

II-030 - AVALIAÇÃO DA REDUÇÃO DA ECOTOXICIDADE DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO POR MEIO DO TRATAMENTO EM UM DESTILADOR SOLAR

Juliana Bortoli Rodrigues Mees ⁽¹⁾

Tecnóloga Ambiental: Resíduos Industriais pelo Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná - CEFET/PR, mestre em Engenharia Agrícola: Recursos Hídricos e Meio Ambiente e Doutora em Engenharia Agrícola: Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE/PR. Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (câmpus Medianeira) no curso de Engenharia Ambiental e do Programa de Pós-graduação nível de mestrado em Tecnologias Ambientais da UTFPR-Medianeira.

Fábio Luiz Fronza ⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira (UTFPR-MD). Mestrando em Tecnologias Ambientais - Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTAMB) da UTFPR-MD.

Eduardo Borges Lied ⁽³⁾

Engenheiro Ambiental pela Faculdade União das Américas. Mestre e Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE/PR. Professor Adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Medianeira.

Aline Cavalli ⁽⁴⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campus Medianeira (UTFPR-MD) e Mestre em Tecnologia Ambiental através do programa de Dupla Diplomação entre as instituições de ensino Universidade Tecnológica Federal do Paraná - câmpus Medianeira (Brasil) e o Instituto Politécnico de Bragança - IPB (Portugal).

Endereço ⁽¹⁾: Avenida Brasil, 4232 – Bairro Independência - Medianeira - PR - CEP: 85.884-000 - Brasil - e-mail: juliana@utfpr.edu.br.

RESUMO

De maneira a adotar tecnologias alternativas de baixo custo para o tratamento de lixiviado de aterro sanitário, buscou-se verificar a eficiência de um destilador solar de bancada no tratamento do lixiviado de um aterro sanitário, com base na redução da concentração dos parâmetros físico-químicos Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Condutividade, Nitrogênio amoniacal, Cor, Turbidez e, também, da ecotoxicidade (CL50;24h). O destilador utilizado nos ensaios foi construído todo em vidro de espessura 3mm, sendo do tipo uma água, de simples efeito e funcionamento em batelada, com inclinação da cobertura de 20°. Adicionou-se aproximadamente 7 L de lixiviado ao destilador, que foi lacrado e reaberto somente após o término dos ensaios. Realizou-se 3 ensaios de destilação, os quais tiveram duração de 8 horas. Ao final de cada ensaio o destilado foi caracterizado individualmente com base nos parâmetros anteriormente descritos. Os ensaios de ecotoxicidade foram realizados utilizando o indicador *Artemia salina*. Observou-se uma redução média de 99% nos parâmetros DQO, Cor e Turbidez nos destilados quando em comparação ao efluente bruto. O efluente bruto e destilados dos ensaios 1, 2 e 3, apresentaram respectivamente CL50;24h de 24,55%, 23,05%, 23,04% e 20,59%. Mesmo apresentando alta eficiência na redução de alguns parâmetros, os destilados eram mais tóxicos que o efluente bruto. Este fato deve-se provavelmente devido a presença de amônia livre (NH₃) nos destilados. Acredita-se que durante o processo de destilação, a amônia livre presente no efluente tenha se volatilizado devido ao aumento da temperatura e condensado junto ao vapor d'água, conferindo o efeito tóxico aos destilados. Por fim, pode-se dizer que a destilação solar apresenta alta eficiência no tratamento de lixiviado de aterro sanitário quando avaliamos os parâmetros físico-químicos DQO, Cor, Turbidez e Condutividade. Porém, é ineficiente na remoção de nitrogênio amoniacal, uma vez que contribui para o aumento das suas concentrações e, conseqüentemente, da toxicidade do efluente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos urbanos, Efluentes, Tratamentos alternativos.

INTRODUÇÃO

De acordo com Silva (2009), por ser constituído por compostos recalcitrantes de difícil remoção via processos biológicos, no tratamento do lixiviado de aterros sanitários torna-se recorrente a adoção de métodos físico-químicos, que visam remover ou promover a mineralização da matéria poluente refratária, como a coagulação e floculação, processos oxidativos avançados (POA) e adsorção em carvão ativado.

Ainda assim, tanto para os sistemas de tratamento biológicos quanto físico-químicos, sabe-se que as eficiências obtidas recorrentemente são baixas. Isso deve-se, principalmente, à presença significativa de compostos orgânicos de alto peso molecular e, também, ao efeito inibitório desses compostos orgânicos, sais inorgânicos e metais pesados aos microrganismos presentes no tratamento, fazendo com o que o lixiviado apresente toxicidade mesmo após passar pelo tratamento proposto (Gotvjan et al., 2009).

Dessa maneira, o emprego de novas tecnologias e métodos de tratamento de efluentes, como a destilação solar, buscam promover a despoluição da água utilizando meios alternativos aos convencionais, tendo como objetivos indiretos a redução de custos e maiores facilidades técnicas quanto à sua implantação.

OBJETIVO

O presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de redução da ecotoxicidade de lixiviado de aterro sanitário por meio do tratamento em um destilador solar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Destilação solar: para os ensaios de destilação solar foi utilizado um destilador solar modelo simples efeito de funcionamento em batelada (Figura 1), com dimensões de 100 x 50 x 20 cm (comprimento x largura x altura máxima das faces laterais), sendo que sua face superior possui inclinação de 20°. Em um total de três dias consecutivos, durante a estação da primavera, foram realizados três ensaios com 8 h de duração cada, com início às 10:00 h e término às 18:00 h, sendo que, ao final de cada ensaio, o lixiviado tratado era recolhido do recipiente coletor e armazenado sob refrigeração a temperatura de 5°C. Para o primeiro ensaio, adicionou-se um total de 7 L de lixiviado ao destilador, o qual foi lacrado e reaberto somente após o término do último ensaio. O destilador foi posicionado com sua face superior voltada para o norte de maneira a garantir que recebesse insolação durante toda a duração dos ensaios.



Figura 1: Destilador solar utilizado nos experimentos.

Caracterização físico-química e ecotoxicológica do efluente: o lixiviado bruto e tratado foram caracterizados de acordo com os parâmetros informados na Tabela 1. O lixiviado tratado foi caracterizado individualmente para cada um dos três ensaios de destilação realizados.

Tabela 1: Parâmetros analisados e métodos utilizados.

Parâmetro	Método	Unidade
pH	Potenciométrico ¹	-
DQO	Colorimétrico ²	mg L ⁻¹
Turbidez	Nefelométrico ³	NTU
Condutividade	Condutimétrico ⁴	μS cm ⁻¹
Cor	Colorimétrico ⁵	mg Pt L ⁻¹
Nitrogênio amoniacal	Colorimétrico ⁶	mg L ⁻¹
CL50;24h	Ecotoxicológico	mg L ⁻¹

¹ pHmetro de bancada multiparâmetro Hanna, modelo pH 21

² Procedimentos segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* 5220D (APHA, 2012), utilizando o equipamento espectrofotômetro (Modelo FEMTO 700 plus)

³ Análises segundo procedimentos do Manual Turbidímetro AP 2000 do microprocessador portátil Turbidímetro (Modelo AP 2000)

⁴ Condutivímetro de bancada

⁵ Espectrofotômetro FEMTO 700 plus – 618 nm

⁶ Utilizou-se o kit para determinação de Nitrogênio amoniacal do espectrofotômetro *Spectroquant PHARO 300, Merck®*

Ensaios ecotoxicológicos: A determinação da toxicidade aguda do efluente foi feita a partir do método proposto por Meyer et al. (1982), com modificações, tendo os ensaios sido realizados em duplicata. O organismo indicador utilizado foi a *Artemia salina*, sendo utilizados cistos comerciais para a realização dos ensaios. Primeiramente realizou-se a eclosão dos cistos, que consiste em submetê-los a um período de incubação de 48 h sob iluminação constante (lâmpada de 20 W), em solução de água salina (17 g L⁻¹ de cloreto de sódio (NaCl) em água destilada) para que se obtenham os náuplios. Após a eclosão, os náuplios eram coletados com uma pipeta de Pasteur e transferidos para os béqueres contendo as diferentes diluições da amostra: 6,25%; 12,50%; 25%; 50%; 100% e controle (água salina). Em cada béquer adicionava-se um total de 10 organismos. Após 24 h, também sob iluminação constante (20 W), realizou-se a contagem dos organismos vivos, prosseguindo-se então para o cálculo da CL50;24h, que foi realizado a partir da regressão logarítmica dos dados referentes à mortalidade (percentual de organismos mortos) dos organismos indicadores, sendo construído o gráfico de dispersão para cada uma das análises.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observando-se a Tabela 2, verifica-se que, com exceção da condutividade e da concentração de nitrogênio amoniacal, todos parâmetros físico-químicos analisados apresentaram redução média de aproximadamente 99% quando comparados ao efluente bruto.

Tabela 2: Caracterização físico-química e ecotoxicológica do efluente bruto e tratado.

Parâmetro	Efluente bruto	E1 ¹	E2 ²	E3 ³
pH	7,98	9,08	9,08	8,99
Condutividade (μS cm ⁻¹)	20.200,00	11.180,00	10.310,00	9.700,00
DQO (mg L ⁻¹)	13.111,30	< 5,00	< 5,00	< 5,00
Cor (mg Pt L ⁻¹)	9.700,00	7,00	6,00	19,00
Turbidez (NTU)	151,00	1,42	1,86	1,55
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	1.920,00	2.140,00	2.330,00	2.110,00
CL50;24h (%)	24,55	23,05	23,04	20,59

¹ Efluente tratado (destilado) referente ao primeiro ensaio de destilação

² Destilado referente ao segundo ensaio de destilação

³ Destilado referente ao terceiro ensaio de destilação

Os gráficos de dispersão e respectivas equações, referentes à regressão logarítmica dos dados de mortalidade dos organismos indicadores, que foram utilizadas para a obtenção dos valores de CL50;24h de cada um dos ensaios pode ser observado na Figura 2.

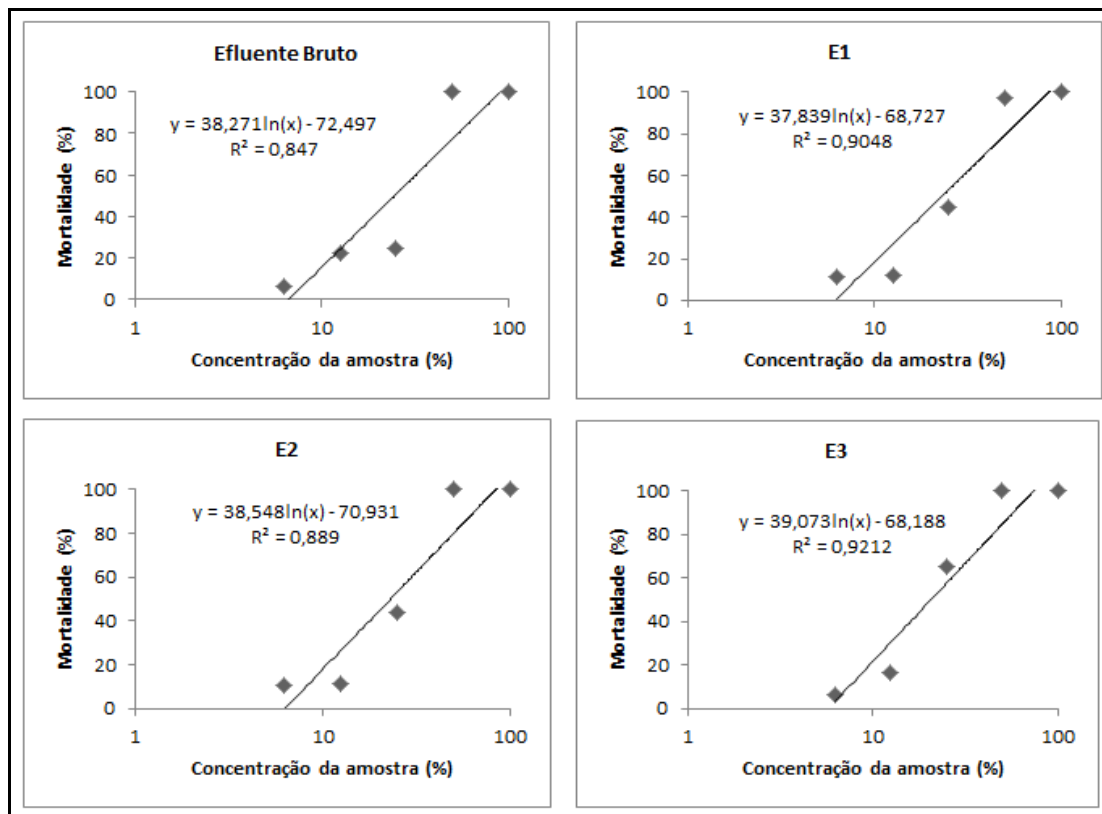


Figura 2: Gráficos da relação concentração da amostra e mortalidade em cada ensaio.

No entanto, mesmo que expressivos índices de redução tenham sido obtidos para a maioria dos parâmetros, observa-se um aumento na ecotoxicidade dos destilados quando comparados ao efluente bruto (Figura 3). A CL50;24h observada nos destilados é mais baixa que a do efluente bruto, ou seja, em uma mesma concentração os destilados são mais tóxicos que o efluente bruto.

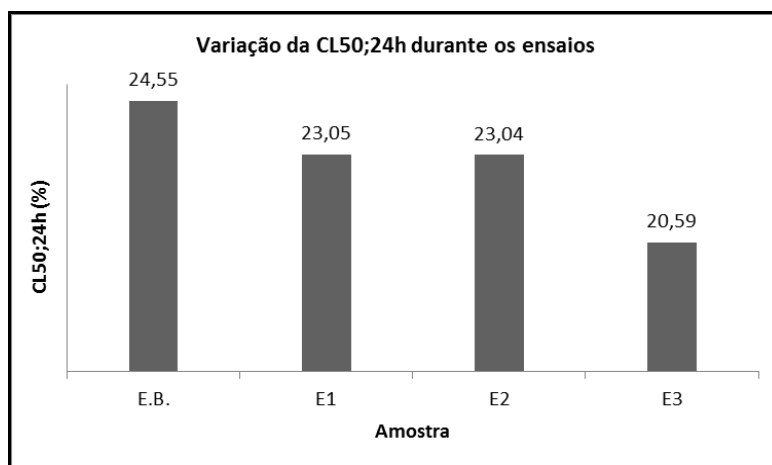


Figura 3: Aumento da toxicidade do efluente tratado em relação ao efluente bruto.

Observando-se que as concentrações de nitrogênio amoniacal aumentaram após o efluente passar pelo tratamento, é provável que este seja o motivo pelo qual houve o aumento da toxicidade. Campos et al. (2010)

afirma que o nitrogênio amoniacal é extremamente tóxico para a vida aquática. Quando em fase aquosa, o nitrogênio amoniacal encontra-se presente sob duas formas, que são a iônica (NH_4^+) e a livre (NH_3) (Equação 1), que é cerca de cem vezes mais tóxica que a forma ionizada.



De acordo com Metcalf e Eddy (2016), em níveis de pH maior que 7, o equilíbrio se desloca para a esquerda, enquanto que em níveis inferiores a 7 a forma iônica (NH_4^+) é predominante. É provável que este seja o motivo do aumento das faixas de pH do efluente tratado (destilado) em relação ao efluente bruto.

Durante os ensaios de destilação solar, é provável que a amônia livre presente no efluente bruto tenha sido volatilizada devido ao aumento da temperatura interna do módulo de destilação. Acredita-se que a NH_3 gasosa tenha condensado junto ao vapor d'água proveniente da destilação solar, permanecendo na forma aquosa junto aos destilados, causando o aumento nos níveis de pH (Figura 4). Também devido às altas temperaturas, é provável que o nitrogênio orgânico tenha sido convertido em nitrogênio amoniacal, justificando o aumento em suas concentrações.

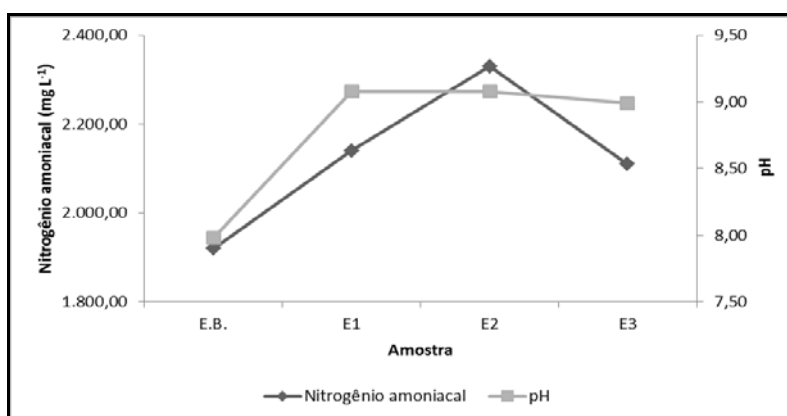


Figura 4: Variação da condutividade e da concentração de amônia durante os ensaios.

Campos et al. (2010) afirma que, por conter carga, a forma iônica confere maiores níveis de condutividade ao efluente. Também, a amônia livre (NH_3), quando em meio aquoso e sob condições adequadas de temperatura e pH, é passível de volatilização, enquanto que a forma ionizada não.

Uma vez que a faixa de pH dos destilados ficou, em média, próxima a 9,00, o nitrogênio amoniacal ainda apresenta uma maior fração de NH_4^+ do que de NH_3 , o que justifica a alta condutividade observada nos destilados, que em média atingiu a faixa de $10.000,00 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Figura 5).

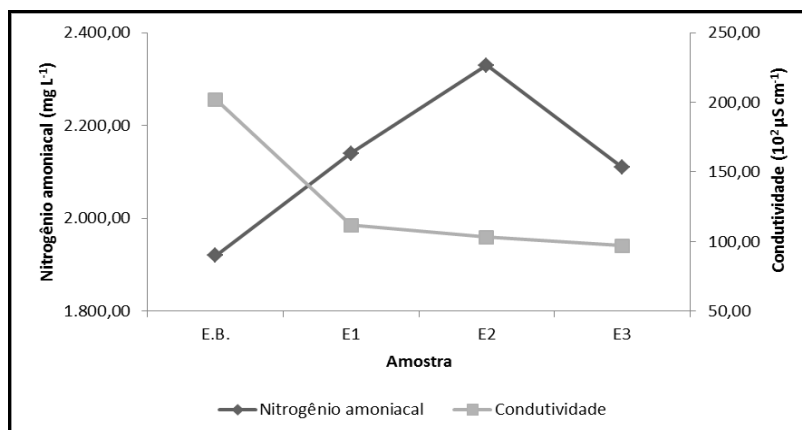


Figura 5: Variação da condutividade e da concentração de amônia durante os ensaios.

Resultados semelhantes foram obtidos por Sá et al. (2012), que ao utilizarem a destilação solar no tratamento de lixiviado de aterro sanitário obtiveram um destilado com forte odor característico de nitrogênio amoniacal, sendo a concentração deste poluente aferida em níveis próximos a 1000 mg L⁻¹.

Este fenômeno também é conhecido como amônia stripping, ou carregamento da amônia, que pode acontecer em condições adequadas de temperatura e pH e, ser intensificada por aeração mecânica, que por sua vez configura assunto para diversos trabalhos na área que investigam a remoção da amônia em sistemas biológicos aliando técnicas de aeração.

Suzuki et al. (2013) realizou testes de ecotoxicidade em lixiviado de aterro sanitário após tratamento biológico seguido do processo de amônia stripping. Utilizando os organismos *Daphnia magna* e *Artemia Salina*, verificou-se que o efluente não apresentou toxicidade para os testes com *Daphnia magna*, tendo apresentado um índice relativamente baixo de toxicidade para os testes com *Artemia salina*. De acordo com o autor, a eficiência de remoção de nitrogênio amoniacal no tratamento adotado foi de aproximadamente 98%, fator este que contribuiu significativamente para a redução da ecotoxicidade do efluente bruto, que antes de tratado possuía uma CE50;48h (*Daphnia magna*) de 8,35%.

CONCLUSÕES

A partir do estudo realizado concluiu-se que o tratamento de lixiviado de aterro sanitário por meio de destilação solar, nas condições apresentadas, não apresentou eficiência na redução da ecotoxicidade deste efluente, promovendo a intensificação do efeito tóxico devido à alta concentração de amônia no efluente tratado.

Ainda assim, foram obtidos resultados significativos na redução de parâmetros como a DQO, cor e turbidez, com índices de remoção de superiores a 98%.

Sugere-se, para trabalhos futuros, a avaliação conjunta do tratamento por destilação solar aliado ao processo de amônia *stripping* como pós-tratamento, de maneira a se promover a remoção da amônia, realizando-se posterior caracterização ecotoxicológica e físico-química para verificar a influência da amônia na ecotoxicidade do efluente tratado bem como seus índices de redução.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 22 ed. Estados Unidos da América, 2012.
2. CAMPOS, D. C.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; RAMOS, P. C. A. Stripping de amônia de Lixiviado de Aterro Sanitário em reatores de Fluxo Pistonado. Revista Tecnológica, v. 14, n. 2, p. 52-60. Brasil, 2010.
3. GOTJAVAN, A. Z.; TISLER, T.; ZAGORC-KONCAN, J. Comparison of Different Treatment Strategies for Industrial Landfill Leachate. Journal of Hazardous Materials 162: 1446-1456. 2009.
4. METCALF, L.; EDDY, H. P. Tratamento de efluente e Recuperação de Recursos. 5 ed. Bookman. Brasil, 2016.
5. MEYER, B. N.; FERRIGNI, N. R.; PUTNAM, J. E.; JACOBSEN, L.B.; NICHOLS, D. E.; MCLAUGHLIN, J. L. Brine Shrimp: A Convenient General Bioassay for Active Plant Constituents. Journal of Medicinal Plant Research, v. 45, p. 31-34.1982.
6. SÁ, L. D.; JUCÁ, J. F. T.; SOBRINHO, M. A. M. S. Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário Usando Destilador Solar. Revista Ambiente e Água, v. 7, n. 1, p. 1-14. Brasil, 2012.
7. SILVA, F. B. Tratamento Combinado de Lixiviados de Aterros Sanitários. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro. 118 p. 2009.
8. SUZUKI, L. Y.; BATISTA, A. L.; KURODA, E. K. Estudos Ecotoxicológicos De Lixiviado De Aterro Sanitário Antes e Após Várias Etapas Do Tratamento. Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 11, p. 202-217. Brasil, 2013.