

## TRATAMENTO DE EFLUENTE SANITÁRIO CONTENDO CIPROFLOXACINA E TRICLOSAN ATRAVÉS DE OZONIZAÇÃO.

GABRIELA CRISTINA PERUSIN FLORES<sup>1,2</sup>, KAUÊ C. L. OLIVEIRA<sup>2,3</sup>, ALUÍZIO A. PASSOS<sup>4</sup>, GEAN DELISE LEAL PAQUALI<sup>2,5</sup>

### 1 Introdução

Um problema ambiental de conhecimento geral é a presença de contaminantes farmacêuticos no efluente de esgoto sanitário, visto que apenas 30 a 70% da dose administrada é absorvida (Riaz et al., 2018). De uma forma geral os fármacos são moléculas de difícil remoção, por conta disso, os processos de tratamento convencionais não são eficazes. Por isso, processos oxidativos avançados, como a ozonização, tem se tornado alternativa para a degradação desses contaminantes.

A degradação dos compostos orgânicos pode se dar por ozônio molecular ou pela formação do radical hidroxil \*OH, esse efeito potencializa seu desempenho podendo além de degradar os compostos orgânicos desejados, ainda pode inativar microrganismos presentes no efluente a ser tratado. A ozonização baseada no radical hidroxil oferece uma boa opção, devido a sua alta reatividade (Qiu et al., 2023; Buxton et al., 1988). E oferece vantagens como condições operacionais amenas, baixo custo e ausência de poluição secundária (Qiu et al., 2023; Cao et al. 2021; Sun et al., 2020).

### 1 Objetivos

O presente projeto teve como objetivo geral avaliar o desempenho do processo de ozonização no tratamento de esgoto sanitária contendo o antibiótico ciprofloxacina e o antimicrobiano triclosan.

### 3 Metodologia

#### 3.1 Materiais

Foram utilizados os reagentes triclosan (Êxodo Científica), com pureza de 99%, e ciprofloxacina (Sigma – Aldrich) com pureza de 98%, peróxido de hidrogênio – 30 volumes

<sup>1</sup>Graduanda de Engenharia Ambiental e Sanitária- UFFS, Campus Erechim: gabriela.perusin@estudante.uffs.edu.br

<sup>2</sup>Grupo de Pesquisa em Resíduos e Geotecnia Ambiental - REGEOAMB

<sup>3</sup>Graduando de Engenharia Ambiental e Sanitária - UFFS, Campus Erechim.

<sup>4</sup>Graduando de Ciências Biológicas- UFFS, Campus Erechim.

<sup>5</sup>Doutora em Engenharia Química, UFFS- Campus Erechim, Orientadora.

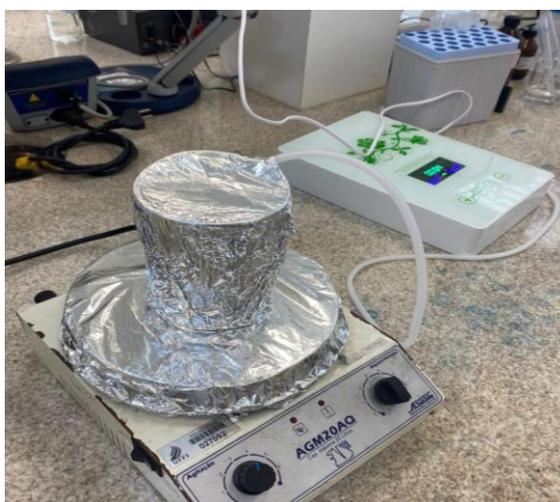
(Êxodo Científica), solução de NaOH (0,01 M), solução de HCl (1 M), gerador de ozônio de bancada, com capacidade de 600 mg h<sup>-1</sup> (Guangzhou Junjian), espectrofotômetro (KASVI-Sinergia), kit colorimétrico semiquantitativo (Merck), Analisador de TOC/TN (Shimadzu) e pHmetro (DL-PH – Del Lab).

### 3.1 Métodos

A solução contendo triclosan foi preparada pesando 0,020 g de triclosan, diluído em 20 mL de NaOH (0,01 M), e após isso foi transferido para um balão de 100 mL aferido o volume com água destilada. Já a solução contendo ciprofloxacina foi preparada pesando 0,005 g de ciprofloxacina, diluído em 2 gotas de HCl (1 M), transferido para um balão de 100 mL, e aferido o volume com água destilada. Posteriormente realizadas as diluições necessárias para a obtenção das concentrações desejadas das soluções.

Os ensaios foram realizados em batelada, onde utilizou-se um gerador de ozônio de bancada, com capacidade de gerar 600 mg h<sup>-1</sup>, o reator utilizado tinha capacidade de 400 mL. O volume final tratado foi de 250 mL, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Esquema do processo de ozonização.



(Fonte: Autora, 2025).

Para que fosse determinado o tempo e concentração de peróxido de hidrogênio (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), que teve maior remoção dos contaminantes, foi realizada o planejamento experimental, onde o tempo variou de 10 a 30 minutos e as concentrações de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> variaram de 50 a 100 mg L<sup>-1</sup>. Antes e depois do processo de ozonização, foram realizadas as leituras de pH, concentração do contaminante (método espectrofotométrico UV- vis), o H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> inicial e residual (kit colorimétrico semiquantitativo – Merck), e a análise de Carbono Orgânico Total (TOC/TN (Shimadzu)). Para

avaliar o desempenho do processo de ozonização foi utilizado o planejamento fatorial do tipo composto central  $2^2$  (Tabela 1), com 4 pontos centrais e axiais ( $\alpha=1,41$ ). Após a realização dos ensaios, os resultados foram tratados utilizando-se o software MiniTab, para a análise estatística.

Tabela 1 - Variáveis e níveis do planejamento fatorial composto central  $2^2$ .

Variáveis	Níveis		
Tempo (min)	(-1) 10	(0) 20	(+1) 30
Concentração de $H_2O_2$ ( $mg L^{-1}$ )	(-1) 50	(0) 75	(+1) 100

Foi coletado uma amostra do efluente sanitário da Estação de Tratamento da UFFS Campus Erechim, e logo em seguida foi realizado a caracterização desse efluente. As análises utilizadas de caracterização do efluente, seguiram a metodologia do Standart Methods for the examination of water and wasterwater (2012). Foram feitos os seguintes análises em triplicata: pH, turbidez, condutividade, demanda química de oxigênio, nitrogênio total, fósforo livre, coliformes totais, *E. Coli*, sólidos totais e toxicidade utilizando o microcrustáceo *Artêmia salina*.

Após isso, foi realizado os testes contendo efluente mais a solução do fármaco, o volume de efluente a ser tratado foi de 225 mL do esgoto sanitário, onde foram adicionados 25 mL das soluções dos fármacos, totalizando em 250 mL. O tempo de tratamento foi fixado em 20 minutos, com o ozonizador de bancada com capacidade de gerar  $600 mg h^{-1}$ . Foram realizados testes com a solução de triclosan mais efluente com e sem  $H_2O_2$ , da mesma forma com a solução de ciprofloxacina, e com as soluções dos dois fármacos juntos, com e sem  $H_2O_2$ .

Antes e depois do tratamento foram realizados os mesmos testes da caracterização do efluente sanitário, e também a concentração dos contaminantes triclosan e ciprofloxacina, através do método espectrofotométrico (UV-vis).

### 3 Resultados e Discussão

O resultado do planejamento mostrou que as variáveis tempo e concentração de  $H_2O_2$  não foram significativas nos níveis avaliados, porém observou-se a degradação dos contaminantes presentes nas amostras.

A Tabelas 2 apresenta os resultados obtidos, para a caracterização do efluente sanitário da ETA, ao qual foi adicionado os fármacos triclosan e ciprofloxacina, de forma isolada e conjunta, nas concentrações definidas a partir de testes preliminares.

Tabela 2 - Caracterização do efluente sanitário da ETA -UFFS – Campus Erechim.

Parâmetros	ETA
pH	6,7
Turbidez (NTU)	1,5
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	2,7
Coliformes Fecais (UC)	11500
<i>E. coli</i> (UC)	54500
Nitrogênio Total (mg L <sup>-1</sup> de N)	0,09
Sólidos Totais (mg L <sup>-1</sup> )	311,3
Toxicidade (%)	22,0

(Fonte: Autores, 2025)

Na Tabela 3 encontram-se os resultados ensaios de ozonização com o efluente de esgoto sanitário que foi contaminado com a triclosan e ou ciprofloxacina, em presença de peróxido de hidrogênio e sem.

Tabela 3 - Resultados dos ensaios realizados como o efluente de esgoto sanitário concentração inicial de Triclosan:  $\cong 12,0 \text{ mg L}^{-1}$ , concentração inicial de Ciprofloxacina:  $\cong 1,7 \text{ mg L}^{-1}$  nos ensaios individuais sem H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>; nos ensaios utilizando H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (75 mg L<sup>-1</sup>) a concentração inicial de Triclosan:  $\cong 2,5 \text{ mg L}^{-1}$ , concentração inicial de Ciprofloxacina:  $\cong 1,2 \text{ mg L}^{-1}$  em 20 min de ozonização\*\*.

Parâmetros	Triclosan	Triclosan/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Cipro	Cipro/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Triclosan/ Cipro		Triclosan/ Cipro/ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	
					Triclosan	Cipro	Triclosan	Cipro
Remoção (%)	93,0	29,0	38,0	55,0	99,9	14,0	97,0	58,0
pH final	7,2	7,2	6,8	7,8	7,1		7,9	
Remoção Turb. (%)	73,0	18,5	32,6	42,7	14,3		10,2	
Remoção DQO (%)	0	90,7	0	0	0		62,6	
Remoção NT (%)	57,9	50,0	99,9	0	0		0	
Fósforo livre (%)	17,2	0,85	25,9	30,6	0		4,4	
Remoção COT (%)	67,6	27,1	12,1	26,6	55,4		55,8	
Coli. Totais (UC)	0	0	8	7	0		0	
<i>E.coli</i> (UC)	0	0	0	60	0		0	
Toxicidade final (%)	10	13,3	90	10	30		16	

\*\*Taxa de ozonização de 200 mg por ensaio realizado.

(Fonte: Autores, 2025)

Através dos resultados apresentados na Tabela 3 foi possível observar que a triclosan apresentou maior remoção 93% se comparado a ciprofloxacina 38% sem o uso do peróxido de hidrogênio, no entanto os resultados de COT sugerem a formação de compostos intermediários. Na ozonização de compostos orgânicos, podem ser gerados ácidos carboxílicos de cadeia curta (Singh e Kaur, 2023).

O uso do peróxido de hidrogênio apresentou melhoras na remoção da ciprofloxacina, com um aumento de 26%. Já para a remoção da triclosan com H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, observou-se uma redução considerável (64%), quando utilizado em conjunto com a ozonização. Nos ensaios utilizando

os contaminantes de forma concomitante o  $\text{H}_2\text{O}_2$  não apresentou interferência na remoção da triclosan, mas acelera o processo de degradação da ciprofloxacina.

#### 4 Conclusão

Os resultados demonstram que a ozonização isolada apresenta maior eficiência na remoção do triclosan, promovendo a degradação de sua molécula em compostos intermediários, enquanto a associação de ozônio e peróxido de hidrogênio favorece a degradação da ciprofloxacina. No entanto, a detecção de carbono orgânico total (COT) ao término dos ensaios evidencia a persistência de subprodutos intermediários, independentemente da condição de tratamento adotada. Esses resultados reforçam o potencial da aplicação da ozonização, isolada ou em combinação com oxidantes auxiliares, como estratégia promissora para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis no tratamento de efluentes, contribuindo para a mitigação de riscos ambientais e para a proteção da saúde pública.

#### Referências Bibliográficas

BUXTON, G. V. *et al.* Critical Review of rate constants for reactions of hydrated electrons, hydrogen atoms and hydroxyl radicals ( $\cdot\text{OH}/\cdot\text{O}^-$  in Aqueous Solution. **Journal of Physical and Chemical Reference Data**, v. 17, n. 2, p. 513–886, abr. 1988.

CAO, H. *et al.* Different roles of Fe atoms and nanoparticles on g-C<sub>3</sub>N<sub>4</sub> in regulating the reductive activation of ozone under visible light. **Applied Catalysis B Environment and Energy**, v. 296, p. 120362–120362, 19 maio 2021.

SINGH, A.; KAUR, I. Remediation of triclosan contaminated water - A comprehensive reprint. **Journal of Water Process Engineering**, v. 55, p. 104149, 16 ago. 2023.

SUN, B. *et al.* Concentration-dependent chloride effect on radical distribution and micropollutant degradation in the sulfate radical-based AOPs. **Journal of Hazardous Materials**, v. 430, p. 128450, maio 2022.

RIAZ, L. *et al.* Fluoroquinolones (FQs) in the environment: A review on their abundance, sorption and toxicity in soil. **Chemosphere**, v. 191, p. 704–720, jan. 2018.

QIU, J. *et al.* Comprehensive effect of water matrix on catalytic ozonation of chloride contained saline wastewater. **Water Research**, v. 234, p. 119827, maio 2023.

**Palavras-chave:** efluente, fármacos, ozônio, processos oxidativos avançados.

**Nº de Registro no sistema Prisma:** PES-2024-0285

**Financiamento:** Universidade Federal da Fronteira Sul – UFFS

**Agradecimentos:**