

TRATAMENTO DE RADIAÇÃO UV-C COMO ABORDAGEM ALTERNATIVA PARA REMOÇÃO DE ANTIDEPRESSIVOS EM ÁGUA POTÁVEL

Bruna de Jesus Souza (PIBIC/CNPq/FA/UEM), Cintia Stefhany Ripke Ferreira (Coorientador), Luana Gabrielly Onishi Saito (co-autor), Izabelle Cremaschi Kasukawa Martins (co-autor), Oscar Oliveira Santos Júnior (Orientador). E-mail: oosjunior@uem.br

Universidade Estadual de Maringá, Centro de Ciências Exatas, Maringá, PR

Química/Química Analítica

Palavras-chave: Venlafaxina; contaminantes emergentes; otimização experimental.

RESUMO

A venlafaxina é um antidepressivo considerado um contaminante emergente, detectado em diferentes corpos hídricos devido a sua baixa remoção pelos tratamentos convencionais de água. Deste modo, este estudo teve como objetivo avaliar a tecnologia de radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) como alternativa complementar para a degradação do fármaco em água potável, utilizando-se condições de irradiação otimizadas. Entre os tratamentos propostos houve redução superior a 74% da concentração inicial da venlafaxina (200 ng/L). Além disso, os tratamentos UV-C atenderam aos padrões de potabilidade exigidos da Portaria nº 888 de 2021. Assim, este estudo elucidou que a radiação UV-C é capaz de remover a venlafaxina de forma eficiente sem comprometer parâmetros de qualidade da água.

INTRODUÇÃO

A depressão é a principal causa de incapacitação psiquiátrica em escala global, afetando em 2019 cerca de 280 milhões de pessoas. Para aliviar o transtorno depressivo, bem como a insônia e ansiedade, a abordagem terapêutica é feita por antidepressivos que atuam na modulação de neurotransmissores (Rossi et al., 2024).

A venlafaxina é um dos antidepressivos mais consumidos mundialmente pertencente a classe dos inibidores de recaptação de serotonina e norepinefrina com mecanismo de dupla ação. No entanto, após a administração, é excretada pelo organismo ou por vias antrópicas de forma inalterada, em metabólitos ativos ou inativos. Assim, pode ser detectada em diferentes corpos hídricos, caracterizando-a como contaminante emergente segundo dados da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco, 2024; Castillo-Zacarías et al., 2021).

De maneira complementar, Giannakis *et al.* (2017) descrevem que a presença de altas taxas de metabólitos de venlafaxina persistentes ao processo de tratamento

de águas residuais contribuem com a contaminação de diferentes corpos hídricos. Os métodos convencionais empregados nas estações de tratamento de água mostram-se ineficazes na remoção do fármaco, devido a suas características físico-químicas, sendo alta solubilidade, baixa metabolização, elevada estabilidade e estrutura química complexa. Como consequência, até em níveis vestigiais uma exposição aguda ou crônica da venlafaxina pode acarretar em danos ao ambiente gerando efeitos nocivos à biota aquática e aos seres humanos (Castillo-Zacarías et al., 2021).

Neste cenário, métodos alternativos como a radiação ultravioleta de ondas curtas (UV-C) surgem como solução potencial para a remoção da venlafaxina em água potável devido à elevada capacidade de degradação de compostos orgânicos e ação desinfetante. Outras vantagens da UV-C permeiam benefícios operacionais, como segurança no manuseio, ausência de toxicidade, fácil aplicação e baixo impacto ambiental, tornando esta alternativa atrativa para estudo. Logo, objetivou-se investigar o uso da radiação UV-C como técnica alternativa complementar aos tratamentos convencionais frente à eliminação de venlafaxina na água potável, oferecendo parâmetros otimizados por meio de um planejamento experimental. Além disso, oferece uma estratégia de processamento que delimita o erro experimental e minimiza a duração do processo e custo operacional.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para o monitoramento da degradação, amostras de água Milli-Q® foram enriquecidas com o padrão analítico de venlafaxina (pureza >99,9%). A otimização dos parâmetros da radiação UV-C (tempo e distância entre a amostra e a lâmpada UV-C) se deu por meio de um planejamento experimental composto central aliado à metodologia de superfície de resposta. Para as análises, empregou-se a cromatografia líquida de ultra-alta eficiência acoplada à espectrometria de massas sequencial (UHPLC-MS/MS) a fim de monitorar a degradação da venlafaxina. Além disso, houve a determinação dos parâmetros de caracterização de potabilidade de água segundo a Portaria nº 888 de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e ao teste de Tukey, com nível de confiança de 95%, por meio do *software* R-Studio versão 3.6.1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As condições de irradiação foram otimizadas por meio do planejamento experimental composto central, permitindo reduzir custos operacionais, minimizar erros e diminuir o número de experimentos. Além disso, os resultados obtidos refletem os desempenhos máximos e mínimos do processo de radiação UV-C.

De acordo com a Figura 1, os principais resultados do planejamento experimental são representados como Tratamentos A (16 cm e 90 min), B (16 cm 174,85 min), C (8 cm e 150 min), D (8 cm e 30 min) e E (16 cm e 5,15 min). Observou-se que o tempo e distância influenciaram na eficiência da radiação, onde os menores tempos (5,15 e 30 min) apontam redução de apenas 2,5 e 24,6% da

concentração inicial de venlafaxina (200 ng/L). Já os tratamentos A, B e C apresentam reduções de 74,0, 75,8 e 74,3%, respectivamente, não diferindo entre si ($p < 0,05$), configurando-se como as condições mais eficazes para a remoção do fármaco em água potável conforme evidenciado na Figura 1.

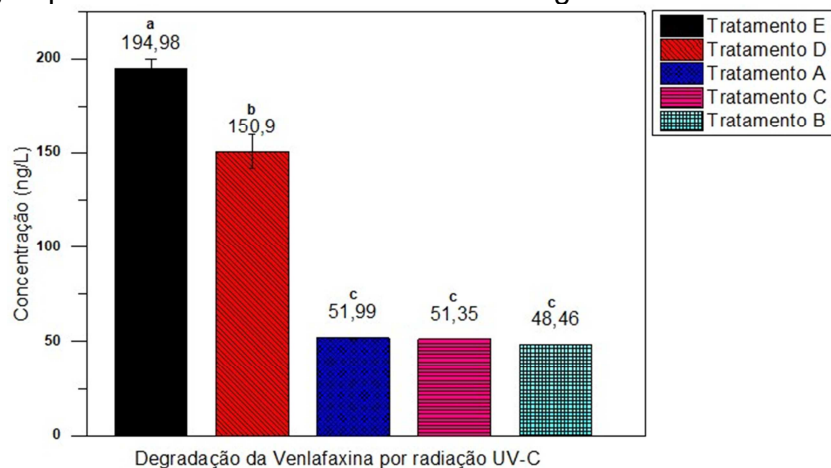


Figura 1 – Concentração residual de venlafaxina em função dos diferentes tratamentos por radiação UV-C. Resultados expressos como média. Letras diferentes sobre as colunas indicam diferença estatística entre si ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey.

A potabilidade da água avaliada por parâmetros físico-químicos, organolépticos e microbiológicos é essencial à saúde humana. Deste modo, testes laboratoriais foram conduzidos para avaliar as condições da água após processamento UV-C sob as melhores condições empregadas, conforme elucidado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise da potabilidade de água

Análises	Tratamentos			V.M.P
	A	B	C	
Turbidez (NTU)	0,10±0,00 ^a	0,10±0,00 ^a	0,10±0,00 ^a	5
pH	6,62±0,17 ^a	6,15±0,35 ^a	6,38±0,09 ^a	6,0 a 9,5
Cor (uH)	1,10±0,00 ^a	1,15±0,07 ^a	1,15±0,21 ^a	15
Condutividade (µS/cm)	3,27±0,22 ^a	3,04±0,01 ^a	3,27±0,03 ^a	-

Resultados expressos como média $\pm$ desvio padrão. Valores com letras diferentes na mesma linha são significativamente diferentes ($p < 0,05$) pelo teste de Tukey. Abreviações: V.M.P: Valor máximo permitido; NTU: unidade de turbidez nefelométrica; uH: unidade Hazen; µS/cm: microsiemens por centímetro, conforme Portaria nº 888/2021.

De acordo com a Tabela 1, a turbidez influenciada pela presença de partículas suspensas que atuam como uma barreira à passagem de luz manteve-se

em $0,10 \pm 0,01$ NTU não diferindo estatisticamente entre si ($p < 0,05$) e abaixo do limite de 5 NTU. Já, o índice de potencial hidrogeniônico (pH) que representa o grau de acidez, basicidade ou neutralidade da água permaneceu dentro do permitido, sem variação estatística relevante. Também é notável que a análise de cor aparente associada a presença de substâncias orgânicas e inorgânicas apresentou em todos os tratamentos valores inferiores a 15 uH. Para a condutividade elétrica, também influenciada por substâncias sólidas orgânicas e sais inorgânicos dissolvidos em água encontrou-se valores entre 3,04 e 3,27 $\mu\text{S}/\text{cm}$ ($p < 0,05$) aceitável ao consumo humano.

Dessa forma, os três melhores tratamentos UV-C investigados atendem os critérios de potabilidade segundo a portaria nº 888 de 4 de maio de 2021, conciliando eficiência na remoção de venlafaxina e preservação da qualidade físico-química da água. Contudo, considerando a similaridade nos resultados e a viabilidade operacional, o Tratamento A é destaque pelo menor tempo de execução (90 min), e, portanto, é a opção mais indicada para aplicações nas indústrias ao reduzir custos e tempo de processamento em comparação com os demais Tratamentos B e C.

CONCLUSÕES

Tendo em vista os argumentos apresentados através dos resultados obtidos, conclui-se que a otimização experimental do processamento de radiação UV-C evidenciou uma abordagem alternativa promissora aos tratamentos convencionais para a remoção de venlafaxina na água potável em mais de 70%. Além disso, os melhores tratamentos (A, B e C) evidenciaram que a água após a exposição da UV-C atende aos critérios estabelecidos na normativa nº 888 de 4 de maio de 2021 evidenciando conformidade com as exigências regulatórias para consumo humano.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o financiamento do CNPQ e Fundação Araucária.
Agradecemos também ao Grupo de Pesquisa APLE-A.

REFERÊNCIAS

CASTILLO-ZACARÍAS, C. *et al.* Antidepressant drugs as emerging contaminants: Occurrence in urban and non-urban waters and analytical methods for their detection. **Science of the Total Environment**, v. 757, n. 1, p. 1–16, 2021.

GIANNAKIS, S. *et al.* Solar photo-fenton and UV/H₂O₂ processes against the antidepressant Venlafaxine in urban wastewaters and human urine. Intermediates formation and biodegradability assessment. **Chemical Engineering Journal**, v. 308, n. 1, p. 492–504, 2017.

ROSSI, F. E. *et al.* Strength training has antidepressant effects in people with

depression or depressive symptoms but no other severe diseases: A systematic review with meta-analysis. **Psychiatry Research**, v. 334, n. 1, p. 1–12, 2024.

UNESCO. Emerging Pollutants in Water and Wastewater. Paris: **UNESCO**, [2024]. Disponível em:
<https://webarchive.unesco.org/20240312092039/https://uz.unesco.org/node/251862>.
Acesso em: 25 ago. 2025.