

TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO POR COMBINAÇÃO INTEGRADA DE PROCESSOS DE ELETRO-OXIDAÇÃO E SISTEMA BIOLÓGICO AERÓBIO

RENATA WELTER MARTINS ¹, RAÍSSA ENGROFF GUIMARÃES ², FERNANDO
HENRIQUE BORBA ³

1 INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários (AS) apresentam-se como uma das alternativas mais utilizadas de destinação final dos resíduos sólidos urbanos (KEYIKOGLU, R. *et al*, 2021). No entanto, através da decomposição dos resíduos ocorre a geração de uma água residuária, conhecida como lixiviado de aterros sanitário (LAS), a qual possui composição extremamente variada e a concentração de poluentes presentes na mesma depende da composição e da idade do AS (KULIKOWSKA, D.; KLIMIUK, E., 2008). Devido suas características, o lançamento do LAS em corpos d'água e no solo pode causar a contaminação dos mesmos. Nesse sentido, diversos estudos são realizados para o desenvolvimento de tecnologias de tratamento do LAS, visando a redução ou eliminação dos efeitos tóxicos para sua subsequente descarga no solo ou em águas superficiais (COLOMBO, A. *et al*, 2019; LUO, H. *et al*, 2020).

2 OBJETIVOS

Identificar os principais contaminantes químicos emergentes (CQE) presentes no LAS, assim como, apresentar um sistema integrado de tratamento via processos de Eletro-Oxidação e um sistema Biológico Aeróbio eficiente na degradação e mineralização dos CQE, reduzindo os efeitos tóxicos deste efluente após o processo.

3 METODOLOGIA

O tratamento de LAS foi realizado através um sistema em escala laboratorial com aplicação de um pré-tratamento utilizando um processo Fenton assistido por foto e eletro degradação (FEF) e integrando posteriormente ao processo de oxidação biológica (OB). As condições operacionais previamente otimizadas foram concentração de H₂O₂ de 300 mg L⁻¹, vazão de 0,6 L min⁻¹,

¹ Graduanda do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Cerro Largo*, contato: welter_martins@hotmail.com.

² Graduada do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Cerro Largo*.

³ Professor Doutor do Programa de Pós-graduação em Ambiente e Tecnologias Sustentáveis, Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus Cerro Largo*.

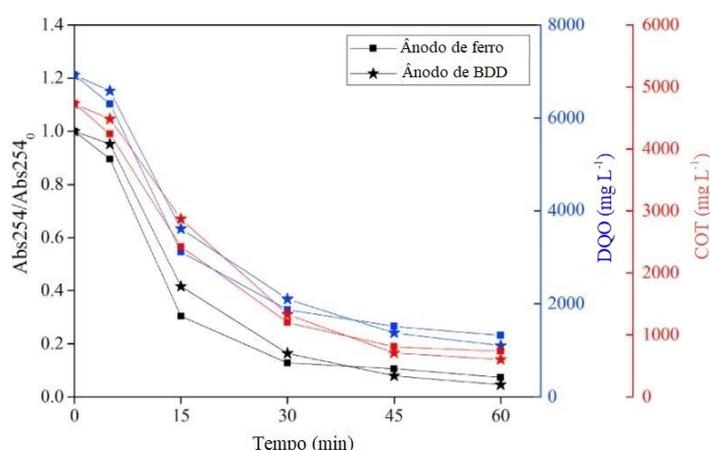
intensidade de corrente de 0,9 A e pH 4,5. Os compostos aromáticos foram determinados por espectrofotometria em 455 nm, o Carbono Orgânico Total (COT) foi determinado por analisador (Shimadzu, TOC-L série) e a DQO foi determinada pelo método colorimétrico de refluxo fechado (APHA, 2005).

A identificação de compostos presente no LAS foi realizada por cromatografia gasosa acoplada à espectrometria de massas (CG-EM) (GCMS_QP2010, SHIMADZU, Japão). Onde, o método de extração consiste em 3 x 20 mL de CH₂Cl₂ em 40 mL das amostras. Posteriormente a camada orgânica é seca por MgSO₄ anidro e concentrada por evaporação rotativa (Hei-VAP Precision, HEIDOLPH) a 40 °C. Os parâmetros do método de análise foram aplicados conforme descrito por SEIBERT, *et al*, 2019. Os testes de fitotoxicidade seguiram a metodologia desenvolvida por SOBRERO e RONCO (2004), realizando a exposição das sementes de *Lactuca sativa* nas amostras do efluente bruto e tratado em diferentes concentrações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da caracterização físico-química do LAS pode-se avaliar as remoções de alguns parâmetros, como Abs 254 nm, DQO e COT, as quais foram avaliadas para os ânodos de ferro e ânodos de diamante dopado com boro (BDD), através das melhores condições experimentais atingidas no processo FEF (Figura 1).

Figura 1. Remoções de Abs 254 nm (curvas em preto), de DQO (curvas em azul) e COT (curvas em vermelho) pelo processo FEF sob as condições operacionais de pH 4,5, 300 mg H₂O₂ L⁻¹, Q = 0,6 L min⁻¹ e I = 0,9 A.



Fonte: Autora, (2021).

Conforme mostrado na Figura 1, uma redução significativa de Abs 254 nm foi observada para ambos os ânodos testados e as reduções de DQO e COT sugerem uma degradação e mineralização da carga orgânica presente no LAS. Ainda, uma maior taxa de remoção dos

parâmetros estudados foi observada nos primeiros 30 min do processo de FEF. Comparando os dois tipos de ânodos, verificou-se que o ânodo de ferro apresentou maior eficiência do que o ânodo BDD na remoção de Abs 254 nm, DQO e COT até 30 min de processo. Após 30 min de processo, os ânodos BDD apresentaram maior eficiência na remoção de Abs 254 nm, DQO e COT, sugere-se que isso esteja relacionado às grandes quantidades de $\bullet\text{OH}$ que este tipo de ânodo fornece ao processo (Panizza e Cerisola, 2005).

Nos ensaios de fitotoxicidade, em relação à germinação de *Lactuca sativa*, observou-se que todas as amostras de LAS, bruta e tratadas, inibiram totalmente a germinação para a concentração de 100% (sem diluição). Já nas diluições, verificou-se menores percentuais de inibição de germinação em geral no tempo de tratamento de 15 min (Tabela 1).

Tabela 1. Índice de germinação para o tempo de tratamento de 15 minutos.

Amostras	Germinação (%)
LAS FEF-OB (BDD) Diluição: 1%	100
LAS FEF-OB (BDD) Diluição: 3%	78
LAS FEF-OB (BDD) Diluição: 10%	60
LAS FEF-OB (BDD) Diluição: 30%	42
LAS FEF-OB (BDD) Diluição: 100%	0

Fonte: Autora, (2021).

De maneira similar, índices de inibição de crescimento de raízes e hipocótilos também apontaram para um efluente menos tóxico após 15 minutos de tratamento, com inibições menores que 10% na diluição de 1%, aumentando a inibição gradativamente com a diminuição da diluição. Os resultados de fitotoxicidade indicaram um tempo de tratamento de 15 minutos como sendo o mais adequado para o processo FEF nas condições propostas, e o aumento da toxicidade em tempos maiores de tratamento pode estar associado a formação de subprodutos tóxicos detectados pela análise por CG-EM.

Posteriormente, com as condições otimizadas, as avaliações foram realizadas integrando FEF-OB e OB-FEF. Quando o LAS pré-tratado com FEF foi aplicado a OB (integração FEF-OB), um aumento da densidade óptica e do consumo de oxigênio foi observado. Além disso, essa estratégia de tratamento promoveu reduções de 77,9%, 71,5% e 76,3% da DQO, COT e Abs 254 nm, respectivamente, enquanto que no processo de integração OB-FEF as remoções foram insignificantes. Em seguida, novos testes de fitotoxicidade foram realizados e seguiram a mesma tendência de remoção de DQO e COT, mostrando uma maior eficiência na redução dos efeitos tóxicos pela aplicação de FEF-OB em comparação com o sistema usando a ordem inversa dos

processos (OB-FEF). Pode-se sugerir que isso está relacionado à maior degradação da carga orgânica de LAS que essa configuração promoveu, que inclui a degradação e mineralização de compostos tóxicos. Dessa forma, a integração do tratamento de 15 minutos pelo processo de FEF baseado em BDD, seguido de OB de 72 horas (FEF-OB) foi considerada a mais adequada para o tratamento de LAS.

Uma investigação dos subprodutos formados nos métodos de tratamento combinados de FEF e OB também foi realizada e comparada com uma amostra do efluente bruto. Na amostra bruta foram detectados alguns possíveis compostos provenientes do LAS, dentre estes compostos, cinco são listados pela EPA como potenciais desreguladores endócrinos (USEPA, 2012), incluindo o contaminante emergente Bisfenol-A (BPA), o éter dietílico de dietilenoglicol, DIOP, DEET e o ácido 2,6-dimetoxibenzóico. Entretanto, os processos de oxidação avançados são conhecidos por serem capazes de transformar compostos recalcitrantes em compostos orgânicos de baixo peso molecular que podem ter seu índice de biodegradabilidade aumentado (Mandal et al., 2017).

Assim, o pré-tratamento com FEF apresentou um aumento da biodegradabilidade e reduziu a toxicidade do LAS através da redução desses contaminantes nas amostras tratadas tornando-o mais adequado para OB. Nesse sentido, a estratégia de integração OB-FEF foi menos eficiente na remoção de compostos orgânicos e toxicidade. Visto que, nessa estratégia de integração, as culturas microbianas possivelmente atuaram como sequestradores de $\bullet\text{OH}$, diminuindo o potencial oxidativo do processo de FEF.

5 CONCLUSÃO

Um sistema FEF baseado em BDD integrado a um processo de biológico aeróbio foi proposto e investigado. Assim, o melhor sistema de integração foi obtido com um pré-tratamento de FEF de 15 min usando $300 \text{ mg H}_2\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$, intensidade de corrente de 0,9 A e taxa de fluxo do sistema de $0,6 \text{ L min}^{-1}$, seguido por um processo de OB. A análise de CG-EM indicou a degradação de vários compostos potencialmente perigosos presentes no LAS bruto pela estratégia de tratamento FEF-OB. Assim, a integração do processo de FEF baseado em BDD com OB apresenta-se como uma alternativa relevante, proporcionando eficiência ao tratamento de LAS, visando minimizar os efeitos tóxicos desse efluente no meio ambiente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22. ed. Washington. DC, 2005.

COLOMBO, A. *et al.* Treatment of sanitary landfill leachate by the combination of photo-Fenton and biological processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 214, p. 145–153, mar. 2019.

KEYIKOGLU, R. *et al.* A review on treatment of membrane concentrates generated from landfill leachate treatment processes. **Separation and Purification Technology**, v. 259, p. 118182, mar. 2021.

KULIKOWSKA, D.; KLIMIUK, E. The effect of landfill age on municipal leachate composition. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 13, p. 5981–5985, set. 2008.

LUO, H. *et al.* Recent advances in municipal landfill leachate: A review focusing on its characteristics, treatment, and toxicity assessment. **Science of The Total Environment**, v. 703, p. 135468, fev. 2020.

MANDAL, Pubali; DUBEY, Brajesh K.; GUPTA, Ashok K. Review on landfill leachate treatment by electrochemical oxidation: Drawbacks, challenges and future scope. **Waste Management**, [s. l.], v. 69, p. 250–273, 2017.

PANIZZA, M.; CERISOLA, G. Electrochemical Degradation of Methyl Red Using BDD and PbO₂ Anodes. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 47, n. 18, p. 6816–6820, 17 set. 2008.

SEIBERT, D. *et al.* Two-stage integrated system photo-electro-Fenton and biological oxidation process assessment of sanitary landfill leachate treatment: An intermediate products study. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 372, p. 471–482, 2019.

SOBRERO, C.; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda com semillas de lechuga. In: Morales, G.C. **Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas: Estandarización, intercalibración, resultados y aplicaciones**, IMTA, p.72-79., 2004.

USEPA. **Endocrine Disruptor Screening Program**. Universe of Chemicals for Potential Endocrine Disruptor Screening and Testing. 2012.

Palavras-chave: Lixiviado de aterro sanitário; contaminantes emergentes; sistema integrado de tratamento.

Nº de Registro no sistema Prisma: PES 2020-0472

Financiamento: Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS