

**DEPURAÇÃO DE COMPOSTOS ODORANTES EM EMISSÕES FUGITIVAS DE  
ATERRO SANITÁRIO UTILIZANDO CAMADA DE COBERTURA  
CONVENCIONAL E SUBSTRATOS RICOS EM MATÉRIA ORGÂNICA**

DOI: 10.19177/rgsa.v9e012020408-424



**Yankha Myllena da Silva Van Tienen<sup>1</sup>**  
**Rafaela Franqueto<sup>2</sup>**  
**Erivelton César Stroparo<sup>3</sup>**  
**Alexandre Rodrigues Cabral<sup>4</sup>**  
**Camilo Bastos Ribeiro<sup>5</sup>**  
**Waldir Nagel Schirmer<sup>6</sup>**

**RESUMO**

O aterro sanitário é uma importante fonte antropogênica de gases odorantes, tanto na forma de emissões fugitivas (pela camada de cobertura) quanto pontuais (drenos). Para a mitigação de emissões desta natureza, o presente trabalho investigou a bio-oxidação passiva de compostos odorantes do biogás de um aterro sanitário sob condições normais e melhoradas, usando solo do

<sup>1</sup> Engenheira Ambiental, Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Estadual do Centro-oeste (UNICENTRO). E-mail: yankha.tienen@hotmail.com

<sup>2</sup> Engenheira Ambiental, Doutoranda em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau (FURB). E-mail: rafaela.eng@meioambiente.eng.br

<sup>3</sup> Químico, Mestre em Bioenergia, Professor Colaborador do curso de Engenharia Ambiental. UNICENTRO. E-mail: stroparo.erivelton@gmail.com

<sup>4</sup> Grupo Geoambiental, Professor do curso de Engenharia Civil da Universidade de Sherbrooke, Sherbrooke (Quebec), Canadá, Email: alexandre.cabral@usherbrooke.ca

<sup>5</sup> Engenheiro Ambiental, Mestre em Bioenergia, Doutorando em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). E-mail: cb\_ambiental@hotmail.com

<sup>6</sup> Engenheiro químico, Doutor em Engenharia Ambiental, Professor Associado do curso de Engenharia Ambiental. UNICENTRO. E-mail: wanasch@hotmail.com

aterro (originalmente com baixo teor de matéria orgânica) misturado com dois tipos de substratos: composto (na própria camada de cobertura) e espuma de estação de tratamento de esgotos (como meio filtrante em colunas-piloto). Duas campanhas de análises olfatométricas foram realizadas para cada sistema avaliado, de modo a determinar as concentrações odorantes (em  $UO.m^{-3}$ ) do gás tratado comparativamente ao biogás bruto. Os resultados mostraram que houve uma grande diferença entre as concentrações odorantes do biogás bruto e das áreas controladas e melhoradas, resultando em eficiências de remoção de odor superiores a 89% para as quatro campanhas. Contudo, não foi verificada diferença estatística entre as áreas controle e enriquecida nas campanhas realizadas mostrando que, para as condições do estudo, apenas a cobertura tradicional do aterro sanitário é suficiente para remoção dos compostos odorantes.

**Palavras-chave:** Biogás. Câmara de Fluxo. Olfatometria Dinâmica. Poluição Atmosférica. Resíduo Sólido Urbano.

**ABATEMENT OF ODOROUS COMPOUNDS FROM LANDFILL  
FUGITIVE EMISSIONS USING CONVENTIONAL AND ORGANIC  
MATTER-ENRICHED COVERS**



Landfill is an important anthropogenic source of odorant compounds as fugitive (through the cover layer) and punctual emissions (vertical drains). To mitigate such emissions, the present work investigated the passive biological oxidation of odorant compounds in biogas of a landfill under normal and improved conditions, using landfill soil (originally with a low organic matter content) mixed with two types of aggregates: compost (in the cover layer) and scum from wastewater treatment plant (as filter medium in column tests). Two olfactometric analysis campaigns were carried out for each evaluated system, in order to determine the odour concentrations (in  $OU.m^{-3}$ ) in the treated gas (compared to raw biogas). The results showed a large difference between the odour concentrations of the raw biogas and the controlled and improved areas, resulting in odour removal efficiencies greater than 89% for the four campaigns. However, there was no statistical difference between the control and enriched areas in the campaigns carried out; so, for the experimental conditions, only the traditional landfill cover is enough to remove the odorant compounds.

**Key words:** atmospheric pollution; biogas; dynamic olfactometry; flux chamber; municipal solid waste.

## 1 INTRODUÇÃO

Na maior parte dos países, a técnica mais utilizada para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é o aterro sanitário (TANTHACHOON *et al.*, 2008; RAMAIAH *et al.*, 2015). No entanto, estes têm sido comumente reportados como uma importante fonte de odores; os resíduos aí dispostos são degradados de forma aeróbia e anaeróbia, como resultado, tem-se a formação do biogás, composto principalmente de metano (50 a 60%), dióxido de carbono (40 a 50%) e concentrações residuais de uma mistura complexa de vários compostos (hidrocarbonetos, compostos oxigenados, halogenados, nitrogenados, sulfurados, aromáticos, ácidos graxos voláteis, aldeídos, cetonas, ésteres, etc.) que, mesmo em baixas concentrações, conferem o odor característico dos aterros (ALLEN *et al.*, 1997; CAPELLI *et al.*, 2008; DAVOLI *et al.*, 2003; DINCER *et al.*, 2006; KARNIK *et al.*, 2003; SARKAR e HOBBS, 2002; SPOKAS *et al.*, 2006; YING *et al.*, 2012). Dos vários compostos que conferem o odor característico do aterro (STRETCH *et al.*, 2001), o sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) é o composto mais representativo em termos de odor.

Nas últimas décadas, a preocupação ambiental referente à emissão de gases odorantes nas atividades de disposição e unidades de tratamento de resíduos tem aumentado consideravelmente (CAPELLI *et al.*, 2007; SIRONI *et al.*, 2005). Problemas relacionados à saúde dos funcionários do local bem como à qualidade de vida da população exposta (circunvizinha a estas unidades) são alguns dos impactos relacionados à construção e operação dos aterros (CAI *et al.*, 2015; CARMO, 2005) e justificam, por si só, a busca por alternativas para a mitigação e controle da emissão de gases de natureza odorante.

No que se refere à avaliação de odores em aterros, duas técnicas têm sido comumente utilizadas na medida de amostras odorantes: as técnicas analíticas, para a determinação quali/quantitativa dos compostos odorantes (substâncias químicas) presentes na amostra, e as medidas sensoriais, que se utilizam do olfato humano para a caracterização dos odores. A olfatometria dinâmica é a técnica sensorial que se utiliza do olfatômetro para determinar a concentração odorante da amostra, expressada em UO.m<sup>-3</sup> (unidades de odor por metro cúbico de ar avaliado), tendo por base um painel de avaliadores (júri)

previamente selecionados. A olfatométrica tem, como vantagem sobre as análises físico-químicas, a avaliação global da amostra odorante (CAPELLI *et al.*, 2008; GOSTELOW *et al.*, 2001; GOURONNEC e TOMASSO, 2000).

A oxidação biológica do biogás na camada de cobertura contribui para a minimização das emissões de compostos nitrogenados, sulfurados e grande parte dos demais compostos odoríferos presentes na mistura gasosa. Entretanto, a eficiência de remoção destes compostos sempre pode ser melhorada com a utilização de substratos alternativos agregados ao solo da camada de cobertura (ALMARCHA *et al.*, 2014; ENVIRONMENT AGENCY, 2014). A maior conversão de metano em dióxido de carbono já tem sido bastante demonstrada na literatura com o uso de substratos alternativos (com maior teor de matéria orgânica) ao solo (COSTA, 2015; FRANQUETO, 2016; LEE *et al.*, 2018). Além da natureza do substrato, parâmetros do processo como temperatura e umidade também são importantes e, de acordo com Li *et al.* (2012), devem estar equilibrados, uma vez que a temperatura altera a velocidade das reações químicas e a taxa de metabolismo das bactérias; um baixo teor de umidade provoca uma redução da taxa de biodegradação; em contrapartida, o excesso de umidade do meio acarreta a obstrução dos poros e impede a troca gasosa do meio (DIAZ *et al.*, 2007).

Neste cenário, o presente trabalho teve como objetivo comparar a bio-oxidação passiva de compostos odorantes de emissões fugitivas em camadas de coberturas de um aterro sanitário sob condições normais e melhoradas, usando composto e espuma de estação de tratamento de efluentes como agregados do solo original do aterro.

## **2 METODOLOGIA**

### **2.1 Caracterização da área de estudo**

O Aterro Sanitário Municipal de Guarapuava está localizado na região centro-sul do Estado do Paraná (Latitude Sul: 25° 23' 26"; Longitude Oriental: 51° 27' 15" Oeste – W. Greenwich) (GUARAPUAVA, 2012). O clima da região se classifica como quente-temperado subtropical e como Cfb (Clima temperado

propriamente dito) na classificação de Köppen com temperatura média anual de 16,8°C; possui umidade relativa média de 77,1% e precipitação média 1938 mm durante o ano (GUARAPUAVA, 2011 e 2012; IAPAR, 2016 e s/d).

Atualmente, o aterro recebe uma quantidade média diária de 112 toneladas de resíduos; destes 40% é constituído de matéria orgânica, 38% de materiais recicláveis e 22% de rejeitos (GUARAPUAVA, 2017). O solo original do aterro é do tipo silte-argiloso, com baixo teor de matéria orgânica, variando entre 0,4-0,5%.

A célula do aterro escolhida para o estudo levou em conta critérios como:

- Idade dos resíduos aterrados:  $\cong$ 4-5 anos e, portanto, com a massa residual em estágio avançado de decomposição;
- Superfície: plana e distantes dos drenos, de modo a evitar caminhos preferenciais do gás pelas fontes pontuais (critério aplicado ao estudo com câmara de fluxo);
- Verificação da taxa de emissão de gases, de modo a assegurar uma emissão mínima de gases pela superfície da célula avaliada (critério aplicado ao estudo com câmara de fluxo).



## **2.2 Ensaaios com câmara de fluxo e colunas-piloto**

O estudo compreendeu a verificação da bio-oxidação passiva de compostos odorantes presentes no biogás utilizando-se de substratos (agregados ao solo original do aterro) e metodologias distintas:

1) Avaliação com câmara de fluxo: nesta etapa, verificou-se a eficiência do enriquecimento do solo do aterro com “composto” (área enriquecida 1), comparativamente à camada de cobertura sob condições normais (área controle 1, com solo original do aterro) utilizando o método da câmara de fluxo (enclausuramento de superfície);

2) Avaliação em colunas-piloto (biofiltros): nesta etapa, verificou-se a eficiência do enriquecimento do solo do aterro com “escuma” de estação de tratamento de efluentes (ETE) como meio biofiltrante (solo enriquecido 2), comparativamente ao solo original do aterro (solo controle 2, também como suporte do biofiltro).

### **2.2.1 Avaliação da eficiência de oxidação com câmara fluxo**

Foram delimitadas duas áreas de trabalho sobre a célula do aterro: “controle 1” e “enriquecida 1”, ambas com dimensões de 6x3 m, 70 cm de camada de cobertura e com espaçamento de 1,0 m entre ambas (Figura 1a). Na área controle, manteve-se o solo original do aterro, ao passo que na área enriquecida foi adicionado composto nos últimos 15 cm da camada de cobertura, resultando em um teor de matéria orgânica final de aproximadamente 4,5%.

A câmara de fluxo utilizada no estudo tinha área de abrangência de 4,5 m<sup>2</sup> (3,0x1,5 m) sobre a superfície, volume interno de 0,9 m<sup>3</sup> (Figura 1b) e foi projetada de modo similar à câmara utilizada nos estudos de Capanema *et al.* (2013), Capanema *et al.* (2014) e Lakhout *et al.* (2014).

**Figura 1:** (a) Áreas experimentais (controle e enriquecida) e (b) Câmara de fluxo sobre a superfície do aterro.



Fonte: Franqueto (2016)

No momento das amostragens, a câmara era acoplada sobre uma estrutura de apoio (moldura), fixada em cada área de trabalho (controle e enriquecida). A determinação da eficiência de tratamento dos gases amostrados a partir do interior da câmara de fluxo nas duas áreas foi obtida por comparação com a concentração odorante do biogás bruto, coletado a partir de tubos de inspeção ( $\varnothing=10$  mm e 1 m de profundidade) instalados nas duas áreas avaliadas.

Foram realizadas duas campanhas para a coleta de amostras para análise olfatométrica a partir da câmara de fluxo. Em cada campanha, foram determinados os teores de umidade do solo (sensor ECH2O CE-5, *Decagon, Pullman*, EUA) e temperaturas do solo no interior da câmara de fluxo nas duas

áreas avaliadas. Todas as amostragens foram realizadas respeitando-se, no mínimo, dois dias desde a última precipitação.

### 2.2.2 Avaliação da eficiência de oxidação em colunas-piloto

Para avaliação do desempenho do solo do aterro com espuma de ETE como meio biofiltrante, foram utilizadas duas colunas-piloto, preenchidas com os seguintes substratos:

- Controle 2: 60 cm de solo original do aterro (solo silte-argiloso, com teor de matéria orgânica variando entre 0,4-0,5%);
- Enriquecida 2: 45 cm do solo do aterro e 15 cm de uma mistura solo+espuma ( $\cong 4,5\%$  de matéria orgânica final).

Ambas as colunas foram confeccionadas em aço inoxidável ( $\varnothing=60$  cm e 1 m de altura), revestidas com uma camada de  $\cong 20$  cm de terra de modo a garantir o isolamento térmico do sistema (Figura 2). Cada coluna possuía um fundo de tela, sobre a qual foi depositada uma camada de brita ( $\cong 3$  cm, de modo a favorecer a distribuição do gás pela base dos biofiltros) e, acima desta, o meio filtrante. O biogás, captado a partir do dreno do aterro, passava por um sistema de condensação de umidade (Erlenmeyer de 5L adaptado com serpentina de cobre) antes de acessar a base das colunas. A vazão do biogás foi ajustada para um valor constante de  $35 \text{ mL}\cdot\text{min}^{-1}$  (correspondendo a uma carga de  $60 \text{ gCH}_4\cdot\text{m}^{-2}\text{d}^{-1}$ ) nas CNTP.

**Figura 2:** Vista geral das colunas-piloto (controle e melhorada).



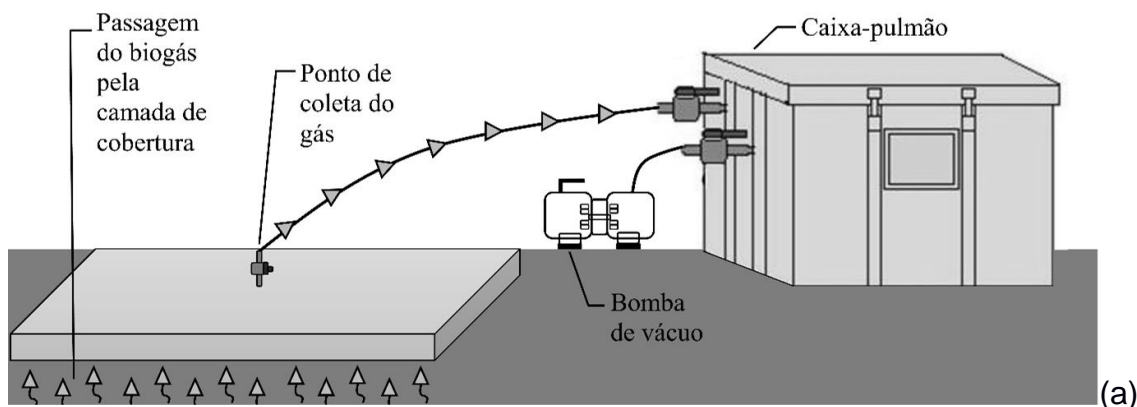
Fonte: Autores.

Foram realizadas duas campanhas para a coleta de amostras para análise olfatométrica a partir das colunas. Em cada campanha, foram determinados os teores de umidade e temperatura dos leitos filtrantes. Os gases eram coletados após o estabelecimento do estado estacionário no 'headspace' das colunas ( $\approx 30$  minutos após o fechamento da parte superior das colunas, conforme Figura 3b).

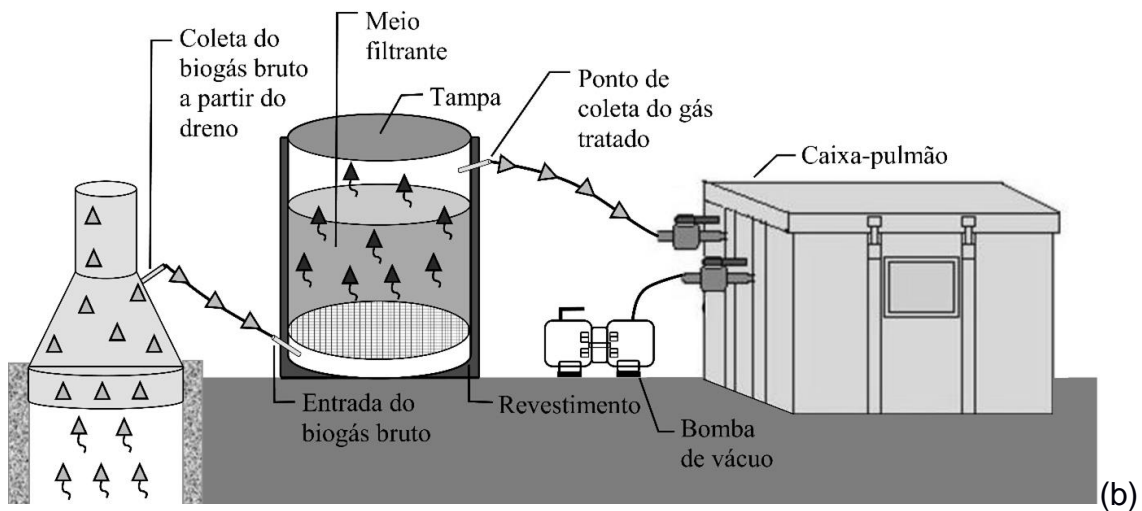
### 2.3 Determinação da concentração odorante

As análises olfatométricas seguiram a norma europeia CEN 13.725 (2003), de modo a determinar a concentração odorante no biogás bruto e do gás após passagem pelas áreas "controle 1" e "enriquecida 1" (a partir da superfície do aterro, com a câmara de fluxo, conforme Figura 3a) e "controle 2" e "enriquecida 2" (nos biofiltros, conforme Figura 3b). As amostras foram coletadas em sacos Tedlar de 60 Litros (SKC Inc.), de acordo com o "método pulmão", em que o saco é colocado no interior de um contêiner e, por diferença de pressão entre os meios interno e externo ao contêiner (usando uma bomba de vácuo), o saco é preenchido com a amostra até que haja novamente o equilíbrio entre as pressões (GOSTELOW *et al.*, 2003). As amostras foram analisadas em olfatômetro dinâmico ODILE™ 3500 (Odotech Inc., Canada) e os resultados expressos em UO.m<sup>-3</sup>, de acordo com um júri de 6 pessoas. Duas campanhas foram realizadas para cada sistema avaliado (câmara de fluxo e biofiltros).

**Figura 3:** Sistema de coleta de amostras para análise olfatométrica: (a) a partir de câmara fluxo sobre a superfície do aterro; (b) a partir de coluna-piloto com meio biofiltrante.







Fonte: Autores.

Para a análise da diferença entre as médias da variável concentração odorante para os níveis controle e enriquecida, tanto para as campanhas da metodologia com câmara de fluxo como para a coluna-piloto, utilizou-se o teste “t” com nível de significância de 5%. Para avaliar se as amostras atendiam aos pressupostos de normalidade, empregou-se o teste de Anderson Darling, enquanto para o pressuposto de homogeneidade de variâncias, aplicou-se o teste de Fligner-Killeen.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As concentrações odorante média, umidade e temperatura do solo medidas nas quatro campanhas bem como a eficiência de remoção de odor das áreas controle e enriquecida em relação ao biogás bruto são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Concentrações odorantes médias ( $\text{UO.m}^{-3}$ ) do biogás bruto e tratado (controle e enriquecidas) usando câmara de fluxo e colunas-piloto.

Campanha	Fonte	Umidade (%)	T solo (°C)	Concentração [ $\text{UO.m}^{-3}$ ]	Eficiência de remoção (%)	Valor p - Test t
Câmara de fluxo: 1 <sup>a</sup>	Biogás bruto	-	-	35.691±21.494	-	0,159
	Controle 1	43	11	826±378	97,7	
	Enriquecida 1	52	12	438±92	98,8	
Câmara de fluxo: 2 <sup>a</sup>	Biogás bruto	-	-	5.369±280	-	0,134
	Controle 1	36	19	434±49	91,9	

	Enriquecida 1	34	20	567±113	89,4	
Coluna: 1 <sup>a</sup>	Biogás bruto	-	-	21.539±2550	-	-
	Controle 2	53	20	492±155	97,7	0,122
	Enriquecida 2	53	22	935±361	95,7	
Coluna: 2 <sup>a</sup>	Biogás bruto	-	-	139.172± 14068	-	-
	Controle 2	51	23	418± 191	99,7	0,191
	Enriquecida 2	51	26	274± 44	99,8	

Obs.: Como todos os valores “p” foram superiores a 0,05 no teste “t” com nível de significância de 5%, não houve diferença estatística entre as concentrações odorantes de biogás nas áreas controle e enriquecida, tanto nos ensaios realizados com câmara de fluxo como nas colunas-piloto.

He *et al.* (2011) analisaram os parâmetros que influenciam a migração de H<sub>2</sub>S através de materiais de cobertura e concluíram que as faixas ideais de umidade e temperatura para a remoção deste composto são de 30 a 60% e 4 a 35°C, respectivamente. Li *et al.* (2012) obtiveram alta eficiência de remoção (mais de 90%) de H<sub>2</sub>S em um biofiltro em condições de umidade variando entre 40 e 60% e temperatura numa faixa de 20 a 37°C. Desta forma, verifica-se que os valores de temperatura e umidade, tanto para câmara de fluxo quanto para as colunas-piloto, ficaram dentro da faixa reportada na literatura. A Tabela 1 mostra que, em todos os casos, a temperatura da área enriquecida foi maior, pois o elevado teor de matéria orgânica favorece uma atividade microbiana mais intensa.

Os valores de concentração odorante para o biogás bruto para câmara de fluxo e coluna-piloto ficaram bem abaixo dos valores reportados por Capanema *et al.* (2014) de 640.000 a 4.000.000 UO.m<sup>-3</sup> para um aterro canadense, e por Lucernoni *et al.* (2016), em que a concentração odorante média de 8 amostras do biogás bruto de um aterro italiano foi 300.000 UO.m<sup>-3</sup>. Pela Tabela 1, verifica-se que houve uma grande variação das concentrações odorantes do biogás bruto entre as duas campanhas da câmara de fluxo e colunas-piloto. Isso ocorre porque o H<sub>2</sub>S, composto mais representativo em termos de odor presente no biogás de aterro, possui um limiar de detecção de odor muito baixo (KIM, 2006; CHENG *et al.*, 2019; WU *et al.*, 2017); logo, pequenas variações em suas concentrações mássicas podem refletir em grandes variações nas concentrações odorantes. A Tabela 1 mostra ainda que as áreas controle e enriquecida, tanto nos ensaios realizados com câmara de fluxo como nas colunas-piloto, apresentaram valores finais de concentração odorante muito inferiores àqueles observados no biogás bruto para as quatro campanhas, com

eficiências de remoção entre 89 e quase 100%. Mesmo os valores de “p” apresentados na tabela mostram que não há diferença estatística entre os valores finais de concentração odorante de biogás (tratados), evidenciando que apenas a camada de cobertura (seja ela enriquecida ou não) é suficiente para a mitigação de gases odorantes.

Uma das finalidades do sistema de cobertura é justamente impedir a liberação de gases do aterro sanitário (KOERNER e DANIEL, 1997), funcionando como uma interface entre o interior da célula e a atmosfera (HE *et al.*, 2011). Solan *et al.* (2010) avaliaram a emissão de odor através da camada de cobertura composta com solo argiloso (comumente utilizado em aterros sanitários) e obtiveram baixas emissões, mostrando que apenas o sistema tradicional é suficiente. Isso ocorre porque há vários mecanismos de remoção de compostos odorantes, entre eles a adsorção no solo (HE *et al.*, 2011).

É importante ressaltar ainda que todos os valores reportados na Tabela 1 são valores medidos na fonte (ponto de emissão), tanto a partir dos drenos (biogás bruto) quanto da camada de cobertura (emissões fugitivas). Uma vez emitidos para a atmosfera, todos esses gases estão sujeitos a fenômenos físicos (diluição) e químicos (reação química); além disso, as condições meteorológicas influenciam na dispersão e, portanto, também determinam uma menor ou maior concentração dos poluentes no ponto de imissão (receptor) (CETESB, 2017). Uma avaliação mais precisa do impacto odorante desse aterro nas comunidades circunvizinhas compreenderia a medição direta no ponto de impacto (coleta das amostras nas áreas atingidas) ou mesmo um estudo de modelagem de dispersão no entorno do aterro para posterior comparação dos valores aí obtidos com as legislações vigentes. Neste contexto, cabe ressaltar que no Brasil ainda não são estabelecidos limites admissíveis de odor na legislação federal; mesmo os Estados não apresentam uma legislação específica neste sentido, que inclua uma mensuração do incômodo olfativo em termos de concentração odorante. Diferentemente do que se observa no Brasil, vários outros países vêm desenvolvendo estudos sobre odores e sustentam legislações de regulação ambiental (VIEIRA, 2013). Apenas para se ter uma ideia de valores de concentração odorante no ponto receptor adotado por alguns países, o Reino Unido define valores-limite de exposição no ar ambiente de: 1,5 unidades de odor para a maioria dos odores desagradáveis; 3 unidades de odor para odores

moderadamente ofensivos; e 6 unidades de odor para odores menos ofensivos (EA, 2011). Medeiros *et al.* (2016) apresentam os limites de unidades de odor em diversos países: Nova Gales do Sul (Austrália) define 2 UO.m<sup>-3</sup> para zona urbana, 7 UO.m<sup>-3</sup> para zona rural e 15 UO.m<sup>-3</sup> na fonte; Queensland (Austrália) estabelece 0,5 UO.m<sup>-3</sup> para fontes altas e 2,5 UO.m<sup>-3</sup> para fontes baixas ou ao nível do solo; Dinamarca definiu o intervalo entre 0,6 e 1,2 UO.m<sup>-3</sup>; Holanda, 1 UO.m<sup>-3</sup>; Derby (Reino Unido), 5 UO.m<sup>-3</sup>; e Nova Zelândia, 2 UO.m<sup>-3</sup>.

#### 4 CONCLUSÃO

O presente estudo avaliou, via olfatométrica dinâmica, a redução de odor do biogás em emissões fugitivas no Aterro Sanitário Municipal de Guarapuava em duas condições: com câmara de fluxo (usando composto) e em colunas-piloto (utilizando espuma de ETE); em ambos os casos, os substratos foram misturados ao solo do aterro e os resultados foram comparados aos seus respectivos controles (solo original do aterro, com baixo teor de matéria orgânica).

As concentrações odorantes do biogás bruto variaram de 5.369 a 139.172 UO.m<sup>-3</sup> e as eficiências de remoção de odor foram entre 89 e quase 100% para as quatro campanhas realizadas, com câmara de fluxo e colunas-piloto. Ao comparar a área controle com a enriquecida, não foi encontrada diferença estatística em nenhuma das campanhas realizadas. A literatura tem demonstrado que solos de camadas de cobertura com maior teor de matéria orgânica são mais eficientes na oxidação de metano em dióxido de carbono. Entretanto, em se tratando da redução de odores (considerando-se os dados apresentados e para as condições experimentais adotadas no presente estudo), apenas a cobertura original do aterro sanitário, constituída de solo do tipo silte-argiloso, é suficiente para a redução das emissões fugitivas de compostos odorantes.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), no âmbito do Programa Ciência Sem Fronteiras – CsF (auxílio #88881.030497/2013-01) pelo suporte financeiro.

## REFERÊNCIAS

ALLEN, M.R.; BRAITHWAITE, A.; HILLS, C.C., 1997. Trace organic compounds in landfill gas at seven U.K. waste disposal sites. **Environmental Science & Technology**, v. 31, n. 4, p. 1054-1061.

ALMARCHA, D.; ALMARCHA, M.; NADAL, S.; POULSSEN, A., 2014. Assessment of odour and VOC depuration efficiency of advanced biofilters in rendering, sludge composting and waste water treatment plants. **Chemical Engineering Transactions**, v. 40, p. 223-228.

CAI, B.; WANG, J.; LONG, Y.; LI, W.; LIU, J.; NI, Z.; BO, X.; LI, D.; WANG, J.; CHEN, X.; GAO, Q.; ZHANG, L., 2015. Evaluating the impact of odors from the 1955 landfills in China using a bottom-up approach. **Journal of Environmental Management**, v. 164, p. 206-214.

CAPANEMA, M.A.; CABANA, H.; CABRAL, A.R., 2014. Reduction of odours in pilot-scale landfill biocovers. **Waste Management**, v. 34, n. 4, p. 770-779.

CAPANEMA, M.A.; NDANGA, E.; LAKHOUIT, A.; CABRAL, A.R., 2013. Methane oxidation efficiencies of a 6-year-old experimental landfill biocover (CISA, Ed.). In: **Proceedings Sardinia, Fourteenth International Waste Management and Landfill Symposium**, Cagliari (Italy).

CAPELLI, L.; SIRONI, S.; DEL ROSSO, R.; CENTOLA, P.; IL GRANDE, M., 2007. Odour impact assessment of a MSW landfill: Integrated analytical, sensorial and senso-instrumental approach. In: **Proceedings Sardinia, Eleventh International Waste Management and Landfill Symposium**, Cagliari (Italy).

CAPELLI, L.; SIRONI, S.; DEL ROSSO, R.; CENTOLA, P.; IL GRANDE, M., 2008. A comparative and critical evaluation of odour assessment methods on a landfill site. **Atmospheric Environment**, v. 42, n. 30, p. 7050-7058.

CARMO JR, G.N.R., 2005. **Otimização e aplicação de metodologias para análises olfatométricas integradas ao saneamento ambiental**. 179f. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).

CEN - European Committee for Standardization, 2003. **CEN: 13.725-03: Air Quality – Determination of odour concentration by dynamic olfactometry**. European Standard, Brussels.

CHENG, Z.; SUN, Z.; ZHU, S.; LOU, Z.; ZHU, N.; FENG, L., 2019. The identification and health risk assessment of odor emissions from waste land filling and composting. **Science of the Total Environment**, v. 649, p. 1038-1044.

Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB), 2017. **Série Relatórios - Qualidade do ar no Estado de São Paulo**. 198p. São Paulo.

COSTA, M.D., 2015. **Estudos de camadas de cobertura de aterros sanitários em colunas de solos**. 144f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife (PE).

DAVOLI, E.; GANGAI, M.L.; MORSELLI, L.; TONELLI, D., 2003. Characterisation of odorants emissions from landfills by SPME and GC/MS. **Chemosphere**, v. 51, n. 5, p. 357-368.

DIAZ, L.F.; BERTOLDI, M.; BIDLINGMAIER, W.; STENTIFORD, E., 2007. Compost Science and Technology. **Waste Management Series**, v. 8, 364p.

DINCER, F.; ODABASI, M.; MUEZZINOGLU, A., 2006. Chemical characterization of odorous gases at a landfill site by gas chromatography – mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v. 1122, n. 1-2, p. 222-229.

EA., 2011. Additional Guidance for H<sub>4</sub> Odor Management: How to Comply with Your Environmental Permit. **Environment Agency**, Bristol, p. 43.

ENVIRONMENT AGENCY, 2014. **Guidance on using landfill cover materials**. Disponível em: < <https://www.gov.uk/government/publications/guidance-on-using-landfill-cover-materials-lfe6>> (data de acesso: 05/02/2019).

FRANQUETO, R., 2016. **Avaliação de emissões fugitivas de biogás de aterro sanitário em camada de cobertura convencional e com características melhoradas aplicando método de câmara de fluxo em regime estático**. 93f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual do Centro-Oeste, Irati (PR).

GOSTELOW, P.; LONGHURST, P.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M., 2003. Sampling for the measurement of odours. **Scientific and Technical Report**, n. 17, 68p., London: IWA Publishing.

GOSTELOW, P.; PARSONS, S.A.; STUETZ, R.M., 2001. Odour measurements for sewage treatment works. **Water Research**, v. 35, n. 3, p. 579-597.

GOURONNEC, A.M.; TOMASSO, V., 2000. Measurement of odours by sensory analysis or olfactometry. **Analisis**, v. 28, n. 3, p. 188-199.

GUARAPUAVA, 2011. **Plano municipal de saneamento básico – Município de Guarapuava-PR.** 151 p. Disponível em: <<http://www.guarapuava.pr.gov.br/wp-content/uploads/pms-guarapuava-verfinal.pdf>> (data de acesso: 08/01/2019).

GUARAPUAVA, 2012. **Sobre Guarapuava.** Disponível em: <<http://www.guarapuava.pr.gov.br/turista/sobre-guarapuava>> (data de acesso: 21/12/2018).

GUARAPUAVA, 2017. **Plano municipal de saneamento básico – Município de Guarapuava-PR: diagnóstico e plano de metas.** Guarapuava. 127 p. Disponível em: <[http://www.guarapuava.pr.gov.br/wp-content/uploads/Plano\\_Municipal\\_de\\_Saneamento\\_Guarapuava\\_2017.pdf](http://www.guarapuava.pr.gov.br/wp-content/uploads/Plano_Municipal_de_Saneamento_Guarapuava_2017.pdf)> (data de acesso: 08/01/2019).

HE, R.; XIA, F.F.; WANG, J.; PAN, C.L.; FANG, C.R., 2011. Characterization of adsorption removal of hydrogen sulfide by waste biocover soil, an alternative landfill cover. **Journal of Hazardous Materials**, v. 186, n. 1, p. 773-778.

IAPAR – Instituto Agrônômico Do Paraná, 2016. **Cartas climáticas do Paraná: classificação climática segundo Köppen.** Disponível em: <<http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=2533>> (data de acesso: 04/05/2019).

IAPAR – Instituto Agrônômico Do Paraná. Sem data (s/d). **Médias históricas na estação de Guarapuava.** Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Guarapuava.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Guarapuava.htm)> (data de acesso: 21/12/2018).

KARNIK, M.; SNEATH, R.W.; PERSAUD, K.C., 2003. Measurement odour emissions from landfill sites. In: **Proceedings Sardinia, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium**, Cagliari (Italy).

Kim, K.H., 2006. Emissions of reduced sulfur compounds (RSC) as a landfill gas (LFG): a comparative study of young and old landfill facilities. **Atmospheric Environment**, v. 40, n. 34, p. 6567-6578.

KOERNER, R.M.; DANIEL, D.E., 1997. Final Covers for Solid Waste Landfills and Abandoned Dumps. **ASCE Press**, Reston, Virginia.

LAKHOUIT, A.; SCHIRMER, W.N.; JOHNSON, T.R.; CABANA, H.; CABRAL, A.R., 2014. Evaluation of the efficiency of an experimental biocover to reduce BTEX emissions from landfill biogas. **Chemosphere**, v. 97, p. 98-101.

LEE, Y.Y.; JUNG, H.; RYU, H.W.; OH, K.C.; JEON, J.M.; CHO, K.S., 2018. Seasonal characteristics of odor and methane mitigation and the bacterial community dynamics in an on-site biocover at a sanitary landfill. **Waste Management**, v. 71, p. 277-286.

LI, L.; HAN, Y.; LIU, J., 2012. Performance and bacterial community diversity of a full-scale biofilter treating leachate odor in a sanitary landfill site. **Water Air Soil Pollut**, v. 223, n. 9, p. 5599-5611.

LUCERNONI, F.; TAPPARO, F.; CAPELLI, L.; SIRONI, S., 2016. Evaluation of an Odour Emission Factor (OEF) to estimate odour emissions from landfill surfaces. **Waste Management**, v. 144, p. 87-99.

MEDEIROS, D.M.; MUÑOZ, A.H.; LEHMANN, A.H.; LUCAS FILHO, M.; LEITE, C.N.M., 2016. Legislação de odores: metodologias utilizadas para determinar odor. **Engenharia Ambiental - Espírito Santo do Pinhal**, v. 13, n. 2, p. 154 - 166.

RAMAIAH, B.J.; RAMANA, G.V.; KAVAZANJIAN, E.J.; BANSAL, B.K., 2015. Shear strength and stiffness of municipal solid waste from large- scale triaxial testing. In: **Proceedings Sardinia, Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium**, Cagliari (Italy).

SARKAR, U.; HOBBS, S.E., 2002. Odour from municipal solid waste (MSW) landfills: A study on the analysis of perception. **Environment International**, v. 27, n. 8, p. 655-662.

SIRONI, S.; CAPELLI, L.; CÉNTOLA, P.; DEL ROSSO, R.; IL GRANDE, M., 2005. Odour emission factors for assessment and prediction of Italian MSW landfills odour impact. **Atmospheric Environment**, v. 39, n. 29, p. 5387-5394.

SOLAN, P.J.; DODD, V.A.; CURRAN, T.P., 2010. Evaluation of the odour reduction potential of alternative cover materials at a commercial landfill. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 4, p. 1115-1119.

SPOKAS, K.; BOGNER, J.; CHANTON, J.P.; MORCET, M.; ARAN, C.; GRAFF, C.; GOLVAN, Y.M.; HEBE, I., 2006. Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? **Waste Management**, v. 26, n. 5, p. 516-525.

STRETCH, D.; LAISTER, G.; STRACHAN, L.; SANER, M., 2001. Odour trails from landfill sites. In: **Proceedings Sardinia, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium**, Cagliari (Italy).

TANTHACHOON, N.; CHIEMCHAI SRI, C.; CHIEMCHAI SRI W.; TUDSRI, S.; KUMAR, S., 2008. Methane oxidation in compost-based landfill cover with vegetation during wet and dry conditions in the tropics. **Journal of the Air & Waste Management Association**, v. 58, n. 5, p. 603-612.

VIEIRA, M.M., 2013. **Abordagem de procedimentos legais para o controle de incômodos olfativos**. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).

WU, C.; LIU, J.; ZHAO, P.; LI, W.; YAN, L.; PIRINGER, M.; SCHAUBERGER, G., 2017. Evaluation of the chemical composition and correlation between the



calculated and measured odour concentration of odorous gases from a landfill in Beijing, China. **Atmospheric Environment**, v. 164, p. 337-347.

YING, D.; CHUANYU, C.; BIN, H.; YUEEN, X.; XUEJUAN, Z.; YINGXU, C.; WEIXIANG, W., 2012. Characterization and control of odorous gases at a landfill site: A case study in Hangzhou, China. **Waste Management**, v. 32, n. 2, p. 317-326.

