

# REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:  
Investigación, desarrollo y práctica.

## ESTUDO DAS EMISSÕES GERADAS NO PROCESSO DE EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS

Piter Martini Pereira<sup>1</sup>  
Bianca Damo Ranzi<sup>1</sup>  
Débora Machado de Oliveira<sup>1</sup>  
\* Armando Borges de Castilhos Jr<sup>1</sup>

*STUDY OF THE EMISSIONS GENERATED BY THE PROCESS OF  
EVAPORATION OF LANDFILL LEACHATE*

*Recibido el 23 de agosto de 2011; Aceptado el 28 de febrero de 2012*

### Abstract

Landfilling is still the most frequently employed alternative in most countries for the treatment and disposal of solid waste. This form of waste treatment is considered safe from the environmental point of view, although it results in the emission of gaseous and liquid pollutants, which, if not properly collected and treated, may become potential sources of environmental pollution. Landfill leachate treatment through evaporation has been investigated by several researchers since the eighties (KONRAD, 1989; BIRCHLER et al., 1994, MARKS et al., 1994; YUE et al., 2007), however, published articles on the subject are still incipient. This work aims to deepen the understanding of leachate evaporation process, in order to identify and measure the pollutant emission resulting from this type of treatment. For the accomplishment of this study, a distillation apparatus has been used, in order to obtain a condensate from the evaporation of the landfill leachate. Physical and chemical analyses of the resulting effluents (condensate and concentrate) have been carried out, in order to quantify the emission of organic and inorganic pollutants generated by leachate evaporation. The tests have been accomplished with leachate from two landfills, two pH conditions being studied in each leachate (with and without adjustment). The results have revealed that ammonia was the pollutant of greatest environmental concern, due to the high concentrations which have been noticed in the condensate obtained from the process without pH adjustment, although it was possible to observe that by adjusting the leachate pH to a slightly acidic condition, it was possible to reduce significantly the ammonia emissions of the condensate effluent.

**Key Words:** Ammonia, landfill, leachate evaporation

---

<sup>1</sup> Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina

\* *Autor correspondal:* Centro Tecnológico. Campus Universitário. Trindade, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. Cx.Postal. 476 CEP 88.040-970. Email: [borges@ens.ufsc.br](mailto:borges@ens.ufsc.br)

## Resumo

O aterro sanitário continua sendo a alternativa mais empregada na maioria dos países para o tratamento e disposição de resíduos sólidos. Essa forma de tratamento de resíduos é considerada segura do ponto de vista ambiental, embora resulte na emissão de gases e líquidos poluentes, os quais, se não forem adequadamente coletados e tratados poderão constituir-se em fontes potenciais de poluição ambiental. O tratamento de lixiviado pelo processo de evaporação vem sendo investigado por diversos pesquisadores desde a década de 80 (KONRAD, 1989; BIRCHLER et al., 1994; MARKS et al., 1994; YUE et al., 2007), no entanto, os artigos publicados sobre o tema ainda são incipientes. Este trabalho, por sua vez, tem como objetivo aprofundar no entendimento do processo de evaporação de lixiviado, visando identificar e mensurar as emissões de poluentes resultantes desse sistema de tratamento. Para a realização deste estudo, utilizou-se um aparato de destilação a fim de obter um condensado a partir da evaporação de lixiviados de aterro sanitário. Foram realizadas análises físico-químicas dos efluentes (condensado e concentrado), visando quantificar a emissão de poluentes orgânicos e inorgânicos gerados no processo de evaporação de lixiviados. Os testes foram realizados com lixiviados provenientes de dois aterros sanitários, avaliando duas condições de pH em cada lixiviado (com e sem ajuste). Os resultados revelaram que a amônia foi o poluente de maior preocupação ambiental, em virtude das altas concentrações observadas nos condensados obtidos do processo sem ajuste de pH. Porém, observou-se que com o ajuste de pH do lixiviado para uma condição levemente ácida foi possível reduzir significativamente as emissões de amônia para o efluente condensado.

**Palavras-chave:** Amônia, aterro sanitário, evaporação de lixiviados.

---

## Introdução

O aterro sanitário constitui-se uma forma de destinação final de resíduos, amplamente utilizada no mundo, em virtude de sua simplicidade de execução, seu baixo custo e capacidade de absorção diária de grande quantidade de resíduos quando comparado às demais formas de tratamento e disposição. No entanto, existem fatores limitantes a esse método como a redução da disponibilidade de áreas próximas aos centros urbanos, os riscos ambientais associados à infiltração do lixiviado no solo e a emissão descontrolada de biogás.

O biogás gerado em aterros sanitários é uma das fontes de poluição que não deve ser desprezada, pois embora haja vários pontos negativos associados à emissão do biogás para atmosfera, há numerosos benefícios associados ao manejo adequado deste, e seu uso potencial como fonte de energia. Segundo Canziani e Cossu (1989), a infiltração do lixiviado no ambiente é o maior impacto ambiental que um aterro sanitário pode apresentar. A dificuldade de estabelecer um tratamento padrão e eficaz para o lixiviado é dificultada em razão da variabilidade de sua composição. De acordo com Marks et al. (1994), a qualidade do lixiviado pode ser altamente variável e depende de várias características do aterro sanitário, incluindo sua idade, atividade biológica, razão de infiltração e tipo de resíduo aterrado.

Em face dessa problemática, o tratamento dos líquidos lixiviados de aterros sanitários foi considerado por Giraldo (2001), como “um problema difícil de atacar, talvez, sem exagero, um dos problemas mais desafiantes da engenharia de tratamento de águas residuárias”.

Segundo Stegmann et al. (2005) devido aos crescentes padrões de qualidade de lançamento de efluentes, os esforços para melhorar a eficiência dos sistemas de tratamento de lixiviado tem se intensificado. Os processos de tratamento de lixiviado precisam levar em conta a complexidade deste efluente e seu relativo pequeno fluxo, o que o torna diferente dos esgotos sanitários e outros tipos de águas residuárias.

Frente às limitações dos sistemas convencionais de tratamento de lixiviado, a tecnologia de evaporação vem sendo apresentada como uma solução para o tratamento combinado do lixiviado e do biogás. Porém, poucas informações científicas têm sido publicadas sobre evaporação ou destilação de lixiviados, sendo as primeiras experiências realizadas por pesquisadores alemães e suíços no decorrer da década de 80.

Após várias experiências, Eisner et al. (1996) concluíram que a tecnologia de evaporação aplicada ao tratamento de lixiviado é muito eficiente quando comparada a outros métodos de tratamento. Com relação às elevadas cargas de amônia e ácidos orgânicos transferidos para os condensados, os autores indicaram o ajuste de pH do lixiviado em duas fases (ácido-base) como mecanismo de controle eficiente. Entretanto, mais recentemente, Yue et al. (2007) alertou para o fato de que os lixiviados de aterros possuem elevada capacidade tampão, devido as altas concentrações de bicarbonato, amônia e outros sais de ácidos e bases fracas, que resultam em um alto custo para ajuste de pH.

Em função disso, visando um entendimento mais claro da tecnologia de evaporação, bem como a aplicação dessa tecnologia em lixiviados oriundos de aterros localizados na região sul do Brasil, mais especificamente no estado de Santa Catarina, propôs-se, neste estudo, avaliar a qualidade dos efluentes obtidos após evaporação do lixiviado bruto, bem como verificar os efeitos do ajuste de pH na qualidade dos mesmos. Com a conclusão deste trabalho foi possível mensurar os poluentes passíveis de serem transferidos para a atmosfera pelo processo de evaporação de lixiviados de aterros sanitários.

### **Metodologia**

Para o desenvolvimento dessa pesquisa, utilizou-se um aparato experimental, constituído de uma manta de aquecimento com regulador de temperatura (Fisatom<sup>®</sup>), um balão de aquecimento com três bocas 24/40 (2000 mL), um condensador reto de duas juntas 24/40 (300 mm), dois termômetros (-10 a 110 escala externa Hg) e um béquer (500 mL). O aparato experimental utilizado pode ser observado na Figura 1.



**Figura 1.** Aparato experimental utilizado para destilação de lixiviados de aterros sanitários

O experimento consistiu basicamente em aquecer as amostras de lixiviado a uma temperatura controlada de 100°C com o auxílio da manta de aquecimento e coletar o vapor condensado. O processo de evaporação foi conduzido até obter-se a evaporação de 50% do volume inicial do lixiviado (1 L) no balão de evaporação. Após o ensaio, o evaporado obtido (condensado) e o concentrado (parcela de lixiviado remanescente no balão) foram submetidos a análises físico-químicas, visando avaliar a qualidade dos poluentes frente ao processo de evaporação.

Antes de cada experimento, amostras do lixiviado bruto foram analisadas seguindo o mesmo protocolo de análises definidas para o condensado e concentrado: DBO<sub>5</sub>, DQO, amônia, condutividade e sólidos totais. Na Tabela 1 estão descritos os métodos analíticos empregados nas análises físico-químicas.

**Tabela 1.** Protocolo de análises físico-químicas e seus respectivos métodos de análise

PARÂMETROS	UNIDADE	TÉCNICA ANALÍTICA
Amônia	mg/L	Standard Methods, Íon Seletivo
pH	-	Standard Methods, Potenciométrico
Condutividade	mS/cm	Standard Methods, Potenciométrico
DQO (Demanda Química de Oxigênio)	mg/L	Standard Methods, Colorimétrico
DBO <sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio)	mg/L	Standard Methods, Manométrico
Sólidos Totais	mg/L	Standard Methods, Gravimétrico

As amostras de lixiviado bruto utilizadas nos experimentos de laboratório foram coletadas no Aterro Sanitário de Biguaçu-SC, (início de operação em 1991) e no Aterro Sanitário de Lages-SC (início de operação em 2006).

## Resultados

A seguir, são apresentados os principais resultados obtidos em cada um dos testes de evaporação com amostras de lixiviado bruto de dois aterros sanitários, variando as condições de pH. Para o lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu-SC, foram realizados três ensaios. Um deles sem ajuste de pH, e nos outros dois experimentos com acidificação do lixiviado bruto antes do processo de evaporação, utilizando  $H_2SO_4$  2M. Os resultados dos testes realizados para o lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu encontram-se nas Tabelas 2, 3 e 4.

**Tabela 2.** Características físico-químicas de amostras do lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu-SC, e seus respectivos concentrados e condensados, sem ajuste de pH (8,4)

PARÂMETRO	LIXIVIADO BRUTO	CONCENTRADO	CONDENSADO
pH	8,4	10,8	9,8
Condutividade (mS/cm)	10	15	5
DQO (mg/L)	5.062	11.005	226
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1.976	3.369	30
Amônia (mg/L)	2.000	5	3.000
Sólidos Totais (mg/L)	7.912	19.424	146

**Tabela 3.** Características físico-químicas das amostras de lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu-SC, e seus respectivos concentrados e condensados, com ajuste de pH para 7

PARÂMETRO	LIXIVIADO BRUTO	CONCENTRADO	CONDENSADO
pH	7	8,9	9,4
Condutividade (mS/cm)	12	12	6
DQO (mg/L)	2.667	6.659	109
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	393	810	14
Amônia (mg/L)	738	5	1.448
Sólidos Totais (mg/L)	5.566	11.074	308

**Tabela 4.** Características físico-químicas das amostras de lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu-SC, e seus respectivos concentrados e condensados, com ajuste de pH para 5,5

PARÂMETRO	LIXIVIADO BRUTO	CONCENTRADO	CONDENSADO
pH	5,5	6,7	9,9
Condutividade (mS/cm)	15	15	4
DQO (mg/L)	4.522	8.049	212
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	1.140	1.799	12
Amônia (mg/L)	841	833	1.016
Sólidos Totais (mg/L)	7.946	14.502	152

Em todos os ensaios de evaporação realizados com o lixiviado do aterro de Biguaçu, nas diferentes condições de pH, observou-se uma elevada concentração de matéria orgânica (DBO<sub>5</sub> e DQO) nos efluentes concentrados remanescentes, indicando uma reduzida transferência de poluentes orgânicos para a fração condensada. Igualmente, a transferência de poluentes sólidos para o condensado foi insignificante (6 % dos Sólidos Totais presentes no lixiviado bruto).

Apesar da reduzida concentração de matéria orgânica e sólidos encontrados nos efluentes condensados, o processo de evaporação favoreceu o arraste do nitrogênio na forma amoniacal, o que resultou em uma elevação da concentração de amônia nos condensados obtidos. Observou-se que, com um leve ajuste de pH com H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (2M), as concentrações de amônia no condensado declinaram, resultando em uma concentração maior do nitrogênio amoniacal nos concentrados. Esses resultados confirmam a influência do pH na volatilização da amônia, tendo em vista que o pH do lixiviado bruto apresenta-se na maior parte do tempo em pH alcalino, o que favorece, a presença de espécies de amônia na forma não ionizada e, portanto mais volátil.

Para o lixiviado do aterro de Lages, foram realizados apenas dois ensaios. Um com lixiviado sem ajuste de pH (7,2) e o outro com acidificação prévia para pH 6,5. Para cada ensaio foram feitas as análises do lixiviado bruto, do concentrado e do condensado. Os resultados obtidos encontram-se nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

**Tabela 5.** Características físico-químicas das amostras de lixiviado do aterro sanitário de Lages-SC, e seus respectivos concentrados e condensados, sem ajuste de pH (7,2)

PARÂMETRO	LIXIVIADO BRUTO	CONCENTRADO	CONDENSADO
pH	7,2	6,2	9,5
Condutividade (mS/cm)	14	16	4
DQO (mg/L)	29.239	50.866	3.496
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	4.788	5.795	12
Amônia (mg/L)	621	320	1.256
Sólidos Totais (mg/L)	10.462	17.518	2

**Tabela 6:** Características físico-químicas das amostras de lixiviado do aterro sanitário de Lages-SC, e seus respectivos concentrados e condensados, com ajuste de pH para 6,5

PARÂMETRO	LIXIVIADO BRUTO	CONCENTRADO	CONDENSADO
pH	6,5	5,9	9,4
Condutividade (mS/cm)	14	14	3
DQO (mg/L)	30.362	52.454	3.268
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	5.358	5.415	16
Amônia (mg/L))	619	533	759
Sólidos Totais (mg/L)	10.022	17.746	112

O lixiviado bruto do aterro sanitário de Lages, por se tratar de um aterro relativamente novo, apresentou concentrações elevadas de matéria orgânica em termos de DQO e DBO<sub>5</sub>, porém apresentou concentrações menores de nitrogênio amoniacal. Embora a transferência de matéria orgânica em termos de DQO para o condensado tenha sido inferior a 12%, o valor da concentração da DQO no condensado ainda se manteve alto, indicando a necessidade de um tratamento adicional para melhoramento da qualidade desse efluente. A retenção dos sólidos totais no efluente concentrado foi elevada, aproximadamente 99%, nos dois experimentos realizados.

Observou-se também uma elevada transferência de amônia para os condensados, cuja concentração ultrapassou a observada no lixiviado bruto. Com um ajuste de pH de 7,2 para 6,5 foi possível obter uma redução da concentração de amônia no efluente condensado de até 60% em relação ao condensado obtido sem ajuste de pH. Esses resultados confirmam o comportamento da amônia (em função do pH) observado também nos experimentos de evaporação realizados com o lixiviado do aterro sanitário de Biguaçu.

### **Conclusões**

Observou-se com esse estudo, que o processo de evaporação de lixiviado conferiu elevada qualidade ao condensado em termos de DQO, DBO<sub>5</sub> e sólidos totais. Porém, mostrou-se ineficiente quanto à remoção do nitrogênio amoniacal, o qual foi arrastado juntamente com vapor e detectado em elevadas concentrações em condensados obtidos nos experimentos sem acidificação prévia da amostra.

A amônia se comportou de maneira semelhante nos experimentos realizados com lixiviados dos dois aterros, ou seja, quanto maior o pH da amostra, maior o arraste deste poluente para os condensados. Por isso, é importante ressaltar a relevância da continuidade dos estudos em relação ao comportamento da amônia no processo de evaporação, a qual pode vir a se constituir em uma fonte potencial de poluição ambiental.

Além disso, os experimentos realizados apontaram, para a necessidade de estudar processos que possibilitem a coleta e reaproveitamento da amônia liberada pelo processo de evaporação, com vistas à introdução de novas tecnologias voltadas a transformação desse composto em insumo para processos industriais, tais como a indústria de fertilizantes e outras aplicações comerciais.

**Agradecimentos** – Os autores agradecem ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento do projeto.

### Referencias bibliográficas

- APHA - American Public Health Association. (2005) *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 th ed. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, Washington, DC.
- Birchler, D. R., Milke, M. W. et al. (1994) Landfill leachate treatment by evaporation. *Journal of Environmental Engineering*, **120**(5), 1109-1131.
- Canziani, R. e Cossu R. (1989) *Landfill Hydrology and Leachate Production*. Sanitary Landfilling: Process, Technology and Environmental Impact. In: CHRISTENSEN, T. H., COSSU, R., STEGMANN, R., p. 185-212.
- Di Palma, L.; Ferrantelli, P.; Merli, C.; Petrucci, E. (2002) Treatment of industrial landfill leachate by means of evaporation and reverse osmosis. *Waste Management*, **22** (8), p. 951–955.
- Eisner, P., Konrad L., et al. (1996) Landfill leachate treatment by evaporation. *Journal of Environmental Engineering*, p.163.
- Giraldo, E. (2001) Tratamiento de lixiviados de rellenos sanitarios: Avances recientes. *Revista de Ingeniería*, **14**, p.44 - 55.
- Marks, A. L.; Luthy, R. G. et al. (1994) Semi-continuous evaporation model for leachate treatment process evaluation. *Environmental Progress*, **13**(4), p.278 – 288.
- Öman, C. B.; Junestedt, C. (2008) Chemical characterization of landfill leachates – 400 parameters and compounds. *Waste Management & Research*, **28** (10), p. 1876-1891.
- Stegmann, R.; Heyer, K. U. et al. (2005) Leachate Treatment. *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. 3 - 7 October.
- Yue, D.; Xu, Y. et al. (2007) Laboratory-scale experiments applied to the design of a two-stage submerged combustion evaporation system. *Waste Management*, **27**, p.704-710.