

## **Estudo da utilização de peróxido de hidrogênio e luz ultravioleta visando a prevenção da formação de cloraminas no tratamento de água de abastecimento**

### **Study of the use of hydrogen peroxide and ultraviolet light to prevent the formation of chloramines in water supply treatment**

DOI:10.34117/bjdv8n3-176

Recebimento dos originais: 14/02/2022

Aceitação para publicação: 14/03/2022

#### **Mateus Bergamin Paludo**

Bacharel em Engenharia de Bioprocessos e Biotecnologia

Instituição: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Benjamin Constant, 229, Cidade Alta, CEP: 95700-346 - Bento Gonçalves - RS

E-mail: mateuspaludo13@gmail.com

#### **Daiana Maffessoni**

Doutora em Engenharia

Instituição: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Benjamin Constant, 229, Cidade Alta, CEP: 95700-346 - Bento Gonçalves - RS

E-mail: daiana-maffessoni@uergs.edu.br

#### **Marlene Guevara dos Santos**

Mestre em Engenharia

Instituição: Universidade Estadual do Rio Grande do Sul

Endereço: Rua Benjamin Constant, 229, Cidade Alta, CEP: 95700-346 - Bento Gonçalves - RS

E-mail: marlene-santos@uergs.edu.br

#### **Renata Dal Magro**

Mestre em Engenharia

Instituição: Companhia Rio Grandense de Saneamento

Endereço: Rua Benjamin Constant, 229, Cidade Alta, CEP: 95700-346 - Bento Gonçalves - RS

E-mail: renata.magro@corsan.com.br

#### **RESUMO**

O aumento da população e consequente demanda por água somado ao baixo índice de tratamento de efluentes, têm aumentado a pressão sobre os mananciais de captação de água para consumo humano. O tratamento convencional de água de abastecimento utiliza como agente oxidante e de desinfecção, o cloro. Apesar de ser o produto mais utilizado, seu uso está associado à formação de alguns subprodutos que podem ser nocivos à saúde, entre eles os trihalometanos, ácidos haloacéticos e as cloraminas. O presente trabalho avaliou o potencial do peróxido de hidrogênio ( $H_2O_2$ ), com e sem radiação ultravioleta (UV-C), como agente oxidante no tratamento de águas de abastecimento com o intuito de prevenção de formação das cloraminas e de manutenção dos níveis de cloro residual. Diferentes dosagens de  $H_2O_2$  e tempos de contato de UV-C foram testados. O tratamento utilizando apenas  $H_2O_2$  foi eficiente na redução das concentrações desses compostos já nas dosagens mais baixas, tendo aumentado sua eficiência proporcionalmente ao aumento da dosagem de peróxido, bem como, mantendo o cloro residual. A maior eficiência de redução de cloraminas foi de 91,29% na dose de 1,5 mg/L de  $H_2O_2$ . Os tratamentos associando

UV-C se mostraram menos eficientes na redução de cloraminas, sendo que, o tratamento durante 1 minuto de UV-C reduziu em 43,55% e o de 3 minutos, 18,06%, ambos na dose de 3 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. O tratamento utilizando apenas UV-C foi menos eficiente. Dessa forma, é promissor o uso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> como agente oxidante alternativo ao cloro.

**Palavras-chave:** cloraminas, peróxido de hidrogênio, ultravioleta.

## ABSTRACT

The increase in population and the consequent demand for water, together with the low rate of wastewater treatment, have increased the pressure on water sources for human consumption. Conventional water treatment uses chlorine as an oxidizing and disinfection agent. Despite being the most widely used product, its use is associated with the formation of some byproducts that can be harmful to health, including trihalomethanes, haloacetic acids, and chloramines. The present study evaluated the potential of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), with and without ultraviolet radiation (UV-C), as an oxidizing agent in the treatment of water supplies with the purpose of preventing the formation of chloramines and maintaining residual chlorine levels. Different dosages of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> and contact times of UV-C were tested. The treatment using only H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> was efficient in reducing the concentrations of these compounds already at the lowest dosages, and increased its efficiency proportionally with increasing peroxide dosage, as well as maintaining chlorine residual. The highest efficiency of chloramine reduction was 91.29% in the dose of 1.5 mg/L of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The treatments associating UV-C were less efficient in reducing chloramines; the 1-minute UV-C treatment reduced chloramines by 43.55% and the 3-minute treatment by 18.06%, both at a dose of 3 mg/L of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. The treatment using only UV-C was less efficient. Thus, the use of H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> as an alternative oxidizing agent to chlorine is promising.

**Keywords:** chloramines, hydrogen peroxide, ultravioleta.

## 1 INTRODUÇÃO

A água possui papel fundamental para o desempenho de atividades básicas do dia a dia, como a ingestão, preparo de alimentos e higiene pessoal. Segundo dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS 2019 são consumidos diariamente cerca de 153,9 litros de água por habitante, no Brasil. Encontrar mananciais de água não impactados pela poluição tem sido um desafio cada vez maior, devido ao crescimento e desenvolvimento sem planejamento das regiões.

A água para o abastecimento humano deve seguir padrões de qualidade estabelecidos pela Portaria do Ministério da Saúde nº888 de 04 de maio de 2021, sendo o manancial onde a mesma é captada de grande importância. Com a expansão não planejada e despejo de resíduos industriais, residenciais e da agricultura; muitas vezes sem tratamento, os mananciais onde ocorre a captação possuem indicadores de qualidade cada vez piores (CORADI; FIA; PEREIRA-RAMIREZ, 2009).

Segundo a Resolução CONAMA nº 357/2005, os corpos hídricos que possuem água doce, são divididos em cinco classes conforme seu grau de contaminação, que varia desde a classe especial, onde o corpo hídrico ainda apresenta suas características naturais, não podendo ocorrer nenhum despejo de esgoto, mesmo tratado, ao outro extremo, corpo hídrico enquadrado como classe 4, onde as características do mesmo apenas permitem utilizá-lo para navegação e harmonização paisagística.

O avanço da urbanização tem aumentado os desafios para a captação e o tratamento de água (SUBTIL; MIERZWA; HESPANHOL, 2008). No Brasil, o tratamento de água para abastecimento ocorre predominantemente por processo físico-químico, conhecido como método de tratamento convencional. Esse método emprega uma sequência de operações unitárias (coagulação, floculação, decantação e filtração) de separação da matéria orgânica (MO) e poluentes da água, com utilização agentes químicos a fim de acelerar a operação, finalizando com o processo de desinfecção da água por meio da adição de agente oxidante de matéria orgânica (FERREIRA FILHO, 2017).

Historicamente, o agente oxidante de desinfecção mais utilizado no tratamento de água é o cloro, em diferentes formas: gasosa ( $\text{Cl}_2$ ), como hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) ou hipoclorito de cálcio,  $\text{Ca}(\text{OCl})_2$  (MEYER, 1994; FILHO; SAKAGUTI, 2008). Alguns subprodutos da reação do cloro na água são observados, principalmente trihalometanos, compostos orgânicos de um carbono trissubstituídos de halogênios em sua fórmula. O mais facilmente detectável na água é o clorofórmio ( $\text{CHCl}_3$ ), sendo que esses compostos já revelaram preocupações da comunidade internacional, por serem potenciais causadores de doenças. Além de trihalometanos, outros subprodutos são encontrados, como as cloraminas ou cloro residual combinado, produto formado a partir da amônia, combinada com o ácido hipocloroso. As cloraminas conferem odor e sabor marcante de cloro na água e podem ser tóxicos em altas concentrações. Suas concentrações dependem da quantidade de cloro adicionada à água, teor de nitrogênio amoniacal, pH, temperatura e tempo de reação (MEYER, 1994).

Agentes oxidantes alternativos ao cloro vêm sendo utilizados com sucesso, como ozônio ( $\text{O}_3$ ), luz ultravioleta (UV), peróxido de hidrogênio ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) e reações empregando  $\text{Fe}^{+3}$ . Essas alternativas não são largamente testadas em tratamento de água para consumo humano, mas são amplamente utilizadas no tratamento de efluentes (ARAUJO *et al.*, 2014).

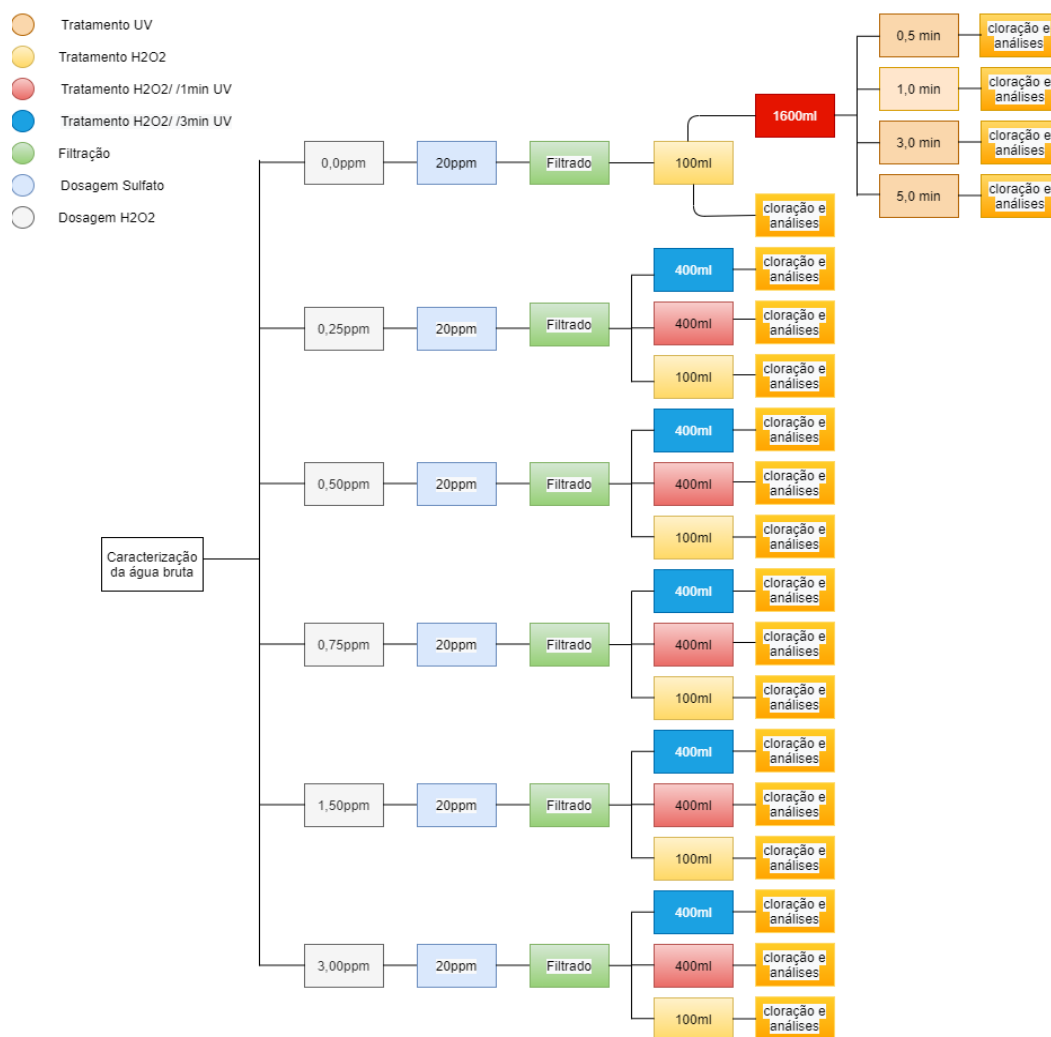
O  $\text{H}_2\text{O}_2$  é um oxidante versátil, podendo ser convertido em radicais hidroxila ( $\bullet\text{OH}$ ) através da catálise, com ou sem o uso de radiação, além disso, pode atuar como agente oxidante ou redutor em diferentes situações (RUAS, 2008).

Diante da demanda de utilização de diferentes métodos de desinfecção da água, o presente trabalho tem por objetivo analisar a possibilidade de uso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de água, com ou sem UV, como agente oxidante alternativo à cloração, para prevenir a formação de cloraminas ou cloro residual combinado.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram conduzidos em estação de tratamento de água (ETA) localizada na Serra Gaúcha, utilizando água de manancial de moderada qualidade, pois tem seu curso em área urbanizada. A Figura 1 apresenta o fluxograma dos experimentos realizados com as dosagens e volumes de cada reagente utilizado.

Figura 1 - Fluxograma dos tratamentos do experimento



Com o intuito de testar um agente oxidante alternativo ao cloro e consequente redução da geração de cloraminas, mantendo a concentração de cloro residual prevista na legislação, uma

série de testes foram realizados com a água bruta do manancial de abastecimento. As etapas de testagem compreenderam a caracterização da água bruta, dosagem de  $H_2O_2$  e de sulfato de alumínio, teste de jarros, filtração e os testes oxidativos somente com  $H_2O_2$ , somente radiação UV e a interação de  $H_2O_2$ /UV. Ao final de todos os testes foram analisados cloro livre residual, cloro total, turbidez, pH e  $H_2O_2$ .

## 2.1 ENSAIOS DE BANCADA (*Jar Test*)

Os ensaios foram realizados em *Jar Test* com 6 copos contendo 2 litros de água bruta cada. Foi adicionado aos copos 0,5ml; 1,0ml; 1,5ml; 3,0ml e 6,0 ml da solução de  $H_2O_2$  0,1% para obter os teores de 0,25mg/l; 0,50mg/l; 0,75mg/l; 1,50mg/l; 3,00mg/l respectivamente, e agitado por 2 min a 140 rpm.

Após 40 min, foi adicionado, sob agitação, 2 ml de sulfato de alumínio 2% em cada copo a fim de obter a concentração de 20 mg/l. A dosagem de sulfato utilizada foi a mesma utilizada na ETA no momento do experimento. O tempo de 40 min foi definido como o tempo de adução da água bruta proveniente do manancial até o ponto de aplicação do sulfato na ETA

A fim de simular a velocidade de mistura no floculador foram utilizados os seguintes gradientes de velocidade: mistura rápida: 140 rpm durante 1 min (adição do coagulante); 80 rpm durante 2 min; 60 rpm durante 4 min e 50 rpm durante 8 min.

Decorridos os 15 min da etapa de floculação, as amostras permaneceram em repouso por 2 horas, após esse período, foram filtradas em algodão aproximadamente 1,7 litros para proceder os ensaios de oxidação.

### 2.1.1 Testes com peróxido de hidrogênio

Alíquotas de 100 ml foram retiradas de cada um dos ensaios e transferidas para béqueres de 250 ml. Dessas alíquotas foram realizadas as análises de  $H_2O_2$ , que constituíram na retirada de algumas gotas da amostra e pingadas sobre a fita de leitura. Após as análises de  $H_2O_2$ , foram adicionados em cada copo 3 ml da solução de hipoclorito de sódio 0,1%, correspondendo a 3 mg/l. A adição de cloro foi realizada para avaliar se a reação de cloro com peróxido iria influenciar a formação de cloraminas e os teores de cloro residual. Decorridos 20 min após a adição do hipoclorito, foram realizadas as análises complementares.

### 2.1.2 Testes com $h_2o_2$ / uv-C

Duas alíquotas de 400 ml cada, foram transferidas para béqueres de 500 ml para proceder os tratamentos de  $H_2O_2$ /UV.

Para os tratamentos de UV, foi utilizado um reator composto por 2 lâmpadas UV-C de 9W, protegidas por uma cápsula de vidro. A câmara do reator tem capacidade de armazenagem de 400 ml de amostra.

Os ensaios com luz UV foram realizados em bateladas onde, as alíquotas eram depositadas no reator, o dispositivo era ligado e cronometrado os tempos de 1 min e 3 min para cada tratamento. Após decorrido o tempo do reator eram realizadas as análises de peróxido residual. Em seguida, essas amostras eram cloradas com 3 ml da solução de hipoclorito de sódio 0,1%, correspondendo a 3 mg/l e realizadas análises finais.

### 2.1.3 Testes com radiação uv-C

Quatro alíquotas de 400 ml cada, foram transferidas para os recipientes que não continham H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>. As alíquotas foram transferidas para o reator onde permaneciam no regime de batelada por 0,5 min; 1,0 min; 3,0 min e 5,0 min. Após, foram novamente transferidas para o béquer onde foram realizadas as análises de peróxido residual. Em seguida foram adicionados 3 ml da solução de hipoclorito de sódio 0,1%, correspondendo a 3 mg/l e analisados os parâmetros cloro livre residual, cloro total, pH e turbidez após 20 min de contato.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A água bruta apresentava-se com boa qualidade, estando límpida, com baixa turbidez ( $16 \pm 2,12$  NTU), cor ( $36 \pm 3,54$  mg/l Pt-Co) e matéria orgânica ( $5,3 \pm 0,14$  mg/l). O pH apresentava valores condizentes com a média histórica para aquele manancial, que se situa na faixa entre 6,8 e 7,2 e temperatura  $23 \pm 0,00$  °C.

Para todos os experimentos realizados foi avaliada a concentração residual de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, foram avaliadas as concentrações de cloro livre, cloro total, cloro combinado (cloraminas), pH e turbidez.

### 3.1 TRATAMENTO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

Os tratamentos utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> foram realizados sob cinco concentrações e comparados com a amostra sem o reagente. Os resultados estão apresentados na Tabela 1. As amostras submetidas a diferentes doses de peróxido de hidrogênio tiveram uma redução considerável nos níveis de cloraminas, conforme ocorreu o aumento de dosagem do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Tabela 1 - Resultados do tratamento com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>

Tratamento com H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>						
Dosagens (mg/l)	H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (mg/l)	Cloro livre (mg/l)	Cloro Total (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)
0,00		0,48 ± 0,10	2,03 ± 0,08	1,55 ± 0,18	7,5 ± 0,3	0,8 ± 0,3
0,25	<0,2 ± 0,00	1,17 ± 0,83	1,80 ± 0,21	0,64 ± 0,62	7,4 ± 0,1	0,5 ± 0,2
0,50	0,4 ± 0,00	1,07 ± 0,71	1,61 ± 0,02	0,54 ± 0,74	7,5 ± 0,2	0,5 ± 0,0
0,75	0,6 ± 0,00	1,23 ± 0,93	1,64 ± 0,42	0,41 ± 0,51	7,4 ± 0,2	0,5 ± 0,1
1,50	1,3 ± 0,00	1,15 ± 0,46	1,28 ± 0,34	0,14 ± 0,12	7,3 ± 0,2	0,4 ± 0,0
3,00	2,4 ± 0,00	0,79 ± 0,36	0,97 ± 0,37	0,19 ± 0,01	7,3 ± 0,2	0,4 ± 0,0

As cloraminas resultantes podem ser provenientes da presença de amônia na água que reage com o cloro aplicado (MEYER, 1994). Analisando os resultados de cloro livre e total, percebe-se que houve um expressivo aumento nos teores de cloro livre, enquanto os teores de cloro total mantiveram-se estáveis nas dosagens de 0,5 e 0,75 mg/L. Em geral, ambos diminuíram conforme havia aumento na dosagem do peróxido.

Um estudo mais detalhado sobre a dinâmica da formação desses compostos pode elucidar quais são os mecanismos de reações envolvidos na dinâmica de formação desses compostos clorados. Uma possibilidade é que o cloro esteja reagindo com o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> formando ácido, este por sua vez, irá reagir com a molécula de cloramina, promovendo sua quebra. A diminuição dos níveis de cloramina acarreta, de forma geral, aumento nos teores de cloro livre residual. Isso contribui com a manutenção dos níveis de cloro residual na rede de distribuição, tendo, como consequência, um menor consumo de cloro.

Vasconcelos, Junior e Silva (2019) obtiveram redução nos custos do pré-oxidante ao substituir o cloro gasoso pelo peróxido de hidrogênio na pré-oxidação. Perrucci, Rodrigues e Silva (2017), obtiveram êxito na remoção de trihalometanos utilizando peróxido de hidrogênio em substituição ao cloro na pré-oxidação. Estes estudos, somados ao resultado desse trabalho, comprovam a viabilidade da utilização do H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> para uso alternativo ao cloro no combate à formação de subprodutos clorados e redução nos custos.

### 3.2 TRATAMENTO COM PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO E RADIAÇÃO UV-C

O uso de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> aliado ao uso de radiação UV-C foram submetidas a dois tratamentos com diferentes tempos de exposição à radiação, 1 e 3 minutos (Tabela 2). A partir dos resultados podemos observar que, aumentado o tempo de exposição de radiação à amostra, a degradação do peróxido foi maior, porém as reduções nos teores de cloraminas são muito menores que o tratamento utilizando apenas H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, tendo inclusive aumentado nas menores dosagens de

peróxido. Esse fato pode estar associado ao aumento da concentração de radicais hidroxila provenientes da quebra do  $H_2O_2$  pela radiação UV-C. Esses radicais podem estar reagindo com os ácidos hipoclorosos e íons hipoclorito ou ainda estarem competindo entre si e formando peróxido de hidrogênio ou radicais menos reativos.

Processos utilizando a combinação de  $H_2O_2$ /UV normalmente são eficientes na oxidação de compostos orgânicos. Brito et al (2011) alcançaram redução de 97% de nitrogênio amoniacal utilizando o processo  $H_2O_2$ /UV no tratamento de chorume, porém, com dosagens mais elevadas e tempos de UV muito altos, por consequência da qualidade do líquido objeto do trabalho.

Ambos os tratamentos mantiveram os níveis de cloro livre previstos pela legislação ( $>0,2$  mg/L) e comportamentos de pH e de turbidez semelhantes.

Por apresentarem resultado inferior ao encontrado no tratamento utilizando apenas  $H_2O_2$ , esta prática parece ser inviável do ponto de vista econômico para introdução em uma unidade de tratamento de água uma vez que, está se adicionando um tratamento adicional (reator UV-C) e aumentando tempo de tratamento e os custos associados.

Tabela 2 - Tratamento utilizando peróxido de hidrogênio com adição de 1 min e 3 min de UV-C

Tratamento com $H_2O_2$ / 1min UV-C						
Dosagens (mg/l)	$H_2O_2$ (mg/l)	Cloro livre (mg/l)	Cloro Total (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)
0,00		$0,48 \pm 0,10$	$2,03 \pm 0,08$	$1,55 \pm 0,18$	$7,5 \pm 0,3$	$0,8 \pm 0,3$
0,25	$<0,2 \pm 0,00$	$0,28 \pm 0,01$	$1,98 \pm 0,22$	$1,70 \pm 0,21$	$7,3 \pm 0,0$	$0,5 \pm 0,3$
0,50	$0,5 \pm 0,07$	$0,65 \pm 0,08$	$1,77 \pm 0,08$	$1,12 \pm 0,16$	$7,3 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,0$
0,75	$0,7 \pm 0,07$	$0,44 \pm 0,19$	$1,70 \pm 0,18$	$1,26 \pm 0,01$	$7,2 \pm 0,0$	$0,5 \pm 0,1$
1,50	$1,2 \pm 0,00$	$0,27 \pm 0,13$	$1,33 \pm 0,15$	$1,06 \pm 0,02$	$7,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,1$
3,00	$2,6 \pm 0,14$	$0,35 \pm 0,01$	$1,22 \pm 0,13$	$0,88 \pm 0,12$	$7,3 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,0$
Tratamento com $H_2O_2$ / 3min UV-C						
0,00		$0,48 \pm 0,10$	$2,03 \pm 0,08$	$1,55 \pm 0,18$	$7,5 \pm 0,3$	$0,8 \pm 0,3$
0,25	$<0,2 \pm 0,00$	$0,16 \pm 0,04$	$1,81 \pm 0,01$	$1,65 \pm 0,03$	$7,2 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,2$
0,50	$0,4 \pm 0,00$	$0,30 \pm 0,13$	$1,71 \pm 0,28$	$1,41 \pm 0,40$	$7,2 \pm 0,1$	$0,5 \pm 0,0$
0,75	$0,7 \pm 0,07$	$0,30 \pm 0,06$	$1,77 \pm 0,31$	$1,48 \pm 0,37$	$7,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,0$
1,50	$1,0 \pm 0,00$	$0,23 \pm 0,03$	$1,51 \pm 0,30$	$1,28 \pm 0,28$	$7,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,0$
3,00	$2,0 \pm 0,00$	$0,28 \pm 0,11$	$1,55 \pm 0,11$	$1,27 \pm 0,23$	$7,2 \pm 0,1$	$0,4 \pm 0,0$

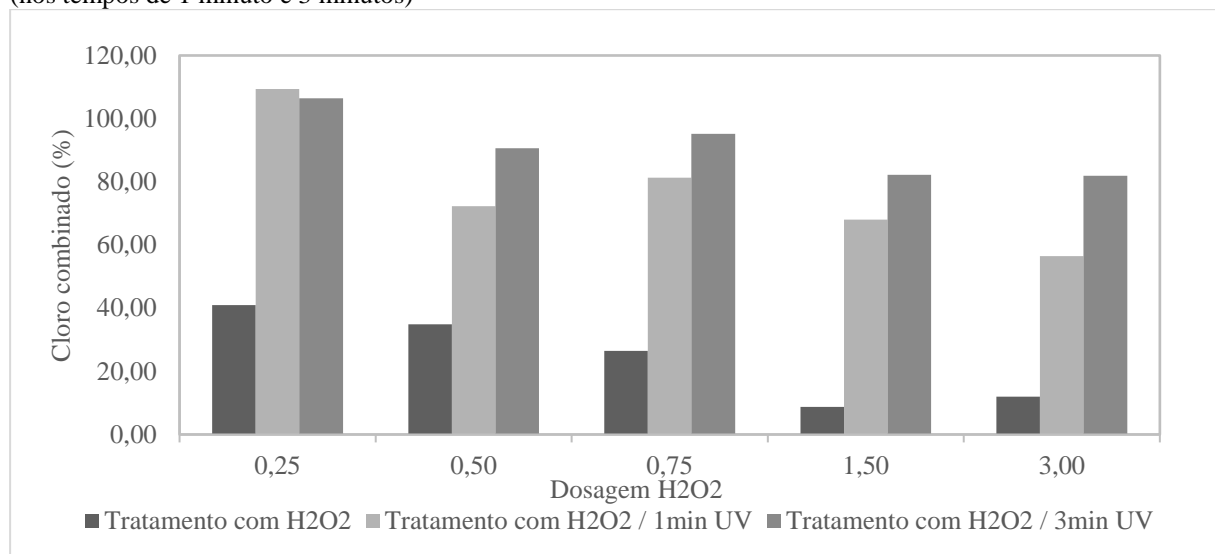
A Figura 02 mostra o gráfico do percentual de cloraminas que permaneceram após cada tratamento de  $H_2O_2$  com e sem luz UV-C. Considerando a quantidade de cloraminas na amostra controle (sem  $H_2O_2$ , nem UV-C) como sendo 100%, pode ser observado que a quantidade de cloraminas remanescentes no tratamento que utilizou somente  $H_2O_2$  foi inferior aos outros tratamentos e teve um decréscimo conforme houve aumento da dosagem de peróxido. A maior remoção de cloraminas aconteceu na dosagem de 1,5 mg/L de  $H_2O_2$  e atingiu o patamar de



91,29%. Nos tratamentos com radiação UV-C, na dosagem de 3 mg/L de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> obteve melhores resultados, removendo 43,55% de cloro combinado em 1 minuto e 18,06% em 3 minutos.

A adição de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> na etapa de coagulação/floculação pode ter levado ao maior consumo desse agente na oxidação da matéria orgânica. Testes após o processo de decantação poderiam ser realizados para avaliar uma provável redução do consumo desse oxidante. Dessa forma, estima-se que ao final do processo sobrariam menos cargas orgânicas e, conseqüentemente se formariam menos cloraminas.

Figura 02 - Comparativo de cloro combinado remanescente após os tratamentos utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> sem e com UV-C (nos tempos de 1 minuto e 3 minutos)



### 3.3 TRATAMENTO UTILIZANDO APENAS RADIAÇÃO UV-C

Utilizando apenas a luz UV-C no processo de oxidação (Tabela 3) foi observado que tempos de contato menores (0,5 e 1 minuto) tiveram um pequeno aumento nos níveis de cloro residual livre e uma maior redução no nível de cloro combinado. Esse fato pode estar associado ao poder sanitizante da UV-C que pode ter eliminado os microorganismos patogênicos, com isso, houve uma diminuição no consumo de cloro (em 0,5 minutos), que voltou a aumentar com maiores tempos de contato (3 e 5 minutos). Esse aumento no consumo de cloro com tempos de contato de UV-C maiores não ficou elucidado, uma possibilidade para que isso esteja ocorrendo é o fato da luz UV-C estar reagindo com alguma molécula não detectada que estaria competindo com o cloro livre, diminuindo sua disponibilidade.

O tratamento utilizando apenas radiação UV-C não se apresenta como uma alternativa do ponto de vista econômico pois, apresentou um percentual de redução de cloraminas muito abaixo

do encontrado utilizando-se apenas o peróxido de hidrogênio, sendo esse, uma alternativa mais barata ao uso radiação UV-C.

Tabela 3 - Tratamento utilizando apenas luz UV-C como oxidante

Dosagens (min)	Tratamento com UV-C				
	Cloro livre (mg/l)	Cloro Total (mg/l)	Cloro Combinado (mg/l)	pH	Turbidez (NTU)
0,0	0,48 ± 0,10	2,03 ± 0,08	1,55 ± 0,18	7,5 ± 0,3	0,8 ± 0,3
0,5	0,78 ± 0,35	2,07 ± 0,17	1,29 ± 0,18	7,5 ± 0,3	0,7 ± 0,0
1,0	0,75 ± 0,43	2,01 ± 0,07	1,27 ± 0,36	7,6 ± 0,2	0,6 ± 0,0
3,0	0,59 ± 0,23	1,93 ± 0,08	1,34 ± 0,14	7,5 ± 0,2	0,6 ± 0,0
5,0	0,50 ± 0,50	1,82 ± 0,37	1,33 ± 0,13	7,5 ± 0,1	0,6 ± 0,0

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o presente trabalho é possível concluir que o  $H_2O_2$  apresenta potencial para redução de formação de cloraminas, mantendo os teores de cloro livre residual dentro dos previstos na legislação vigente. O melhor resultado foi obtido quando utilizado apenas o  $H_2O_2$ , sem tratamentos adicionais de luz UV-C. A maior eficiência de redução de cloraminas foi de 91,29% na dose de 1,5 mg/L de  $H_2O_2$ .

O tratamento utilizando UV-C e  $H_2O_2$  apresentou percentual de redução de cloraminas abaixo daquele que utilizou apenas  $H_2O_2$ . O tratamento com irradiação UV-C durante 1 minuto reduziu em 43,55% e o de 3 minutos, 18,06%, ambos na dose de 3 mg/L de  $H_2O_2$ . A utilização do tratamento apenas com luz UV-C não obteve resultados satisfatórios para redução de cloraminas.

O uso de  $H_2O_2$ , apresenta-se como um processo promissor para aplicação nas ETAs que operam com mananciais impactados. Seu uso pode ser testado após o processo de decantação, o que poderia reduzir o consumo. Além da redução da formação de cloraminas, o produto é de fácil transporte e aplicação aos sistemas de tratamento existentes.

#### AGRADECIMENTOS

Os Autores gostariam de agradecer a Companhia Riograndense de Saneamento - Superintendência Regional Nordeste; a Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – Unidade Bento Gonçalves, pelo apoio recebido.

## REFERÊNCIAS

Araújo, K. S. de; Malpass, G. R. P.; Urias, P. M.; Cunha, P. C. R. da. Processos oxidativos avançados: fundamentos e aplicações no tratamento de águas residuais e efluentes industriais. In: V CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL.5, 2014, Belo Horizonte. **V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental Belo Horizonte/MG**. Belo Horizonte: Instituto Brasileiro de Estudos Ambientais, 2014. v. 1, p. 12-20.

Brasil. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 25º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2019. Brasília: SNS/MDR, 2020. 183 p.: il.

Brito, N. N. de. *et al.* Avaliação da Redução da Poluição do Chorume Tratado por Processo Fotoquímico. **Unip**, [S.I.], v. 1, n. 3, p. 20-30, 17 out. 2011.

Coradi, P.; Fia, R.; Pereira-Ramirez, O. Avaliação da qualidade da água superficial dos cursos de água do município de Pelotas-RS, Brasil. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied Science**, [S.L.], v. 4, n. 2, p. 46-56, 30 ago. 2009. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrográficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.85>.

Ferreira Filho, Sidney Seckler. **TRATAMENTO DE ÁGUA**: concepção, projeto e operação de estações de tratamento. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

FERREIRA FILHO, Sidney Seckler; SAKAGUTI, Mariane. Comportamento cinético do cloro livre em meio aquoso e formação de subprodutos da desinfecção. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, [S.L.], v. 13, n. 2, p. 198-206, jun. 2008.

Ministério da Saúde/Gabinete do Ministro. Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021

Ministério Do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. Brasília, DF.

Meyer, S. T.. O Uso de Cloro na Desinfecção de Águas, a Formação de Trihalometanos e os Riscos Potenciais à Saúde Pública. **Caderno de Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v. 10, n. 1, p. 99-110, mar. 1994. Trimestral.

Perrucci, C. J.; Rodrigues, S. G. C.; Silva, E. P. da. Aplicação de peróxido de hidrogênio em substituição ao cloro na etapa de pré-oxidação no processo de tratamento de águas de abastecimento como alternativa para a redução da formação de trihalometanos. In: congresso brasileiro da associação brasileira de engenharia sanitária ambiental, 1., 2017, S.I. **Anais [...]**. S.I: Abes/aesabesp, 2017. p. 151-158.

RUAS, D. B. Aplicação do processo oxidativo avançado H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/UV como pós-tratamento de reator anaeróbio em efluentes de indústrias de celulose kraft branqueada. São Paulo: Universidade de São Paulo, 2008.

SUBTIL, Eduardo; MIERZWA, José; HESPANHOL, Ivanildo. Avaliação do desempenho do sistema UV/H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> no tratamento de efluentes provenientes do processo de tratamento térmico de emulsões de água e óleo. **Ambiente e Agua - An Interdisciplinary Journal Of Applied**

**Science**, [S.L.], v. 4, n. 3, p. 169-180, 31 dez. 2009. Instituto de Pesquisas Ambientais em Bacias Hidrograficas (IPABHi). <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.110>.

Vasconcelos Junior, E. M. de; Silva, S. F. da. Aplicação de peróxido de hidrogênio em substituição ao cloro gasoso na etapa de pré oxidação no processo de tratamento de águas de abastecimento como alternativa para a redução de custo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 30., 2019, Natal. Anais [...]. Natal: Abes, 2019. p. 1-5.