

EFICIÊNCIA DO PROCESSO DE OZONIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR MEIO DE MÉTODO FITOINDICATIVO

BRUNA LEMONS BRISOLARA¹; LUIS EDUARDO TORMA BURGUEÑO²;
MAURIZIO SILVEIRA QUADRO³; LUIZ FERNANDO SPINELLI PINTO⁴

¹Universidade Federal de Pelotas – Mestranda PPG MACSA – brunalemons.b@gmail.com

²Universidade Federal de Pelotas – Doutorando PPG MACSA – eduardo.burgueno@gmail.com

³Universidade Federal de Pelotas – Prof. Centro de Engenharias/CEng – mausq@hotmail.com

⁴Universidade Federal de Pelotas – Prof. Deptº. de Solos/FAEM – lfspin@uol.com.br

1. INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário, proveniente da degradação da matéria orgânica e percolação da chuva é o subproduto do processo de disposição de resíduos sólidos, apresenta elevada heterogeneidade, o que dificulta seu tratamento. Devido à sua origem, os lixiviados apresentam concentrações elevadas de parâmetros como Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Biológica de Oxigênio (DBO), Carbono Orgânico Dissolvido (COD), Carbono Orgânico Total (COT) e nitrogênio amoniacal (Becerra, *et al.*, 2023). Além disso, sua relação DBO/DQO (indicador de biodegradabilidade) é considerada baixa (Becerra, *et al.*, 2023).

Essas características conferem ao lixiviado um potencial significativo para causar impactos ambientais negativos no ecossistema circundante. O efluente gerado pelo aterro sanitário possui composição complexa, ocasionada pela influência da chuva e ação dos microrganismos sob resíduos de diferentes composições (KAWAHIGASHI *et al.*, 2014), contendo contaminantes inorgânicos e orgânicos, incluindo poluentes recalcitrantes, fazendo com que o seu tratamento seja um grande desafio (HOSS, *et al.*, 2022).

A utilização de tratamentos convencionais (biológicos, aeróbios e anaeróbios) para o efluente têm se mostrado ineficazes para atingir os limites de disposição estabelecidos na legislação para sua disposição final em corpos hídricos ou no solo. Em muitas situações os lixiviados são recirculados nas células do aterro, em razão de ser a alternativa mais viável economicamente, comparado a métodos mais avançados e onerosos.

Diante desta problemática, diversas formas de reduzir a toxicidade e aumentar a biodegradabilidade do efluente gerado pelos aterros sanitários têm sido testadas. Neste contexto, destaca-se o uso de Processos Oxidativos Avançados (POA), considerado como tecnologia limpa com grande eficiência na remoção de substâncias de difícil degradação, destruindo-as sem gerar subprodutos, como o lodo (SCANDELA *et al.*, 2021).

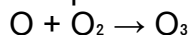
Os POA, com uso do ozônio (O₃), vêm sendo pesquisados para o tratamento de efluentes com elevado potencial de poluição, como o lixiviado de aterro sanitário, reduzindo e/ou removendo cor, odor, turbidez, entre outras características de poluição ambiental (ASSALIN; DÚRAN, 2006). Nesse processo, o O₃, gás presente na atmosfera da terra, é utilizado como uma tecnologia denominado de ozonização, devido ao seu alto potencial de oxidação e desinfecção, gerando-o por meio de descargas elétricas nas moléculas de O₂ (SANTOS, 2020).

A eficiência do processo de ozonização pode ser verificada por meio de métodos fitoindicativos, utilizando-se sementes para avaliar a redução da toxicidade do efluente. Nesta perspectiva, o objetivo deste trabalho foi avaliar a toxicidade do lixiviado de aterro sanitário, tratado com O_3 em sementes de capim-sudão (*Sorghum sudanense*), utilizando 6 doses distintas de O_3 .

2. METODOLOGIA

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Análises de Águas e Efluentes, do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas (CEng/UFPel). O lixiviado é proveniente do Aterro Sanitário Metade Sul, localizado em Candiota/RS, sob responsabilidade da empresa Meioeste Ambiental.

O O_3 foi produzido por meio do processo de descarga elétrica de corona, em um ozonizador marca Panozon, com uma produção de $2,7 \text{ mg } O_3 \cdot \text{min}^{-1}$. Esse método envolve a separação de átomos de oxigênio, através de uma corrente elétrica de alta voltagem e posteriormente a recombinação de átomos para formar a molécula de O_3 . O processo pode ser representado da seguinte forma:



Através do processo supracitado, volumes de 250 ml de lixiviado foram submetidos a seis tratamentos com diferentes doses de O_3 , correspondentes aos tempos de exposição: 1, 2, 3, 4, 5 e 8 horas. Posteriormente, os lixiviados tratados com O_3 foram submetidos a um teste de fitotoxicidade para avaliar a ação tóxica do efluente na germinação e desenvolvimento de sementes. Os ensaios contaram com oito tratamentos (seis com lixiviados tratados com O_3 , um com lixiviado bruto e um controle, com aplicação de água destilada), realizados em triplicatas.

Para o teste de fitotoxicidade foi utilizado sementes de *S. sudanense*, gramínea usada na recuperação da área degradada da mineração de carvão da Companhia Riograndense de Mineração (CRM), localizada ao lado do Aterro Sanitário Metade Sul.

Conforme as orientações estabelecidas na Regras de Análise para Sementes (MAPA, 2009), as sementes de *S. sudanense* passaram, primeiramente pelo processo pré-esfriamento a 10°C por cinco dias para quebra de dormência e, posteriormente, foram incubadas por 10 dias, para germinação, sob temperatura de 25°C . Para cada tratamento, 30 sementes foram dispostas em placas de petri, entre papel filtro, com 2,5 ml dos lixiviados ozonizados, bruto, e controle.

Após o período de incubação, foi registrado o número de sementes germinadas e o comprimento das raízes com o auxílio de um paquímetro digital. As variáveis sementes germinadas (G) e comprimento das raízes (Lm) foram utilizadas no cálculo do Índice de Germinação (IG) para avaliar o desempenho das plantas em cada tratamento com relação à amostra controle (Lc). O Índice de Germinação foi determinado usando a fórmula estabelecida por Zucconi et al. (1981):

$$IG = G (Lm/Lc).$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do ensaio de fitotoxicidade, foram obtido o IG (%) da semente de *S. sudanense* germinadas em cada tratamento conforme resultados apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1: Índice de Germinação (%) para sementes de *Sorghum sudanense*.

	Controle	Bruto	1h/O ₃	2h/O ₃	3h/O ₃	4h/O ₃	5h/O ₃	8 h/O ₃
Germinadas	27	27	26	24	23	25	24	21
Comprimento médio das raízes (mm)	103,3	61,5	61,5	73,1	54,2	76,7	72,3	88,1
Índice de Germinação (%)	100	59,49	57,37	62,92	44,71	68,75	62,25	66,29

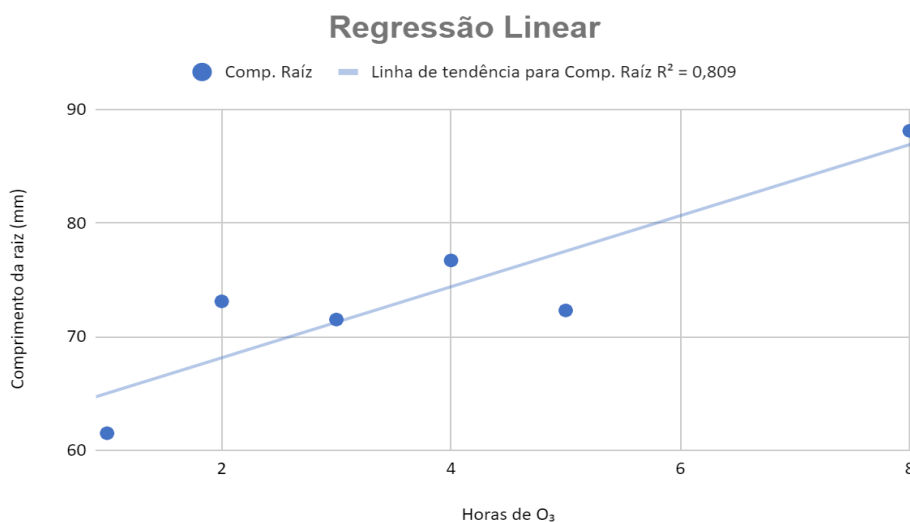
Fonte: Autores, 2023.

O aumento do IG (%) apresenta a redução de substâncias fitotóxicas indicando o grau de maturação do lixiviado, onde as substâncias orgânicas devem estar estáveis e enriquecidas de elementos húmicos e nutrientes (EL FELLS et al. 2016). Contudo, apesar da redução de elementos fitotóxicos do lixiviado, não foi possível atingir o limite recomendado pela *California Compost Quality Council*, no qual deve ser acima 80% para ser considerado um composto maduro (CCQC, 2001).

Por meio do teste Dunnett ($\alpha=0,05$), foram comparados os comprimentos das raízes das plântulas de cada tratamento. As raízes dos tratamentos sob 2, 4 e 8 horas de ozonização, não apresentam diferença significativa em relação a amostra de controle. Porém as amostras de lixiviado tratados com O₃ sob 2 e 4 horas apresentaram um comprimento radicular inferior a amostra de 8 h/O₃. Apesar disso o tratamento de 8h/O₃ apresentou germinação de 70% (21 sementes germinadas), enquanto o de 2h germinaram 80% (24 sementes germinadas) das sementes e o de 4h/O₃ uma germinação acima de 83% (25 sementes germinadas).

Através da Regressão Linear verificou-se o aumento da parte radicular das plântulas conforme o período de tempo em que o efluente é submetido ao tratamento com O₃. Este método estatístico apresentou que, a medida que as horas de tratamento com O₃ aumentam, a raiz cresce em torno de 3,12 mm.

Gráfico 1: Regressão linear comprimento de raiz vs. horas de O₃.



Fonte: Autores, 2023.

4. CONCLUSÕES

Através do presente trabalho, é possível perceber a eficiência do tratamento do lixiviado de aterro sanitário utilizando o processo de ozonização. Contudo, apesar do crescimento radicular e a significativa redução de toxicidade, sugere-se o aumento de tempo do efluente sob o processo de ozonização ou então da taxa de O₃ por minuto, como também o uso do ozônio em conjunto outro processo para tratamento do efluente supracitado.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSALIN, M. R. DURÁN, N. Novas tendências para aplicação de ozônio no tratamento de resíduos: ozonização catalítica. *Analytica*, São Paulo, n.26, p.76-86, 2007.

CCQC - California Compost Quality Council, 2001. Compost Maturity Index, Technical Report. California.

EL FELS, L.; HAFIDI, M.; OUHDOUCH, Y. *Artemia salina* as a new index for assessment of acute cytotoxicity during co-composting of sewage sludge and lignocellulose waste. *Waste Management*, v. 50, p. 194 - 200. 2016.

HOSS, L. *et al.* Evaluation of the phytotoxicity of landfill leachate treated with a Rotating Biological Reactor. *Engenharia Sanitária e Ambiental* 27(1):47-53, 2022.

KAWAHIGASHI, F. *et al.* Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. *Engenharia sanitária e ambiental*, v. 19, n. 3, p. 235-244, 2014.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Regras para Análise de Sementes. Brasília, 2009.

MORENO, D. B. *et al.* Una Revisión Sobre El Tratamiento Para Lixiviados De Rellenos Sanitarios Mediante El Acople De Procesos Avanzados De Oxidación Y Biológicos. *Ingeniería Y Competividad* 25.4 (2023): *Ingeniería Y Competividad*, 2023, Vol.25 (4).

SANTOS, N. Uso de ozônio no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. 2020. Dissertação — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas.

SCANDELA, A.P. Ozonation as a landfill leachate treatment: a review. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, Curitiba, v.4, n.3, p. 3404-3417 jul./set. 2021.

ZUCCONI, F. *et al.* Biological evaluation of compost maturity. *Biocycle*, 1981.