realizada a partir do ácido sulfúrico.



Concentrações mais elevadas de APA (4 mg.L<sup>-1</sup>) e SAF (10 mg.L<sup>-1</sup>) implicaram num decréscimo maior do pH, a portaria 888/2021 do Ministério da Saúde estabelece que a faixa de pH permitido para o consumo humano tem que estar entre 6,0 a 9,0.

Quanto ao parâmetro cor a remoção foi total, demonstrando que houve a precipitação de compostos dissolvidos da água em função do processo de coagulação/floculação. O parâmetro físico cor está relacionado com os sólidos dissolvidos na amostra e por isso sua remoção deve acontecer no processo de coagulação/floculação, pois a filtração não contribuiria significativamente para remoção de sólidos dissolvidos.

Para quantificação da cor real, a amostra é filtrada em membrana de 0,45 µm, por isso não há presença de sólidos em suspensão na leitura da cor. Se esse processo de

filtração da amostra não for realizado o parâmetro é chamado de cor aparente e terá relação direta com a turbidez.

**Tabela 2** – Eficiência na remoção de cor e turbidez em diferentes concentrações de APA e SAF.

APA (mg.L <sup>-1</sup> )	SAF (mg.L <sup>-1</sup> )	pH final	Velocidade de sedimentação (cm.min <sup>-1</sup> )	Turbidez (NTU)	% Remoção de cor
Bruto		7,09 (pH natural)	-	<b>41</b>	<b>0</b>
0	5	6,57	0,70	7,96	100%
0	5		0,47	6,44	
0	5		0,35	5,84	
1	5	6,55	0,70	7,52	100%
1	5		0,47	5,41	
1	5		0,35	5,17	
2	5	6,50	0,70	9,04	100%
2	5		0,47	7,54	
2	5		0,35	7,35	
4	5	6,29	0,70	24,40	100%
4	5		0,47	10,60	
4	5		0,35	8,72	
0	10	6,00	0,70	20,60	100%
0	10		0,47	16,40	
0	10		0,35	13,50	
4	10	5,38	0,70	25,00	100%
4	10		0,47	23,20	
4	10		0,35	23,30	

De acordo com a Portaria nº 888/2021 do MS, o valor máximo permitido de turbidez é de 5 NTU, e nenhum ensaio realizado conseguiu atingir essa eficiência de remoção. Porém, vale ressaltar que o estudo não contemplou o processo convencional completo, o qual exige a filtração após o processo de coagulação ou sedimentação. A turbidez é um parâmetro físico relacionado a presença de sólidos em suspensão, os quais poderão ser removidos pelo processo de filtração subsequente.

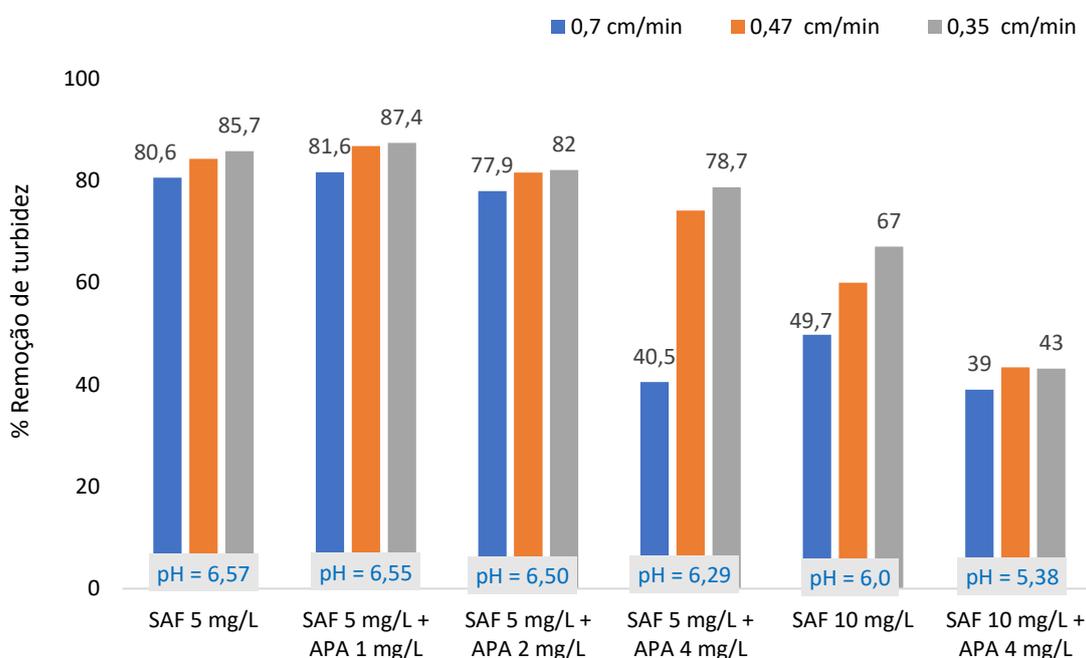
A velocidade de sedimentação é um dado importante para o dimensionamento de decantadores, pois flocos mais densos decantam mais rapidamente e dessa forma

demandam decantadores menores, ou seja, com menor tempo de detenção da água, tratando maior volume de água por hora. De acordo com os resultados da Tabela 3, o maior tempo de sedimentação ( $0,35 \text{ cm}\cdot\text{min}^{-1}$ ) apresentou maior eficiência para remoção de turbidez, sendo a velocidade mais adequada para as condições avaliadas.

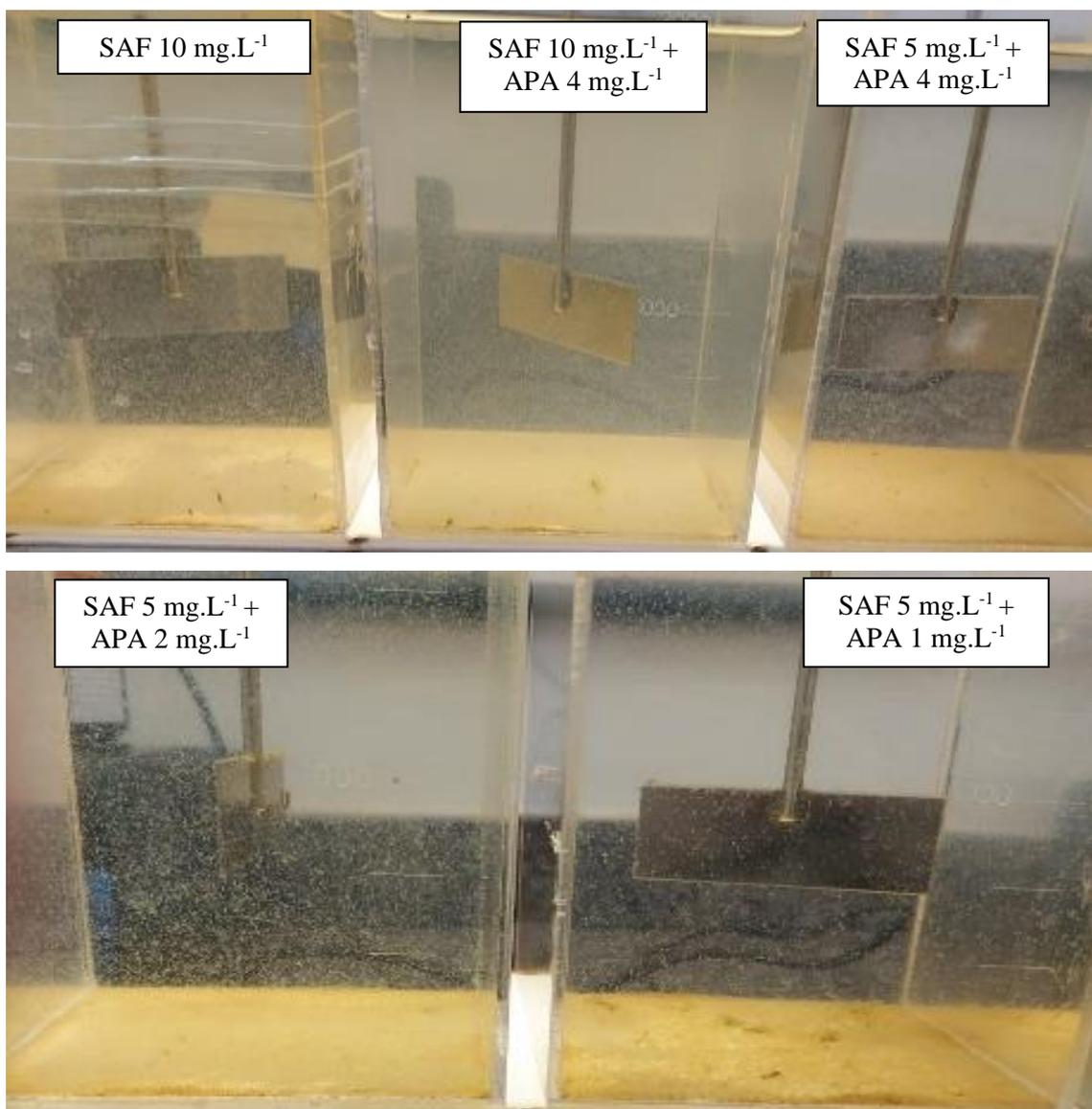
A Figura 1 demonstra a remoção de turbidez em porcentagem de remoção, facilitando a constatação quanto ao aumento da eficiência da remoção de sólidos em suspensão em função da adição do APA ao processo.

É possível observar que a eficiência para remoção de turbidez foi maior nos valores de pH mais elevados, isso porque o pH ótimo de coagulação para o sulfato de alumínio é próximo de 7,4, o qual favorece a formação do hidróxido de alumínio responsável pela formação dos flocos. Dessa forma, dosagens elevadas de SAF e APA demonstraram as menores eficiências, no entanto, em valores de pH bem próximos como SAF  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  e SAF  $5 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  + APA  $1 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$  é possível observar que a adição de APA aumentou a remoção de turbidez. A Figura 2 apresenta as fotos dos ensaios após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.

**Figura 1** – Eficiência de remoção de turbidez em diferentes concentrações de SAF e APA.



**Figura 2** – Fotos dos ensaios após o processo de coagulação/floculação/sedimentação.



Fonte: Teixeira, et al., 2021.

### **Análise microbiológica**

A Tabela 3 demonstra os resultados obtidos nas análises microbiológicas das amostras provenientes dos ensaios de coagulação/floculação/sedimentação avaliando diferentes dosagens de SAF e APA. A amostra bruta e a amostra utilizando SAF 5 mg.L<sup>-1</sup> não foram avaliadas microbiologicamente, pois sem adição do oxidante APA, a tendência é que as amostras apresentem características microbiológicas semelhantes, logo que o processo de coagulação/floculação/sedimentação tem eficiência de inativação de microrganismos muito baixas sem a pré-oxidação.

**Tabela 3** – Avaliação de coliformes totais e *E. coli* em relação as diferentes concentrações de APA e SAF.

SAF (mg/L)	APA (mg/L)	<i>E. coli</i> (UFC.100 mL <sup>-1</sup> )	Coliformes Totais (UFC.100 mL <sup>-1</sup> )
5	1	0	400
5	2	0	1
5	4	0	0
10	0	2	47
10	4	0	0

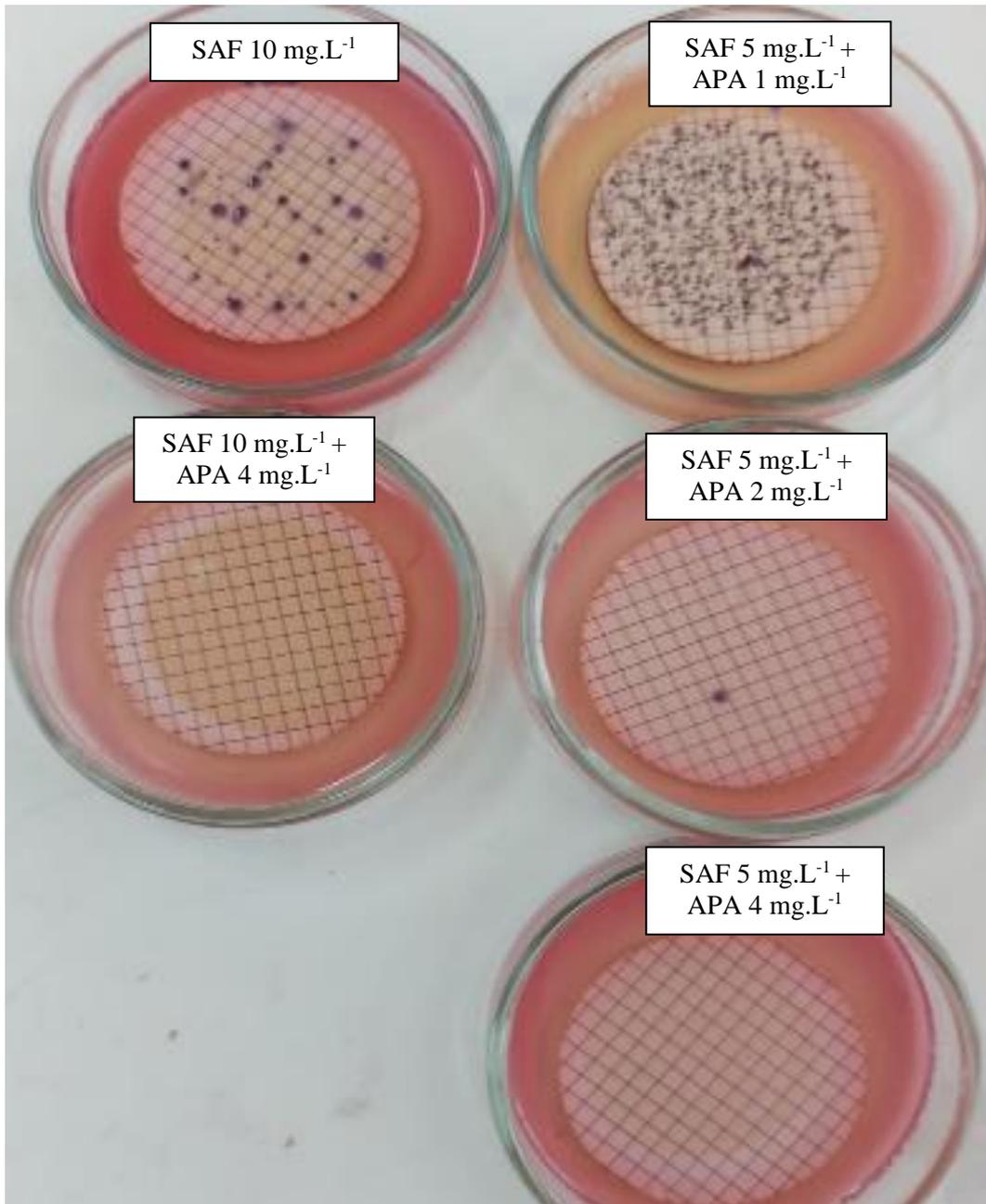
De acordo com a Tabela 3, apenas o ensaio sem APA apresentou presença de *E. coli*. Esse comportamento é resultante do alto poder oxidante do APA que promove a oxidação das ligações S-S e S-H dos componentes celulares, agindo sobre a membrana citoplasmáticas desativando as funções fisiológicas destes microorganismos.

Em estudos realizados por De Souza e colaboradores (2005) foi observado que o ácido peracético possui uma efetiva inativação dos microrganismos *E. coli*, colifagos e *Clostridium perfringens*. A menor eficiência de remoção de coliformes totais já era esperada devido a maior resistência destes microrganismos.

A Portaria nº 888/2021 do MS estabelece a ausência total de coliformes totais e *E. coli* na água para que a mesma esteja dentro dos padrões microbiológicos de potabilidade. Essa condição pode ser observada nos ensaios com APA 4 mg.L<sup>-1</sup>.

No método os pontos azuis são identificados como colônia de *E. coli* e os pontos rosas coliformes totais. As colônias indicativas de coliformes totais típicas têm uma cor rosa a vermelho escuro, com brilho metálico. O brilho pode aparecer no centro ou na periferia da colônia. As não coliformes aparecem com coloração vermelho claro ou escura sem brilho metálico característico. A Figura 3 ilustra os testes de coliformes totais e *E. coli* após os tratamentos propostos.

**Figura 3** – Foto do resultado microbiológico das amostras.



Fonte: Teixeira, et al., 2021.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a amostra de estudo foi possível observar que a configuração de dosagem que apresentou maior eficiência na remoção da turbidez foi a de SAF 5 mg.L<sup>-1</sup> + APA 1 mg.L<sup>-1</sup>, atingindo 87,4% na velocidade de sedimentação de 0,35 cm.min<sup>-1</sup>. Quanto ao parâmetro turbidez a influência do pH demonstrou ter maior relação com a

eficiência de coagulação/floculação do que a dosagem do coagulante, no entanto, a adição do APA contribuiu para o aumento da eficiência de remoção de turbidez. A remoção de cor foi eficiente em todas as configurações avaliadas.

Quanto ao parâmetro microbiológico foi possível observar que a melhor configuração foi a SAF 5 m.L<sup>-1</sup> + APA 4 mg.L<sup>-1</sup>, a qual contribuiu para a inativação total de *E. coli* e coliformes totais e atingiu 78,7% de remoção de turbidez na velocidade de sedimentação de 0,35 cm.min<sup>-1</sup>. Foi possível observar que mesmo a adição de 1 mg.L<sup>-1</sup> foi suficiente para remoção total de *E. coli*.

Dessa forma, é possível constatar que a pré-oxidação com APA contribuiu para a remoção de turbidez e inativação de coliformes totais e *E. coli*, representando uma alternativa promissora para substituição de processos de pré-oxidação com cloro.

## REFERÊNCIAS

ACHON, C.L.; BARROSO, M. M.; CORDEIRO, J.S. Resíduos de estações de tratamento de água e a ISSO 24512: desafio do saneamento brasileiro. **Engenharia Sanitária Ambiental, São Pedro** v. 18, n. 2, p. 115-122, 2013.

APHA-AWWA-WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 23 ed. Washington: Associação Americana de Saúde Pública, **APHA**. 2017. p.1546.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888/2021. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>

CUI, H.; HUANG, X.; YU, Z.; CHEN, P.; CAO, X. Application progress of enhanced coagulation in water treatment. **RSC Advances**, China, v. 10, n. 34, p. 20231-20244, 2020.

DE SOUZA, J. B.; DANIEL, L. A. Comparação entre hipoclorito de sódio e ácido peracético na inativação de *E. coli*, colifagos e *C. perfringens* em água com elevada concentração de matéria orgânica. **Engenharia Sanitária e Ambiental, São Carlos**, v. 10, n. 2, p. 111-117, 2005.

DI BERNARDO, L. Métodos e técnicas de tratamento de água. v. 1. Rio de Janeiro: **ABES**, 1993.

FONSECA, T. R.; DAS NEVES, A. P. N.; CASTRO, D. A.; CAVALLIN, G. S. Pre-oxidation with peracetic acid to degradation of chlorophyll-a from drinking water: A comparative study with calcium hypochlorite. **Journal of Water Process Engineering**, Gurupi, v. 38, p. 1-5, 2020.

- GEHR, R.; WAGNER, M.; VEERASBRAMANIAN, P.; PAYMENT, P. Disinfection efficiency of peracetic acid, UV and ozone after enhanced primary treatment of municipal wastewater. **Water Research**, Montreal, v. 37, n. 19, p. 4573-4586, 2003.
- KITIS, M. Disinfection of wastewater with peracetic acid: A review. **Environment International**, Isparta, v. 30, n. 1, p. 47-55, 2004.
- LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. **Átomo**: Rio de Janeiro, 2005.
- LIBÂNIO, M.; SPERLING, E. V.; BASTOS, R. K. X.; HELLER, L.; BORJA, P. C. Vigilância e controle de qualidade da água para o consumo humano, **Ministério da Saúde**, 2006.
- LIMA, J. P. M.; ROLLEMBERG, S. L. Simplified water treatment techniques. **Revista Virtual de Química**, Fortaleza, v. 12, n. 2, p. 447-460, 2020.
- LIU, T.; CHEN, Z. L.; YU, W. Z.; SHEN, J. M.; GREGORY, J. Effect of two-stage coagulant addition on coagulation-ultrafiltration process for treatment of humic-rich water. **Water Research**, China, v. 45, n. 14, p. 4260-4268, 2011.
- LUTTRELL, W. E. Aluminum sulfate. **Journal of Chemical Health and Safety**, Oklahoma, v. 22, n. 6, p. 33-35, 2015.
- MARONEZE, M. M.; ZEPKA, L. Q.; VIEIRA, J. G.; QUEIROZ, M. I.; JACOB-LOPES, E. A tecnologia de remoção de fósforo: Gerenciamento do elemento em resíduos industriais. **Revista Ambiente e Água**, Taubaté, v. 9, n. 3, p. 445-458, 2014.
- MATILAINEN, A.; VEPSÄLÄINEN, M.; SILLANPÄÄ, M. Natural organic matter removal by coagulation during drinking water treatment: A review. **Advances in Colloid and Interface Science**, Filândia, v. 159, n. 2, p. 189-197, 2010.
- 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, 1994.
- ROSALÉM, S. F.; AGRIZZI, A. D.; CARDOSO, M. C. M. C.; COELHO, R. C. Avaliação de trihalometanos formados na etapa de pré-oxidação com cloro e permanganato de potássio em água de abastecimento. **Revista DAE**, Espírito Santo, n. 191, p. 54-59, 2013.
- SANTOS, E. P. C. C.; TEIXEIRA, A. R.; ALMEIDA, C. P.; LIBÂNIO, M.; DE PÁDUA, V. L. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Belo Horizonte, v. 12, n. 4, p. 361-370, 2007.
- SREBERNICH, S. M. Utilização do dióxido de cloro e do ácido peracético como substitutos do hipoclorito de sódio na sanitização do cheiro-verde minimamente processado. **Ciências Tecnológica Alimentar**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 744-750, 2007.
- VENEU, D. M.; DA SILVA, M. P. M.; DI SALVIO, A. M.; DELPHINO, I. A. Z.

Tratamento de água eutrofizada através dos processos de pré-oxidação, coagulação e floculação. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 175-186, 2014.

WANG, D.; WU, R.; JIANG, Y.; CHOW, C. W. K. Characterization of floc structure and strength: Role of changing shear rates under various coagulation mechanisms. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, China, v. 379, n. 1-3, p. 36-42, 2011.

YU, X.; TANG, Y.; SHEN, L.; BEGUM, A.; GONG, Z. Physico-chemical processes. **Water Environment Research**, China, v. 92, n. 10, p. 1751-1769, 2020.

*Recebido em: 05/01/2022*

*Aprovado em: 08/02/2022*

*Publicado em: 11/02/2022*