

Efeito da temperatura de compostagem na composição nutricional e migração de contaminantes em garrafas PET

Effect of compost temperature on nutritional composition and migration of contaminant agents in PET bottles

Maíra Menezes Penteadó¹, Fabiana Soares dos Santos², Patricia Alves Carneiro³

RESUMO: A compostagem domiciliar em garrafas PET (politereftalato de etileno) pode ajudar a reduzir significativamente a quantidade de resíduos orgânicos gerados em ambientes urbanos, além de ser uma alternativa para espaços reduzidos. O objetivo do trabalho foi avaliar o efeito da temperatura de compostagem na composição nutricional, bem como a migração de antimônio, acetaldeído e formaldeído para o composto produzido, uma vez que estudos apontam que as garrafas PET podem liberar essas substâncias, dependendo das condições de armazenamento. Foram montadas composteiras contendo 4 partes de resíduos orgânicos (cascas de frutas e legumes e restos de verduras); uma parte de terra; e uma parte de folhas secas, sendo mantidas a temperatura de 17 °C, 27 °C e 37 °C. No final do processo de compostagem, que durou aproximadamente 35 dias, o composto e o chorume produzidos foram coletados e realizadas análises de fertilidade e possível contaminação com antimônio e aldeídos. O composto produzido apresentou potencial condicionador do solo, com teores de pH e nitrogênio acima das concentrações mínimas previstas na legislação para fertilizantes orgânicos. Além disso, não apresentaram contaminação por antimônio independente da temperatura estudada e houve uma significativa redução das concentrações de formaldeído e acetaldeído no composto em relação ao material inicial, indicando que a compostagem em garrafa PET favoreceu a decomposição e/ou volatilização desses aldeídos no processo.

Palavras-chave: Adubo orgânico. Aldeído. Antimônio. Politereftalato de etileno. Resíduos orgânicos.

ABSTRACT: Home compost in PET bottles (polyethylene phthalate) may significantly reduce the amount of organic waste generated in urban environments and it is an alternative in reduced spaces. The effect of compost temperature on nutritional composition, and the migration of antimony, acetaldehyde and formaldehyde to the compost produced are evaluated. In fact, studies indicate that, depending on storage conditions, PET bottles release the above-mentioned substances. Compost containers were prepared, featuring 4 parts of organic waste (fruit and vegetable peels and vegetable residues), soil and dried leaves, at 17°C, 27°C and 37°C. At the end of the composting process of approximately 35 days, compost and slurry were collected and analyzed for fertility and for possible contamination by antimony and aldehydes. The compound presented soil conditioning potential, with pH and nitrogen contents above the minimum concentrations required by specific legislation. Further, no antimony contamination was present regardless of the temperature, while there was a significant reduction in the concentrations of formaldehyde and acetaldehyde in the compost when compared to the initial material. Results show that pet bottle composting favored the decomposition and/or volatilization of aldehydes in the process.

Keywords: Aldehyde; Antimony. Organic fertilizer. Organic waste. Polyethylene phthalate.

Autor correspondente:

Maíra Menezes Penteadó - mmpenteadó@gmail.com

Recebido em: 10/12/2019

Aceito em: 21/02/2020

INTRODUÇÃO

Com a crescente preocupação social quanto à produção e destinação de resíduos sólidos, a compostagem domiciliar pode ser um caminho de sensibilização e ação em uma perspectiva individual, que refletirá na estrutura da sociedade. Dentre os diversos modelos de composteiras domiciliares, a compostagem em garrafas PET (politereftalato de etileno) é uma alternativa barata, que ocupa pouco espaço físico e facilita o manejo do processo. Portanto deve ser estudada de modo a garantir condições seguras para disseminar essa modalidade de compostagem junto à sociedade.

¹ Mestre em Tecnologia Ambiental pelo Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda (RJ), Brasil.

² Doutora em Agronomia/Ciência do Solo, docente do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda (RJ), Brasil.

³ Doutora em Química, docente do Programa de Pós-graduação em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal Fluminense (UFF), Volta Redonda (RJ), Brasil.

No entanto, como alguns estudos apontam a possibilidade de migração de espécies utilizadas na fabricação da PET, como antimônio e aldeídos, para alimentos e bebidas (JESUS *et al.*, 2016; CINCOTTA *et al.*, 2018; KOYUNCU; ALWAZEER, 2019), existe a possibilidade da PET também contaminar o composto e o chorume produzidos em recipientes deste material.

O antimônio é uma espécie química potencialmente tóxica para o ser humano e para o meio ambiente, que pode ser encontrado na composição de embalagens feitas de PET e migrar para alimentos e bebidas, principalmente em temperaturas elevadas (CHAPA-MARTÍNEZ *et al.*, 2016; AL-OTOUM *et al.*, 2017). Embora haja limites de segurança quanto a presença de antimônio para água potável (BRASIL, 2011), não há estudos sobre a contaminação de material de compostagem; por antimônio oriundo de PET.

O formaldeído e o acetaldeído são compostos voláteis, genotóxicos e carcinogênicos com grande potencial de migração (CERETTI *et al.*, 2010). A alta temperatura utilizada na fase final da produção de garrafas PET provoca degradação térmica do polímero e contribui para a produção de altas concentrações de acetaldeído na estrutura do polímero (DOGAN; CEBI, 2019). Por conta de seus efeitos prejudiciais, a migração de formaldeído e acetaldeído é constantemente estudada em águas armazenadas em garrafas PET (ABBOUDI; ODEH; ALJOUAAA, 2016; CINCOTTA *et al.*, 2018). No entanto, não são encontrados registros de que tais substâncias geradas pelas garrafas PET sejam persistentes em um ambiente de compostagem, mas as elevadas temperaturas que o processo pode alcançar poderiam liberar essas substâncias tóxicas no composto orgânico produzido.

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da temperatura de compostagem na composição nutricional do composto e do chorume gerados, bem como a migração de antimônio, acetaldeído e formaldeído para o composto produzido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 MONTAGEM DAS COMPOSTEIRAS

A compostagem em garrafas PET é uma alternativa para centros urbanos, onde falta espaço adequado nas residências para esta prática, possibilitando assim a redução no descarte de resíduos domiciliares orgânicos e a reutilização de garrafas PET. Cada composteira foi confeccionada utilizando duas garrafas PET de 2 L; 1 tampa perfurada, para escoamento do chorume; 50 mL de areia, para percolar o chorume; fita adesiva, para unir as partes; e uma meia fina, para tapar a abertura e evitar insetos (Figura 1).



Figura 1. Materiais utilizados (A) e montagem da composteira (B) em garrafa PET

a) garrafa PET com o fundo cortado. b) garrafa PET cortada ao meio. c) tampa perfurada. d) 50 mL de areia. e) fita ad siva para unir as garrafas. f) meia fina.

Os passos para montagem da composteira PET foram: recortar uma das garrafas PET na metade de sua altura, reservar a parte do fundo e descartar a parte superior; da outra garrafa, recortar e descartar apenas o fundo (cerca de 2,0 cm), reservando a parte superior; fazer vários orifícios pequenos na tampa (ou um orifício grande no meio), utilizando um prego ou um arame aquecido; rosquear a tampa na garrafa maior, sem o fundo, usando um pedaço de papel de filtro entre a tampa e a garrafa para evitar a perda de areia; posicionar a garrafa sem fundo, e já com a tampa furada, de cabeça para baixo dentro da garrafa cortada ao meio, vedar com fita crepe para facilitar a abertura ao final do processo, unindo as duas partes; adicionar 50 mL de areia para percolação do chorume até o compartimento inferior, onde ficará armazenado.

147

Ao final da montagem das composteiras, foram adicionados resíduos orgânicos (cascas de frutas, cascas de legumes e restos de verduras, picados em pedaços $\leq 1,0 \text{ cm}^3$) produzidos em residências, na proporção de 4:1:1, ou seja, quatro partes de resíduo orgânico; uma parte de terra; e uma parte de folhas secas. As composteiras foram fechadas com meia fina na sua parte superior, visando evitar a proliferação de moscas.

Levando em consideração que os compostos tóxicos poderiam ser liberados pela PET em temperaturas extremas, foram feitas três repetições do mesmo tratamento para cada temperatura estudada: 17 °C; 27 °C; 37 °C, resultando em um total de 9 unidades experimentais. As composteiras foram mantidas em estufa BOD com temperatura controlada até o final da compostagem.

No final do processo de compostagem, que durou aproximadamente 35 dias, assegurando-se que a temperatura das composteiras já estivesse estabilizada e próxima às temperaturas dos respectivos ambientes, o composto e o chorume produzidos foram coletados e realizadas as análises químicas.

2.2 ANÁLISES QUÍMICAS

As análises de pH em água foram feitas segundo Donagema *et al.* (2011). As porcentagens de carbono e nitrogênio total foram determinadas por medidor elementar de CHNOS Elementar/Vario Macro.

Para a determinação de antimônio no material foi utilizada a metodologia EPA 3051a (USEPA, 2007), utilizando sistema de digestão de micro-ondas Anton Paar/Multiwave GO. As análises de antimônio foram realizadas em um espectrômetro de massa por plasma acoplado indutivamente (ICP-MS) da marca Perkin Elmer.

A quantificação de acetaldeído e formaldeído foi realizada segundo o método 8315A, proposto pela USEPA (1996), via derivatização com 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNPH), com a formação de 2,4-dinitrofenilidrazonas (2,4-DNPH) de formaldeído e de acetaldeído. As medidas foram efetuadas em um Cromatógrafo Líquido de Alta Eficiência da marca Shimadzu, modelo LCSolution, com detecção de absorção molecular na região ultravioleta-visível. As condições cromatográficas foram: fase móvel acetonitrila/água na proporção 80:20, em um fluxo de 1,2 mL por minuto, com injeção de 20,0 μL de amostra e padrões, e detecção UV-Visível em comprimento de onda de 360 nm. A coluna cromatográfica empregada foi uma ACE C18 com 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 μm e poros de 100Å.

A 2,4-DNPH foi recristalizada segundo o mesmo método até sua total purificação (USEPA, 1996) e a obtenção dos derivados carbonílicos da 2,4-DNPH foi realizada segundo Silva (2005).

Os padrões de acetaldeído e formaldeído derivatizados foram injetados separadamente para identificação dos picos e seus respectivos tempos de retenção e áreas anotados. O ensaio de recuperação também foi investigado para a análise das espécies de interesse. Para tanto, foi adicionado 50,0 μL de solução 1,0 g L⁻¹ de cada padrão em 50,0 mL de água destilada; também foram adicionados 50,0 μL de solução 1,0 g L⁻¹ de cada padrão em 5,0 g de solo previamente calcinado a 400 °C. A partir destes materiais contaminados, foi realizado o mesmo processo de derivatização das amostras descrito anteriormente, para posterior análise em HPLC.

O processo de extração de aldeídos das amostras sólidas foi adaptado do método supracitado (USEPA, 1996). Para tal, foi colocado 5,0 g de material sólido úmido em um erlenmeyer de 125,0 mL e imediatamente adicionado 100,0 mL de fluido extrator (64,3 mL de NaOH 1N e 5,7 mL de ácido acético glacial para 1,0 L de solução, com ajuste do pH em $4,93 \pm 0,02$) e coberto com parafilm. O material permaneceu sob agitação de 30 rpm por 18 horas. Após este período o fluido resultante foi filtrado por um sistema millipore a vácuo, utilizando filtro de fibra de vidro (1,2 μm).

Para fins de padronização, o processo de derivatização foi realizado utilizando 50,0 mL das amostras (fluido dos sólidos e chorume) e 50,0 mL de água para garantir o volume nominal de 100,0 mL descritos na metodologia, uma vez que a quantidade de chorume produzida nos tratamentos não foi suficiente para extrair a quantidade descrita. Aos 100,0 mL (amostra + água) foram adicionados 4,0 mL de tampão citrato, com ajuste de pH para $3,0 \pm 0,1$ (HCl 6,0 mol L⁻¹ ou NaOH 6,0 mol L⁻¹), e 6,0 mL de solução de DNPH. Os erlenmeyers foram selados e colocados sob agitação de 150 rpm, por exatamente 1 hora a $40 \pm 2,0$ °C em uma incubadora com agitação orbital. A seguir, foram adicionados 10,0 mL de solução saturada de NaCl, homogeneizado e os compostos derivatizados foram extraídos em cartucho de separação em fase sólida (SPE) Stracta-X 33 μm Polymeric Reversed Phase, sendo aplicado vácuo a uma taxa estimada de 5 mL por minuto. Cada cartucho foi eluído com 9,0 mL de acetonitrila diretamente para um balão de 10,0 mL (nas mesmas condições de vácuo). A seguir, o volume foi aferido com acetonitrila para posterior análise.

3 RESULTADO E DISCUSSÃO

A temperatura de compostagem influenciou a produção de composto e chorume (Tabela 1). A compostagem a 27 °C apresentou a maior quantidade relativa de chorume e a menor quantidade de composto, sendo observado que o chorume produzido apresentou cor bem escura e ausência de odores desagradáveis. A compostagem a 37 °C produziu a menor quantidade relativa de chorume e baixa umidade do composto, o que sugere a necessidade de repor a água quando a compostagem for feita em ambientes com temperatura elevada, para que o processo não seja interrompido por falta de umidade. A compostagem a 17 °C apresentou a maior quantidade relativa de composto dos três tratamentos, sendo observado neste material grande quantidade de resíduos não totalmente decompostos. Isso indica que a decomposição no frio é mais lenta, e o tempo de compostagem pode não ter sido suficiente para finalizar o processo.

Tabela 1. Umidade do composto e distribuição percentual em relação a massa inicial, da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas

Temperatura de compostagem	Umidade do composto (%)	Composto (%)	Chorume (%)
17 °C	24,88	52,93	21,00
27 °C	33,84	34,93	48,28
37 °C	2,39	47,50	19,23

Fonte: Dados da pesquisa.

Os maiores valores de pH, do composto e chorume produzidos, foram observados na compostagem a 37 °C, com valores de pH ligeiramente mais alcalinos (Tabela 2). No entanto, os valores de pH dos compostos e chorumes dos três tratamentos se encontraram acima do mínimo permitido (6,0), segundo a IN nº 25, de 23 de julho de 2009, que aprova definições, especificações e as garantias dos fertilizantes orgânicos (BRASIL, 2009a).

Tabela 2. Porcentagem de nitrogênio, carbono e pH da compostagem em garrafas PET em diferentes temperaturas

Temperatura de compostagem	Nitrogênio	Carbono	pH
Composto	%		
17 °C	0,74 ± 0,006	3,23 ± 0,225	7,2
27 °C	0,76 ± 0,03	3,66 ± 0,228	7,1
37 °C	0,82 ± 0,068	3,77 ± 0,468	7,6
Chorume			
17 °C	0,75 ± 0,017	0,05 ± 0,026	8,7
27 °C	0,74 ± 0,01	0,10 ± 0,021	8,6
37 °C	0,67 ± 0,036	0,11 ± 0,01	9,0

Os valores correspondem a uma média de 3 repetições ± desvio padrão.

Fonte: Dados da pesquisa.

Os maiores teores de nitrogênio no composto foram observados no tratamento a 37 °C. Como o nitrogênio apresenta característica de alta solubilidade e mobilidade, sendo de fácil lixiviação, esse maior acúmulo provavelmente ocorreu devido a menor produção de chorume neste tratamento (Tabela 1), acarretando assim menor lixiviação de nitrogênio, o que pode ser confirmado pelo menor acúmulo de N no chorume (Tabela 2). Em todos os tratamentos, as porcentagens de nitrogênio se encontraram acima do mínimo exigido pela legislação brasileira para adubo orgânico que é de 0,5% (BRASIL, 2009a).

Os menores teores de carbono foram observados no tratamento de compostagem a 17 °C (Tabela 2). Esses menores valores provavelmente ocorreram devido a menor taxa de decomposição dos restos alimentares provocadas pela baixa temperatura, que influencia diretamente a eficiência do processo de compostagem (CERDA *et al.*, 2018).

As médias das concentrações de antimônio dos três tratamentos (Tabela 3) indicam que os valores encontrados nos compostos são similares aos valores encontrados no material inicial, apontando que não há incremento deste contaminante, pela embalagem PET, no material sólido resultante da compostagem.

Tabela 3. Concentrações de antimônio (Sb) nos materiais produzidos na compostagem em garrafas PET realizada em três temperaturas diferentes

	Composto (mg kg ⁻¹)	Chorume (µg.L ⁻¹)
M.I.	0,042 ± 0,001	-
17 °C	0,042 ± 0,001	n.d.
27 °C	0,043 ± 0,002	n.d.
37 °C	0,044 ± 0,002	0,004 ± 0,001

M.I. - material inicial.

n.d. - valores abaixo do limite de detecção de 0,0038 µg.L⁻¹. Os valores correspondem a uma média de 3 repetições ± desvio padrão.

Fonte: Dados da pesquisa.

Embora diversos trabalhos relacionem a liberação de antimônio em águas envasadas em garrafas PET quando submetidas a temperatura elevada (ATAKAN; DURUKAN; BEKTAS, 2016; CHAPA-MARTÍNEZ *et al.*, 2016; AL-OTOUM *et al.*, 2017), não foi evidenciado risco de contaminação por antimônio do composto produzido, uma vez que não há modificação da concentração deste metal antes e após a compostagem.

Os valores de antimônio encontrados no chorume (Tabela 3) provavelmente advêm do carreamento de antimônio durante a lixiviação do processo, não sendo representativo o suficiente para indicar que a contaminação venha da garrafa PET. As concentrações de antimônio encontradas estão abaixo dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA 420/2009 (BRASIL, 2009b) para solo (valor de prevenção = 2,0 mg kg⁻¹) e água subterrânea (5,0 µg.L⁻¹) e do valor máximo para água potável (BRASIL, 2011), indicando que a exposição dos compostos e do chorume à PET não contribuiu na liberação desta espécie química no material produzido independente da temperatura de compostagem.

Os padrões de acetaldeído e formaldeído derivatizados foram inicialmente injetados e seus picos registrados em 3,2 minutos para o derivatizado DNHP-formaldeído e em 3,6 minutos para o derivatizado DNHP-acetaldeído (Figura 2).

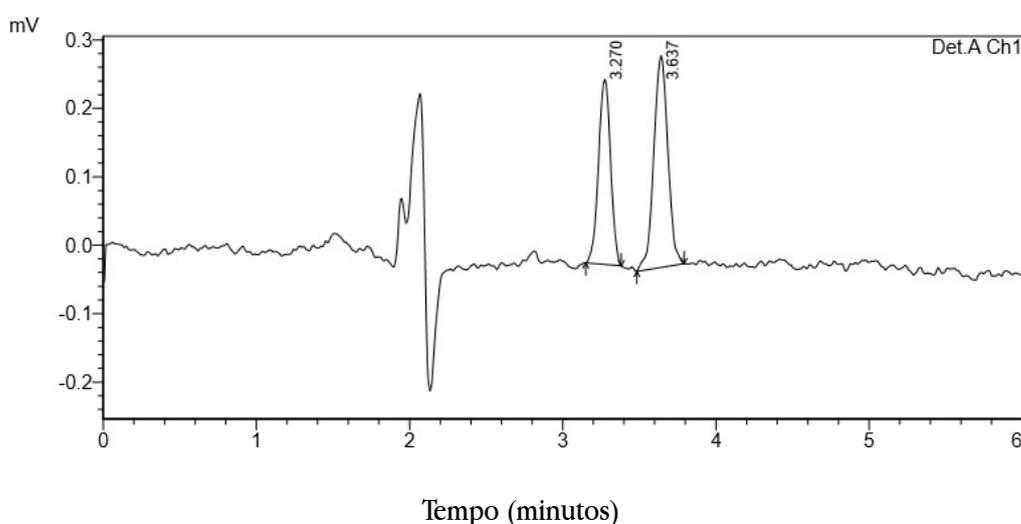


Figura 2. Cromatograma do padrão DNHP-formaldeído (Tempo de retenção 3,270 minutos) e DNHP-acetaldeído (Tempo de retenção 3,637 minutos) 14,00 µg.L⁻¹, em fase móvel de acetonitrila/água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de 20 µL e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 µm e poros de 100 Å.

Observa-se a partir do cromatograma que os picos dos aldeídos derivatizados apresentam-se bem resolvidos e separados, e, deste modo, em um tempo relativamente curto de análise, foi possível a determinação qualitativa e quantitativa concomitante de acetaldeído e formaldeído derivatizados.

Para a construção da curva analítica para determinação quantitativa de formaldeído e acetaldeído, os padrões foram injetados, quatro vezes cada um, nas concentrações de 2,00; 3,00; 4,00; 6,00; 8,00; 10,00; 12,00; e 14,00 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Figura 3).

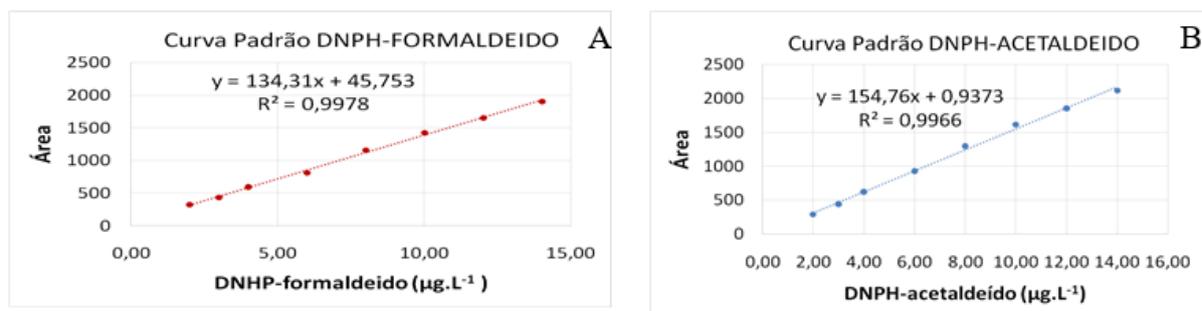


Figura 3. Curva analítica de DNPH-formaldeído (A) e DNPH-acetaldeído (B) a partir de análise cromatográfica dos padrões em fase móvel de acetonitrila/água (80:20), fluxo de 1,2 mL por minuto, injeção de 20,0 μL e detecção em 360 nm, em uma coluna ACE C18, 250 mm de comprimento, 4,6 mm de diâmetro interno, sílica de 5,0 μm e poros de 100 Å, com picos registrados em 3,2 minutos para formaldeído e 3,6 minutos para acetaldeído.

Conforme observado na Figura 3, é possível notar uma faixa linear de trabalho que se estende de 2,00 a 14,00 $\mu\text{g L}^{-1}$ para os aldeídos derivatizados. Observa-se uma relação linear com valores de coeficientes de determinação superiores a 0,99. Deste modo, as curvas analíticas acima apresentadas foram empregadas para determinação da concentração de formaldeído e acetaldeído derivatizados nas amostras de chorume e de composto obtidos após o processo de compostagem na garrafa PET.

As concentrações médias de formaldeído e acetaldeído nos compostos e chorume produzidos em diferentes temperaturas de compostagem são apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4. Concentrações de formaldeído e acetaldeído nos materiais produzidos na compostagem em garrafas PET realizada em três temperaturas diferentes

	Composto		Chorume	
	Formaldeído	Acetaldeído	Formaldeído	Acetaldeído
	$(\text{mg kg}^{-1})^1$		$(\mu\text{g L}^{-1})$	
M.I.	1,995 \pm 0,419	1,604 \pm 0,028	--	--
17 °C	0,2408 \pm 0,111	0,135 \pm 0,115	n.d.	n.d.
27 °C	0,473 \pm 0,047	0,901 \pm 0,085	n.d.	0,0041 \pm 0,0003
37 °C	0,325 \pm 0,060	0,765 \pm 0,350	n.d.	0,0106 \pm 0,005

M.I. - material inicial.

¹concentração em peso úmido.

n.d. - valores abaixo do limite de detecção de 0,0051 $\mu\text{g L}^{-1}$ para formaldeído e 0,0027 $\mu\text{g L}^{-1}$ para acetaldeído. Os valores correspondem a uma média de 3 repetições \pm desvio padrão.

De acordo com o observado na Tabela 4, nota-se que não foi possível relacionar as concentrações de formaldeído e acetaldeído com o aumento de temperatura na compostagem em PET, indicando que o processo de liberação desses aldeídos da PET em sistemas de compostagem não ocorrem como no processo de contaminação de águas minerais descritas nos trabalhos que correlacionam a liberação de formaldeído e acetaldeído pela PET com temperaturas mais elevadas (ABBOUDI; ODEH; ALJOURAA, 2016; CINCOTTA *et al.*, 2018).

Todos os compostos produzidos apresentaram concentrações de formaldeído e acetaldeído bem abaixo do valor do material inicial, indicando que houve decomposição e/ou volatilização desses aldeídos durante a composta-

gem, sendo esta uma técnica apropriada para a degradação dessas espécies. A eficiência do uso de material de compostagem na remediação de áreas contaminadas é influenciada pela adsorção de contaminantes pela matéria orgânica e aumento microbiano (FERRARI; PRATSCHER; ASPRAY, 2019).

Ceretti *et al.* (2010) estabelecem relação de pH ácido com a liberação de formaldeído e acetaldeído. No entanto, os valores de pH encontrados no presente estudo foram elevados, não sendo encontrada relação direta entre esses parâmetros. Os elevados valores de pH da compostagem e a baixa concentração de formaldeído e acetaldeído encontrados indicam que esses poluentes orgânicos não representam uma contaminação significativa do composto produzido, uma vez que o próprio processo de compostagem ajuda a decompor essas substâncias.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A compostagem em garrafa PET se mostrou um processo eficiente que produz material com potencial condicionador do solo, rico em carbono e nitrogênio. Além disso, apresenta-se como alternativa sustentável, podendo ser confeccionado e utilizado por qualquer indivíduo e não agrega compostos tóxicos (antimônio, formaldeído e acetaldeído) em concentrações que sejam prejudiciais ao ser humano.

Os compostos produzidos em garrafa PET não apresentaram contaminação por antimônio e as concentrações de formaldeído e acetaldeído foram inferiores ao material inicial independente da temperatura, indicando que a compostagem em garrafa PET favoreceu a decomposição e/ou volatilização desses aldeídos no processo.

152 5 AGRADECIMENTO

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) pelo apoio financeiro ao trabalho.

REFERÊNCIAS

ABBOUDI, M.; ODEH, A.; ALJOUAA, K. Carbonyl compound leaching from polyethylene terephthalate into bottled water under sunlight exposure. **Toxicological and Environmental Chemistry**, v. 98, n. 2, p. 167-178, feb. 2016.

AL-OTOUM, F.; AL-GHOUTI, M. A.; COSTA JR, O. S.; KHRAISHEH, M. Impact of temperature and storage time on the migration of antimony from polyethylene terephthalate (PET) containers into bottled water in Qatar. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 189, p. 631-642, nov. 2017.

ATAKAN, D.; DURUKAN, I.; BEKTAS, S. Determination of antimony from polyethylene terephthalate in drinking water by solid floating organic drop microextraction and electrothermal atomization atomic absorption spectrometry. **Analytical Letters**, v. 49, n. 7, p. 1066-1078, 2016.

BRASIL. Instrução Normativa n° 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, p. 20, 23 jul. 2009a.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 420, de 28 de dezembro de 2009. **Diário Oficial da União**: seção 249, Brasília, p. 81-84, 30 dez. 2009b.

BRASIL. Portaria MS n° 2.914, de 12 de dezembro de 2011. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, p. 39, 14 dez. 2011.

- CERDA, A.; ARTOLA, A.; FONT, X.; BARRENA, R.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. Composting of food wastes: status and challenges. **Bioresource Technology**, v. 248, part. A, p. 57-67, jan. 2018.
- CERETTI, E.; ZANI, C.; ZERBINI, I.; GUZZELLA, L.; SCAGLIA, M.; BERNA, V.; DONATO, F.; MONARCA, S.; FERETTI, D. Comparative assessment of genotoxicity of mineral water packed in polyethylene terephthalate (PET) and glass bottles. **Water Research**, v. 44, n. 5, p. 1462-1470, mar. 2010.
- CHAPA-MARTÍNEZ, C. A.; HINOJOSA-REYES, L.; HERNÁNDEZ-RAMÍREZ, A.; RUIZ-RUIZ, E.; MAYA-TREVIÑO, L.; GUZMÁN-MAR, J. L. An evaluation of the migration of antimony from polyethyleneterephthalate (PET) plastic used for bottled drinking water. **Science of the Total Environment**, v. 565, p. 511-518, sep. 2016.
- CINCOTTA, F.; VERZERA, A.; TRIPODI, G.; CONDURSO, C. Non-intentionally added substances in PET bottled mineral water during the shelf-life. **European Food Research and Technology**, v. 244, p. 433-439, aug. 2018.
- DOGAN, C. E.; CEBI, N. Investigation of antimony, cobalt, and acetaldehyde migration into the drinking water in Turkey. **Packaging Technology and Science**, v. 32, n. 5, p. 239-246, mar. 2019.
- DONAGEMA, Guilherme Kangussú; CAMPOS, David Vilas Boas de; CALDERANO, Sebastião Barreiros; TEIXEIRA, Wenceslau Gerales; VIANA, João Herbert Moreira. **Manual de métodos de análise de solo**. 2ª ed. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2011. ISBN 1517-2627.
- FERRARI, D. G.; PRATSCHER, J.; ASPRAY, T. J. Assessment of the use of compost stability as an indicator of alkane and aromatic hydrocarbon degrader abundance in green waste composting materials and finished composts for soil bioremediation application. **Waste Management**, v. 95, p. 365-369, jun. 2019.
- JESUS, A.; DESSUY, M. B.; HUBER, C. S.; ZMOZINSKI, A. V.; DUARTE, A. T.; VALE, M. G. R.; ANDRADE, J. B. Determination of antimony in pet containers by direct analysis of solid samples using graphite furnace atomic absorption spectrometry and leaching studies. **Microchemical Journal**, v. 124, p. 222-227, jan. 2016.
- KOYUNCU, M.; ALWAZEER, D. Determination of trace elements, heavy metals, and antimony in polyethylene terephthalate-bottled local raw cow milk of I dir region in Turkey. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 191, p. 666-675, oct. 2019.
- SILVA, Priscila Marques da. **Desenvolvimento de metodologia para a determinação de álcoois superiores em álcool combustível, utilizando a técnica de cromatografia líquida de alta eficiência com detecção eletroquímica**. 2005. Dissertação (Mestrado em Química) - Instituto de Química, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara, 2005. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/97836/silva_pm_me_araiq.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 4 nov. 2019.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 3051A - Microwave assisted acid digestion of sediments, sludges, soils, and oils**. Washington, DC, USA, 2007. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-12/documents/3051a.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. **Method 8315A - Determination of carbonyl compounds by high performance liquid chromatography (HPLC)**. Washington, DC, USA, 1996. Disponível em: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-07/documents/epa-8315a.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.