

COMPOSTOS MINERAIS E ORGÂNICOS DE LIXIVIADOS DE CÉLULAS EXPERIMENTAIS DE ATERRO COM INFILTRAÇÃO DE CONCENTRADO DE OSMOSE INVERSA

**Ronei de Almeida^{1, x}, Raphael Ferreira Porto¹, Marco André Giovannini Hinojosa²,
Bianca Ramalho Quintaes², Daniele Maia Bila³, & Juacyara Carbonelli Campos¹**

**(¹Universidade Federal do Rio de Janeiro, Av. Athos da Silveira Ramos 149, Cidade
Universitária – Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 21841-909, Brasil; ²Centro de
Pesquisas Aplicadas da Comlurb, Rua Américo de Souza Braga 647, Vargem Pequena –
Rio de Janeiro, RJ, CEP: 22783-385, Brasil; ³Universidade do Estado do Rio de Janeiro,
Rua São Francisco Xavier 524, Maracanã, Rio de Janeiro, RJ, CEP: 20550-900, Brasil.**

^xAutor de correspondência: ronei@eq.ufrj.br)

INTRODUÇÃO

O lixiviado – efluente líquido proveniente da decomposição de substâncias contidas nos resíduos sólidos e infiltração de águas pluviais – é uma matriz aquosa potencialmente poluidora e de extrema complexidade. Diversos processos podem ser empregados para gerenciamento de lixiviados de aterros (e.g., biológicos e físico-químicos). Contudo, não há uma tecnologia de aplicabilidade geral, ou seja, capaz de atuar isoladamente no tratamento do lixiviado (De Almeida & Campos, 2020).

Nos últimos anos, os processos de filtração com membranas, principalmente nanofiltração e osmose inversa, emergiram como tecnologias mais promissora para tratamento do lixiviado, seja como etapa complementar ou única (de Almeida et al., 2020a; de Almeida et al., 2020b). Entretanto, um dos principais desafios desses processos é o gerenciamento do concentrado – corrente líquida formada pela parcela de contaminantes retido pela membrana – gerado durante a filtração. No que diz respeito à destinação do concentrado gerado no tratamento do lixiviado de aterro, a infiltração nas células de disposição de resíduos é, atualmente, a prática mais difundida, devido a questões econômicas e operacionais (Calabrò et al., 2018; Calabrò et al., 2010).

Todavia, o conhecimento sobre os possíveis impactos ambientais e econômicos que a infiltração do concentrado pode provocar no longo prazo é escasso. Além disso, os poucos estudos disponibilizados na literatura foram inconclusivos no que se refere à sustentabilidade dessa prática. Nesse sentido, estudos que elucidem o comportamento e a adequabilidade da infiltração do concentrado no corpo do aterro são necessários. Dentro desse contexto, o presente estudo tem como objetivo responder a seguinte questão: **“Existe diferença entre a concentração de compostos minerais e orgânicos nos lixiviados de aterros que operam com e sem infiltração do concentrado de osmose inversa?”**

MATERIAL E MÉTODOS

As células experimentais de resíduos domiciliares (RDOs) foram instaladas no Laboratório de Educação Ambiental do Centro de Pesquisas Aplicadas da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (Comlurb) do município do Rio de Janeiro (22°59'07.5"S 43°27'11.2"W). Foram montadas seis células experimentais de RDOs. Três células foram utilizadas como células controle (C₀ – grupo controle) e as demais, foram utilizadas para infiltração do concentrado (C_i – grupo infiltração).

Cada célula experimental foi preenchida com cerca de 0,12 t de RDO cada, correspondendo a uma massa específica de 0,60 t/m³. Os resíduos foram compactados e cobertos com uma camada de solo de espessura de aproximadamente 0,014 m. A infiltração do concentrado nas células foi realizada semanalmente, a uma taxa de 0,090 m³/semana, resultado de um balanço de massa baseado na operação de um aterro sanitário de grande porte localizado no Estado do Rio de Janeiro, onde o processo de infiltração é realizado. O concentrado infiltrado nas células experimentais foi proveniente desse aterro estudo de caso. Desse modo, a operação das células experimentais de RDO reproduziu a operação de um aterro de grande porte. O monitoramento foi realizado durante 110 dias.

A caracterização dos lixiviados gerados pelas células experimentais foi realizada com base em parâmetros de poluição de efluentes líquidos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, publicado pela *American Public Health Association* (APHA), pela *American Water Works Association* (AWWA) e pela *Water Environment Federation* (WEF) (2012), a saber: potencial hidrogeniônico (pH) (Método 4500-H⁺), condutividade (Método 2510-B) e absorvância a 254 nm (UV₂₅₄) (Método 5910-B) (APHA, 2012). A UV₂₅₄ foi mensurada utilizando-se espectrofotômetro *Shimadzu UVmini-1240* após filtração da amostra em membrana de PVDF. As medidas de condutividade foram determinadas através de condutivímetro *MS Tecnopon mCA 150*. O parâmetro condutividade está relacionado a presença de íons livres em solução (e.g., Cl⁻ e SO₄⁻²), enquanto que o parâmetro UV₂₅₄ relaciona-se a presença de substâncias orgânicas aromáticas que absorvem radiação na região do ultravioleta (Šír et al., 2012; Talalaj, 2015). Portanto, esses dois parâmetros foram selecionados para avaliação comparativa do teor de substâncias inorgânicas e orgânicas dos lixiviados, respectivamente. Todas as análises físico-químicas foram realizadas em triplicata.

Análises estatísticas foram realizadas para verificar as diferenças entre os valores médios dos parâmetros físico-químicos dos lixiviados gerados pelas células do grupo controle e do grupo infiltração no período monitorado. Inicialmente, verificou-se a normalidade dos dados por meio do teste de Shapiro-Wilk. Os dados referentes ao parâmetro UV₂₅₄ e pH apresentaram distribuição normal, por isso, o teste t de Student (paramétrico) foi empregado para avaliação de diferença estatística entre os lixiviados gerados nos dois grupos de células de RDOs. O parâmetro condutividade apresentou distribuição não normal, nesse caso, utilizou-se o teste U de Mann-Whitney (não paramétrico) para análise dos dados. Ambos os testes foram empregados adotando-se nível de significância de 5% ($\alpha=0,05$). Todas as análises estatísticas foram realizadas utilizando o programa *STATISTICA 10* (licenciado pela *Stat Soft*).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os valores de pH dos lixiviados dos grupos C₀ e C_i, observa-se que ambos os grupos se encontram na fase acidogênica de degradação da matéria orgânica. Esse resultado mostra que as células, as quais simulam a operação de um aterro em escala plena, são análogas a um aterro jovem. Dessa forma, infere-se que o período de monitoramento de 110 dias representa a operação no curto prazo de um aterro com infiltração do concentrado. Os valores médios de pH durante o período de monitoramento foram 5,33 (C₀) e 4,66 (C_i). A avaliação estatística indicou diferença significativa entre os valores médios de pH das células dos dois grupos (p-valor = 0,0010). Portanto, tem-se que no curto prazo, a infiltração do concentrado leva ao aumento da acidez do lixiviado gerado.

Diferença estatística significativa entre os valores médios de UV_{254} das células C_0 e C_i também foi observada (p -valor = 0,0396). O valor médio durante o período monitorado foi de $34,75 \text{ cm}^{-1}$ (C_0) e $55,86 \text{ cm}^{-1}$ (C_i). Em contrapartida, não houve diferença estatística significativa em relação ao parâmetro condutividade (p -valor = 0,1563) entre os dois grupos de células. Os valores mín—máx para esse parâmetro nos dois cenários durante o período monitorado foi de $14,14\text{—}35,02 \text{ mS cm}^{-1}$ (C_0) e $15,25\text{—}23,74 \text{ mS cm}^{-1}$ (C_i).

A **Figura 2** apresenta os valores médios dos parâmetros físico-químicos dos dois grupos de células durante o período monitorado de 110 dias.

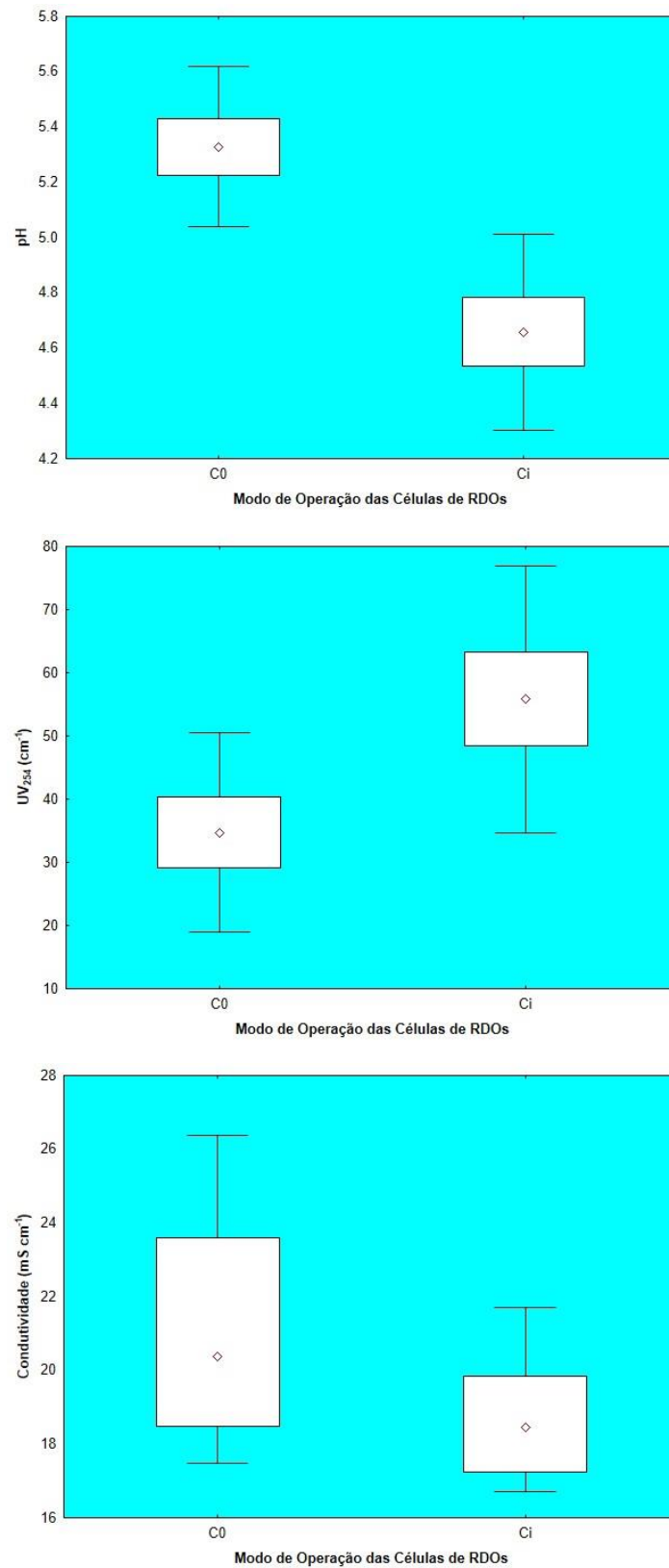


Figura 2. Valores médios dos parâmetros físico-químicos dos grupos de células C₀ e C₁ durante o período de monitoramento de 110 dias.

Pode-se inferir que a infiltração do concentrado de membrana com elevada concentração de matéria orgânica, reportando como demanda química de oxigênio ($11,73 \text{ g O}_2 \text{ L}^{-1}$), contribuiu para formação de lixiviados com maior concentração de compostos orgânicos aromáticos ($55,86 \text{ vs. } 34,75 \text{ cm}^{-1}$). Liu et al. (2021) investigou a composição da matéria orgânica dissolvida (MOD) de amostras de lixiviados de aterros jovens e estabilizados, identificando que a MOD de lixiviados estabilizados apresentam estruturas mais complexas em função do elevado grau de humificação, decorrente de uma série de reações bioquímicas que ocorrem no longo prazo (e.g., descarboxilação, aromatização e eletrociclicização). No presente estudo, embora os lixiviados sejam provenientes de células com a mesma idade, a infiltração do concentrado possivelmente favoreceu a interação entre os compostos orgânicos dos RDOs e a MOD presente no concentrado, levando a formação de lixiviados com maior valor de UV_{254} . Cabe ainda destacar o elevado valor de UV_{254} do próprio concentrado ($67,20 \text{ cm}^{-1}$).

CONCLUSÃO

Com base no trabalho realizado, conclui-se que:

- 1) Houve diferença significativa entre os valores médios de pH e UV_{254} dos lixiviados das células de RDOs durante o período monitorado de 110 dias (p-valor $< 0,05$). A infiltração do concentrado levou a formação de lixiviados com maior potencial poluidor, isto é, menor pH e maior teor de compostos orgânicos.
- 2) Não houve diferença significativa em relação ao parâmetro condutividade, sinalizando que no curto prazo não há diferença entre as concentrações de compostos minerais dos lixiviados provenientes de aterros que operam com infiltração de concentrado de osmose inversa (p-valor $> 0,05$). Entretanto, destaca-se que esse resultado deve ser analisado com cautela, sendo necessário um maior período de monitoramento, bem como avaliação do processo de tratamento do lixiviado, a fim de avaliar possíveis impactos negativos nessa operação.
- 3) O tratamento dos lixiviados gerado pelas células experimentais de RDOs nos dois modos de operação e a extensão do período de monitoramento com a inclusão de outros parâmetros físico-químicos e bioensaios para avaliação de ecotoxicidade são tópicos que devem ser explorados em pesquisas futuras.
- 4) A avaliação das propriedades químicas e estruturais da MOD de lixiviados de aterros que operam com infiltração de concentrado através de análises espectroscópicas é uma área que merece atenção em estudos futuros.

AGRADECIMENTOS

A COMLURB pelo fornecimento das amostras de concentrado e pelo suporte técnico na montagem e monitoramento das células, em especial aos colaboradores André, Anderson, Rafael, Jonas, Ronaldo e Vitória. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (processos E-26/201.982/2019, E-26/200.065/2020 e 202.923/2018) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 165018/2018-6) pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA), WATER ENVIRONMENT FEDERATION (WEF). (2012). *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 22nd ed. Washington, DC: American Public Health Association.
- Calabrò, P.S., Gentili, E., Meoni, C., Orsi, S., & Komilis, D. (2018). Effect of the recirculation of a reverse osmosis concentrate on leachate generation: A case study in an Italian landfill. *Waste Management*, 76, 643–651. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.007>
- Calabrò, Paolo S., Sbaffoni, S., Orsi, S., Gentili, E., & Meoni, C. (2010). The landfill reinjection of concentrated leachate: Findings from a monitoring study at an Italian site. *Journal of Hazardous Materials*, 181(1–3), 962–968. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.05.107>
- De Almeida, R., & Campos, J. C. (2020). Análise tecnoeconômica do tratamento de lixiviado de aterro sanitário. *Revista Ineana*, 8(1), 6–27.
- De Almeida, R., Bila, D. M., Quintaes, B. R., & Campos, J. C. (2020b). Cost estimation of landfill leachate treatment by reverse osmosis in a Brazilian landfill. *Waste Management and Research*, 38(10), 1087–1092. <https://doi.org/10.1177/0734242X20928411>
- De Almeida, R., de Souza Couto, J. M., Gouvea, R. M., de Almeida Oroski, F., Bila, D. M., Quintaes, B. R., & Campos, J. C. (2020a). Nanofiltration applied to the landfill leachate treatment and preliminary cost estimation. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 38(10), 1119–1128. <https://doi.org/10.1177/0734242X20933333>
- Liu, J., Gu, Z., Wang, X., & Li, Q. (2021). The molecular differences of young and mature landfill leachates: Molecular composition, chemical property, and structural characteristic. *Chemosphere*, 132215. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.132215>
- Šír, M., Podhola, M., Patočka, T., Honzajková, Z., Kocurek, P., Kubal, M., & Kuraš, M. (2012). The effect of humic acids on the reverse osmosis treatment of hazardous landfill leachate. *Journal of Hazardous Materials*, 207–208, 86–90. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.079>
- Talalaj, I. A. (2015). Mineral and organic compounds in leachate from landfill with concentrate recirculation. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(4), 2622–2633. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3533-0>