



Composting of household organic waste: effect on control parameters and final compound quality

Compostagem de resíduos orgânicos domiciliares: parâmetros de controle e qualidade do produto final

Maico Chiarelotto^{1*}, Willian Cucchi Bottin², Cristian Eduardo Spicker², Savio Silva Duarte², Marilete Chiarelotto³, Marlene Magnoni Bortoli⁴

Abstract: It is estimated that 51% of Brazilian urban solid waste is composed of organic material, which has a high recyclability potential via alternative processes. One means of optimization and recycling this fraction would be the popularization of household composting and the dissemination of means of attaining it. The current study objective, therefore, was to evaluate control characters of the household organic residue composting process, test final organic compound product quality and investigate the feasibility of conducting such processes in urban dwellings. Organic residues were collected for three days, distributed over a week, in 20 residences of the urban area of Marmeireiro municipality, Paraná State, southern Brazil. A compost heap was set up with an initial mass of 137.21 kg of organic material. During the degradation process, temperature, dry mass, volume, pH, electrical conductivity, phytotoxicity, volatile solids, total organic carbon exothermic accumulation, and loss of organic matter were measured. At the end of the process, the CTC, CTC:COT, total nitrogen and C:N ratio were also determined. Throughout the composting process it was recorded that the germination index went from 45.27 to 109.43, as the material changed from being dominated by phytotoxic compounds to phytostimulants. In addition, organic compound CTC increased from 27.2 to 57.8, showing organic material degradation occurred in only 37 days. The experimental analysis of the degradation process, has shown that treatment of urban organic waste in compost heaps is both viable and safe under domestic circumstances.

Key words: Aerobic degradation. Treatment. Urban solid waste.

Resumo: Estima-se que do montante de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil 51% são representados por resíduos orgânicos, que apresentam elevado potencial de reciclagem por meio de processos alternativos. Uma alternativa para a otimização e reciclagem dessa fração seria o incentivo e disseminação da compostagem domiciliar. Assim, o propósito desse estudo foi avaliar variáveis de controle do processo de compostagem de resíduos orgânicos domiciliares, verificar a qualidade do composto orgânico final produzido e averiguar a viabilidade da condução desse processo em residências urbanas. Os resíduos orgânicos foram coletados durante três dias, distribuídos ao longo de uma semana, em 20 residências da área urbana do município de Marmeireiro – PR. Uma pilha de compostagem foi montada com massa inicial de 137,21 kg, em matéria natural. Ao longo do processo de degradação, mensurou-se: temperatura, massa seca, volume, pH, condutividade elétrica, fitotoxicidade, sólidos voláteis, carbono orgânico total (COT) e perda de matéria orgânica. Ao término do processo, também foram avaliadas a capacidade de troca catiônica (CTC), relação CTC:COT, nitrogênio total e relação carbono:nitrogênio (C:N). Ao longo da compostagem, verificou-se que o índice de germinação passou de 45,27 para 109,43%, saindo da condição de composto fitotóxico para fitoestimulante. A CTC passou de 27,2 para 57,8 cmol kg⁻¹, comprovando a degradação do material orgânico em apenas 37 dias. Com base nos parâmetros de controle estudados, ao longo do processo de degradação, comprova-se a viabilidade e segurança no tratamento domiciliar de resíduos orgânicos urbanos por compostagem em pilha.

Palavras-chave: Degradação aeróbia. Tratamento. Resíduos sólidos urbanos.

*Corresponding author

Submitted for publication on 30/07/2018 and approved 23/09/2018

¹Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão, CEP: 85601-970, Francisco Beltrão, PR, Brasil. maico.chiarelotto@gmail.com

²Discente de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Francisco Beltrão. willianbottin@hotmail.com, cspicker@alunos.utfpr.edu.br, savio.duarte1@gmail.com

³Chefe da divisão de resíduos sólidos do município de Marmeireiro, PR. marilete_chiarelotto@hotmail.com.

⁴Docente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Medianeira. mbortoli@utfpr.edu.br.

INTRODUCTION

Every day, domestic activities and city waste collection generate a subproduct known as Urban Solid Waste (USW) (SINGH *et al.*, 2014; GONÇALVES *et al.*, 2018). With the constant increase in residue generation, their production provides cause for concern for even small cities around the globe (PATEL *et al.*, 2010; GONÇALVES *et al.*, 2018).

To illustrate the difficulty of UWM management in Brazil, 214,405 tons of such residues are generated daily, corresponding to 1.04 kg/person⁻¹. Of this, 8.84% is not collected; and of the 5,570 municipalities in Brazil, 30.4% do not have a selective collection initiative. Another problem with UWM management steps occurs with the final disposal, since only 58.4% of collected waste is sent to fully-managed landfills. The remainder suffers various forms of inappropriate disposal, including deposition in incompletely-controlled (24.2%) and uncontrolled landfills (17.4%), causing such negative environmental impacts as soil, water and air pollution, as well as having social and socio-economic impacts. (ABRELPE, 2017).

It is estimated that of all the urban solid waste generated in Brazil, 51.4% is composed of organic waste (BRASIL, 2012), which has a high potential recyclability via alternative processes. However, these organic wastes are being sent to landfill, so wasting their reutilization potential. Additionally, this reduces the useful life of such landfills, while the large volumes of liquid waste arising from decomposition of such organic materials pose a variety of hazards. Therefore, the encouraging home composting and dissemination information on the process involved have the potential as important alternatives for the optimization and recycling of these materials.

Composting is a series of biological and physico-chemical processes that optimizes of organic residue degradation to generate stabilized organic compounds (KIEHL, 2010). The technique is viable for home treatment of USW, because it is easy to monitor and cheap to do. Thus, providing information on composting techniques in household situations can reduce in the volumes of USW sent for collection, as well that finally disposal of in landfills.

The composting process and material stabilization should not be evaluated based only on one parameter (BERNAL *et al.*, 2009). A set of variables need to be used to give reliable results, mainly due to the great variation of the organic residues being composted (LAZCANO *et al.*, 2008). The literature proposes a series of parameters, such as temperature, pH, electrical conductivity, total organic carbon, phytotoxicity, C:N ratio and cation exchange capacity, to evaluate both the behavior of the process over time, and its final product (BERNAL *et al.*, 2009).

INTRODUÇÃO

Todos os dias, atividades domésticas e limpeza pública geram subprodutos denominados de resíduos sólidos urbanos (RSU) (SINGH *et al.*, 2014; GONÇALVES *et al.*, 2018). Com o constante aumento na geração de resíduos, a gestão torna-se preocupante desde grandes às pequenas cidades do mundo (PATEL *et al.*, 2010; GONÇALVES *et al.*, 2018).

Para comprovar a dificuldade do gerenciamento de RSU no Brasil, diariamente são geradas 214.405 toneladas, correspondendo a 1,04 kg hab⁻¹ dia⁻¹. Deste montante, 8,84% dos resíduos não chegam a ser coletados e dos 5.570 municípios do Brasil, 30,4% não possuem iniciativa de coleta seletiva. Outra falha nas etapas do gerenciamento de RSU pode ser verificada na disposição final, onde apenas 58,4% dos resíduos coletados são encaminhados para aterros sanitários. O restante é encaminhado para formas de disposição incorreta, como aterros controlados (24,2%) e lixões (17,4%), ocasionando impactos ambientais negativos como poluição do solo, recursos hídricos e ar, além de impactos sociais e econômicos (ABRELPE, 2017).

Estima-se que do montante de resíduos sólidos urbanos gerados no Brasil, 51,4% são compostos por resíduos orgânicos (BRASIL, 2012), os quais apresentam elevado potencial de reciclagem por meio de processos alternativos. Porém, verifica-se que estes resíduos orgânicos estão sendo encaminhados para disposição final, com desperdício de seu potencial de reaproveitamento. Dessa forma, ocasiona-se a redução da vida útil dos aterros sanitários, além da elevada geração de resíduo líquido proveniente da degradação de materiais orgânicos. Portanto, o incentivo e disseminação do processo de compostagem domiciliar seria uma importante alternativa para a otimização e reciclagem destes materiais.

A compostagem é o conjunto de processos biológicos e físico-químicos que visa otimizar a degradação de resíduos orgânicos para geração de composto orgânico estabilizado (KIEHL, 2010). Esta técnica é viável para o tratamento domiciliar dos RSU, pois apresenta fácil monitoramento e baixo custo de execução. Deste modo, a disseminação da execução desta técnica em residências urbanas, pode acarretar na redução do montante de RSU encaminhado para coleta, bem como para disposição final em aterros sanitários.

O processo de compostagem e a estabilização do material não devem ser avaliados com base em apenas um parâmetro (BERNAL *et al.*, 2009). Um conjunto de variáveis deve ser utilizado para dar confiabilidade aos resultados, principalmente devido à grande variação dos resíduos orgânicos que são compostados (LAZCANO *et al.*, 2008). A literatura propõe uma série de parâmetros, como temperatura, pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, fitotoxicidade, relação C:N e capacidade de troca de cátions, para avaliar o comportamento do processo ao longo do tempo, bem como seu produto final (BERNAL *et al.*, 2009).

The objective of this study was to assay control characteristics for the composting process of household organic waste, as well as the quality of the final organic material produced and test the feasibility of urban households conducting this process.

MATERIALS AND METHODS

Household organic waste was collected across three days from 20 households in the urban area of Marmeleiro municipality, southwestern Paraná state, southern Brazil. The composting process was conducted on the campus of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR), Francisco Beltrão municipality, Paraná, Brazil. The compost heap was placed in an area with no soil waterproofing and no cover, so as to simulate realistic household-like conditions.

The initial mass of biological matter of the compost heap was 137.2 kg, of which 86.5 kg was organic household waste, and 50.69 kg was derived from tree pruning. Pruned material was added to balance the initial C: N ratio of the compost heap. The initial dry matter mass was 54.05 kg, and initial C:N ratio 26.03. During initial heap assembly, pruned material was added at the base of the compost heap. Organic waste was then added in layers intercalating with pruned material, with the final outer layer of the heap consisting of pruned material to minimize residue exposure and reduce vermin attraction.

Throughout the composting process, the material was turned manually seven times, with irregular intervals between them to simulate the way the process was most likely to occur under household circumstances. When turning, the material was homogenized and divided into three parts. A sample was then collected from each and these were retained for later laboratory analysis. The degraded material stabilization process was terminated after 37 days, when core temperature had stabilized near the ambient value.

Heap temperature was monitored daily with a mercury thermometer. Readings were taken at three points, at a depth of approximately 25 cm. From these data, average daily temperature was calculated, and the thermal profile and exothermic index were determined. During each turning, the dry mass and volume of the compost heap were measured. Dry mass was calculated by weighing the organic matter with a digital scale and then correcting this obtained based on water content values determined in the laboratory. After weighing, organic material was packed in a container of known dimensions, to calculate volume.

Diante do exposto, objetivou-se avaliar caracteres de controle do processo de compostagem de resíduos orgânicos domiciliares, além de verificar a qualidade do composto orgânico final produzido e averiguar a viabilidade da condução deste processo em residências urbanas.

MATERIAL E MÉTODO

Os resíduos orgânicos domiciliares foram coletados durante três dias em 20 residências da área urbana do município de Marmeleiro, localizado no Sudoeste do estado do Paraná, Brasil. O processo de compostagem foi conduzido em área experimental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), município de Francisco Beltrão, Paraná, Brasil. A pilha de compostagem foi conduzida em área sem impermeabilização de solo e sem cobertura, visando simular condições reais para aplicação do processo em residências urbanas.

A massa inicial da pilha de compostagem em matéria natural foi de 137,2 kg, dos quais 86,5 kg foram de resíduos orgânicos domiciliares e 50,69 kg proveniente da poda de árvores da arborização urbana. A adição da poda visou equilibrar a relação C:N inicial da pilha de compostagem. A massa inicial em matéria seca foi de 54,05 kg. A relação C:N inicial foi de 26,03. Na montagem, inicialmente adicionou-se poda de arborização urbana para compor a base da pilha. Em seguida, os resíduos orgânicos domiciliares foram adicionados intercalados com camadas de poda de arborização, finalizando a pilha com poda de arborização, para evitar a exposição dos resíduos e atração de vetores.

Ao longo do processo de compostagem, realizaram-se sete revolvimentos manuais, com intervalo de tempo indefinido, para simular um processo real a ser realizado em residências, onde os habitantes podem revolver a pilha de compostagem em intervalos diferentes. No ato de revolvimento da massa, a leira era homogeneizada e dividida em três partes. A partir de cada parte coletou-se uma amostra, com a qual realizou-se o quarteamento para posterior análises laboratoriais. O processo de estabilização do material em degradação, foi finalizado após 37 dias, com a estabilização da temperatura da pilha, próxima à ambiente.

A temperatura da pilha foi monitorada diariamente com auxílio de termômetro de mercúrio. Os valores foram verificados em três pontos, com profundidade aproximada de 25 cm. Com estes dados, calculou-se a média diária de temperatura e determinou-se o perfil térmico e índice exotérmico. Durante cada revolvimento, determinaram-se: massa seca e volume da pilha de compostagem. A massa seca foi determinada pela pesagem da matéria natural, em balança digital e posterior correção de acordo com o teor de água determinado em laboratório. Após a pesagem, os resíduos foram acondicionados em recipiente com dimensões conhecidas objetivando conhecer o volume.

To determination pH and electrical conductivity (EC), 10 g of in natura sample were weighed, followed by the addition of 50 mL of distilled water. Subsequently, the material was agitated for 30 minutes at 250 rpm on a shaker table (TECASCO *et al.*, 1995). Readings were made using a pHmeter and bench conductivity meter. Total organic carbon (TOC) values were obtained from incineration in a muffle furnace (CARMO, SILVA, 2012). Organic matter losses were calculated from the initial (X1) and final (X2) ash content of each layer (Equation 3), following Paredes *et al.* (2000).

$$\text{OM loss (\%)} = 100 - 100 \frac{([X1(100-X2)])}{([X2(100-X1)])}$$

The germination index was determined using the methodology of Saidpullicino *et al.* (2007), using the aqueous extract from the composting process. For this, germination tests were carried out with 10 seeds of *Lepidium sativum* (garden cress) placed in Petri dishes, with a double sheet of filter paper, and moistened with 3 mL of aqueous extract. Subsequently, were sent to a BOD chamber for 72 h at a temperature of 26° C. Seeds grown with 3 mL of distilled water were used as a control. Phytotoxicity was calculated by means of a germination index (GI%), as the product of the percentage of viable seeds, the number of seeds germinated and the growth of roots from seedlings grown with extract and control:

$$\text{GI (\%)} = \frac{(\text{NGext} \cdot \text{LRext})}{(\text{NGcont} \cdot \text{LRcont})} \cdot 100$$

Where NGcont is the number of germinated seeds in the control, LRext is the average length of extract-grown radicles (cm), and LRcont is the mean length of control-grown radicles (cm).

Total nitrogen content was determined following sulfur digestion of samples, followed by Kjeldahl distillation, using methods described by Malavolta *et al.* (1989). The C:N ratio was calculated from the ratio between total organic carbon and total nitrogen values. Cation exchange capacity (CEC) was determined by titration of a 0.5 mol L⁻¹ calcium acetate solution with activated carbon, following the methods of Brazil (2014). The CEC: TOC ratio was calculated from the ratio between the values for CEC and total organic carbon (TOC).

Organic matter losses during the degradation process were adjusted to a first-order kinetic function (PAREDES *et al.*, 2000). This model was determined as the best fit using a random distribution of residuals, sum of residual mean square (SMS) and a significant F value.

$$\text{OM loss (\%)} = A (1 - e^{-kt})$$

A determinação de pH e condutividade elétrica (CE), pesaram-se 10 g de amostra in natura, seguido da adição de 50 mL de água destilada. Posteriormente, o material foi agitado por 30 minutos a 250 rpm em mesa agitadora (TEDESCO *et al.*, 1995). As leituras foram realizadas com auxílio de peagâmetro e condutivímetro de bancada. Os valores de carbono orgânico total (COT) foram obtidos por ignição em forno de mufla (CARMO; SILVA, 2012). As perdas de matéria orgânica foram calculadas a partir dos conteúdos de cinzas inicial (X1) e final (X2) para cada leira (Equação 3), de acordo com Paredes *et al.* (2000).

O índice de germinação foi determinado pela metodologia de Saidpullicino *et al.* (2007), com uso do extrato aquoso. Para isto, o teste de germinação foi realizado com 10 sementes de *Lepidium sativum* (agrião de jardim) colocadas em placas Petri, com folha dupla de papel filtro, umedecidas com 3 mL do extrato aquoso. Posteriormente, foram encaminhadas à câmara BOD, por 72 h e temperatura de 26 °C. Além disso, utilizaram-se placas com 3 mL de água destilada, como tratamento controle. O teste de fitotoxicidade foi calculado por meio do índice de germinação (IG%), como o produto da porcentagem de sementes viáveis, o número de sementes germinadas e o crescimento das raízes do extrato e controle.

Em que NGext é o número de sementes germinadas no extrato, NGcont é o número de sementes germinadas no controle, LRext é o comprimento médio das radículas do extrato (cm) e LRcont comprimento médio das radículas do controle (cm).

O teor de Nitrogênio Total foi determinado após digestão sulfúrica das amostras, seguido por uma destilação Kjeldahl, conforme descrito por Malavolta *et al.* (1989). A relação C:N foi determinada pela simples razão entre os valores de carbono orgânico total e nitrogênio total, que foram determinados pelas metodologias supracitadas. A capacidade de troca de cátions (CTC) foi determinada pela titulação de uma solução de acetato de cálcio 0,5 mol L⁻¹ com carvão ativado, de acordo com a metodologia descrita por Brasil (2014). A relação CTC:COT foi calculada pela razão entre o valor CTC e de carbono orgânico total (COT).

As perdas de matéria orgânica durante o processo de degradação foram ajustadas para uma função cinética de primeira ordem (PAREDES *et al.*, 2000). Este modelo foi determinado como o melhor ajuste, por proporcionar uma distribuição aleatória dos resíduos, menor valor do quadrado médio residual (QMR) e um valor F significativo.

Where A is the maximum degradation of organic matter (% C), k is the rate constant (d^{-1}) and t is the composting time (days). The sum of mean residual squares (SMS) and F values were calculated to allow comparisons of adjusted functions and the statistical significance of the adjustment curve.

Principal component analysis (PCA) was used to determine the behavior of temperature during the composting process, values for dry mass, volume, pH, electrical conductivity, total organic carbon, germination index and exothermic accumulation. To avoid auto-correlation, the main components were extracted from the correlation matrix of the original variables. Following the criteria of (FERREIRA, 2011), main components were considered to be those that explained 70% of the total data variance.

RESULTS AND DISCUSSION

When analyzing the results obtained in the composting process, the thermophilic phase was found to be present for the first 19 days, while the rest of the process occurred under mesophilic conditions (Figure 1 and Table 1). For the first few days, a rapid temperature rise was observed, due to the extensive metabolic activity of the microorganisms present in the matrix, a result of the ideal conditions for the process provided by the compost heap, including as C: N ratio (KIEHL, 2010).

Em que A é a degradação máxima de matéria orgânica (%C), k é a constante de taxa (d^{-1}) e t é o tempo de compostagem (dias). Os valores do quadrado médio residual (RMS) e F foram calculados para comparar os ajustes de diferentes funções e a significância estatística da curva de ajuste.

Para determinação do comportamento da temperatura, massa seca, volume, pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, índice de germinação e acúmulo exotérmico, ao longo do processo de compostagem, foram submetidos a análise de componentes principais (ACP). Os componentes principais foram extraídos da matriz de correlação das variáveis originais, para evitar a interferência das unidades das variáveis observadas. O critério adotado para a seleção dos componentes principais foi o da proporção acumulada de explicação mínima, com 70% da variância total dos dados (FERREIRA, 2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao analisar os resultados obtidos no processo de compostagem, é possível observar que a fase termofílica esteve presente ao longo de 19 dias, sendo o restante do processo em condições mesofílica (Figura 1 e Tabela 1). Nos primeiros dias, observou-se rápida elevação da temperatura, fenômeno que ocorre devido à grande atividade metabólica dos microrganismos presentes no meio, devido as condições ideais do processo, como relação C:N (KIEHL, 2010).

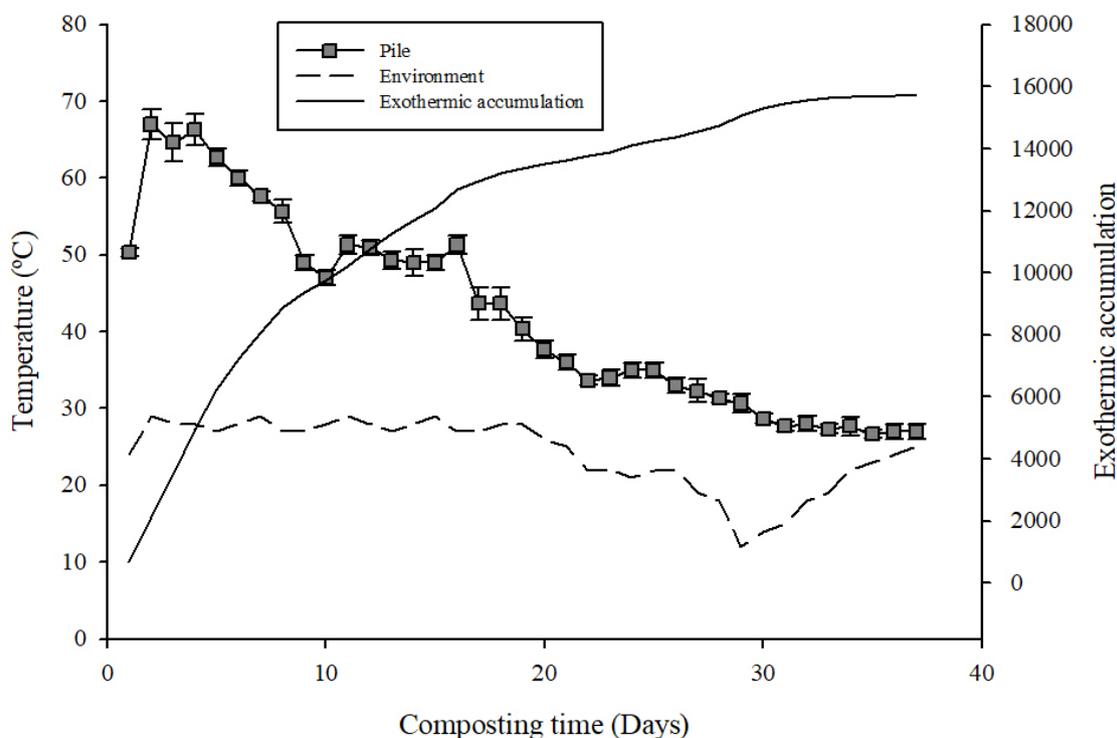


Figure 1 - Thermal profile of the composting process.

Figura 1 – Perfil térmico do processo de compostagem.

Measurements showed that the temperature remained above 65°C for three days (Table 1). For an open compost system, the ideal situation is for the heap to remain above 65°C for at least three days, or above 55°C for a minimum of 14 days (CONAMA N° 481/2017).

Verificou-se que no processo de compostagem a temperatura permaneceu acima de 65°C por três dias (Tabela 1), encontrando-se dentro as normas. Para sistemas de compostagem aberto, é indicado que a temperatura permaneça acima de 65°C por no mínimo três dias, ou acima de 55°C por no mínimo 14 dias (CONAMA N° 481/2017).

Table 1 - Temperature control during the composting process

Tabela 1 - Controle de temperatura durante o processo de compostagem

Parameter	Pile
Thermophilic phase duration (days)	19
Maximum temperature (°C)	67
Maximum temperature day	2°
Days with temperatures ≥ 65 °C	3
EXI ^a ^b	15.702
EXI ² /composting time	424.37

^aThermophilic phase: temperatures > 40°C

^bEXI: Exothermic accumulation: quadratic sum of the daily difference between the average temperature of the cell and the ambient temperature during the stabilization phase.

^aFase termofílica: temperaturas > 40°C

^bEXI: Acumulação exotérmica: soma quadrática da diferença diária entre a temperatura média da pilha e a temperatura ambiente durante a fase de estabilização.

The exothermic accumulation, quadratic sum of the daily difference between the average compost heap temperatures, and the ambient temperature highlight the efficiency of the degradation process, as it takes temperature elevation into account. The EXI² ratio values for composting time in the current study (Table 1) are similar to the values reported by Pelegrín *et al.* (2018), and so show the efficiency of the degradation of the organic material under the current experimental conditions.

Reduction of dry mass and volume should be analyzed, as it directly affects the design of compost heaps, as well as the space needed to conduct the process (JURADO *et al.*, 2014). When planning it must be remembered that reduction, due to the degradation of organic matter, occurs throughout the process period (BERNAL *et al.*, 2009).

When composting occurs for 90 to 120 days, ideal dry mass reduction is around 50% (KIEHL, 2010). The current study found a 31% dry mass reduction in 37 days of operation (Table 2).

O acúmulo exotérmico, soma quadrática da diferença diária entre a temperatura média da pilha de compostagem, e a temperatura ambiente servem para verificar a eficiência do processo de degradação, pois leva em consideração a elevação da temperatura. Os valores encontrados para a relação EXI²/tempo de compostagem (Tabela 1), são similares aos valores encontrados por Pelegrín *et al.* (2018) e validam a eficiência de degradação do material orgânico.

A redução da massa seca e volume devem ser analisados no processo, pois afetam diretamente o dimensionamento de pátios de compostagem, bem como a definição do espaço utilizado para conduzir o processo (JURADO *et al.*, 2014). A redução ocorre devido a degradação de matéria orgânica ao longo do processo (BERNAL *et al.*, 2009).

A redução ideal de massa seca é aproximadamente de 50% para compostagem conduzidas entre 90 e 120 dias (KIEHL, 2010). Nesse estudo, verificou-se que em 37 dias a redução de massa seca foi de 31% (Tabela 2).

Expected volume reduction for a composting process lasting for 90 to 120 days is 33%, but may vary according to the characteristics of the waste used (KIEHL, 2010). The reduction recorded in the current study was 45.4% across a 37 day operating time (Table 2). This is likely due to the nature of the initial residues, which were largely easily degraded plants. As a result, a good volume reduction percentage was achieved for this test mixture.

A redução de volume esperada para processo de compostagem conduzido de 90 a 120 dias é de 33%, podendo variar de acordo com as características dos resíduos (KIEHL, 2010). A redução observada nesse estudo foi de 45,4%, no processo conduzido por 37 dias (Tabela 2). Este comportamento foi proveniente das características iniciais dos resíduos, sendo em sua maioria vegetais de fácil degradação. Portanto, a porcentagem de redução de volume foi satisfatória para esta composição inicial.

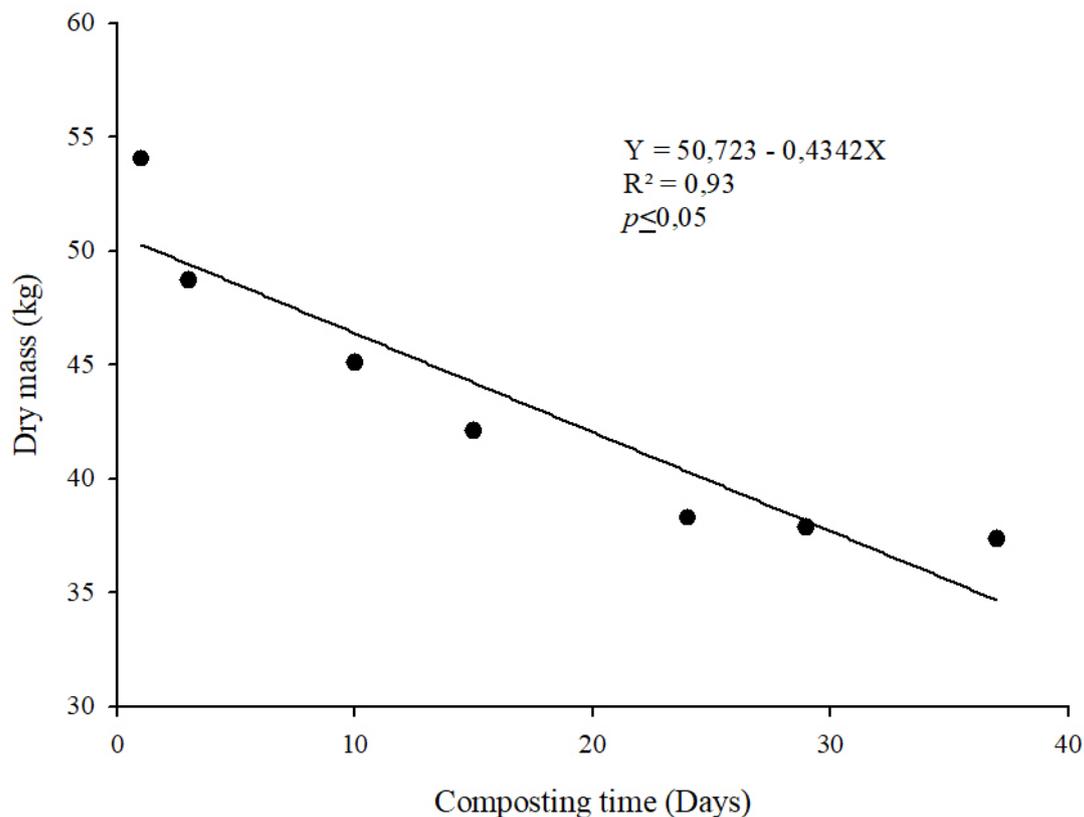


Figure 2 - Dry mass as a function of composting time.

Figura 2 – Massa seca em função do tempo de compostagem.

Table 2 - Temperature control parameters developed during the composting process

Tabela 2 - Parâmetros de controle de temperatura desenvolvidos durante o processo de compostagem

Parameter	Pile	
Dry mass (kg)	Initial	54.05
	Last	37.33
% reduction	30.93	
Volume (m ³)	Initial	0.414
	Last	0.226
% reduction	45.41	

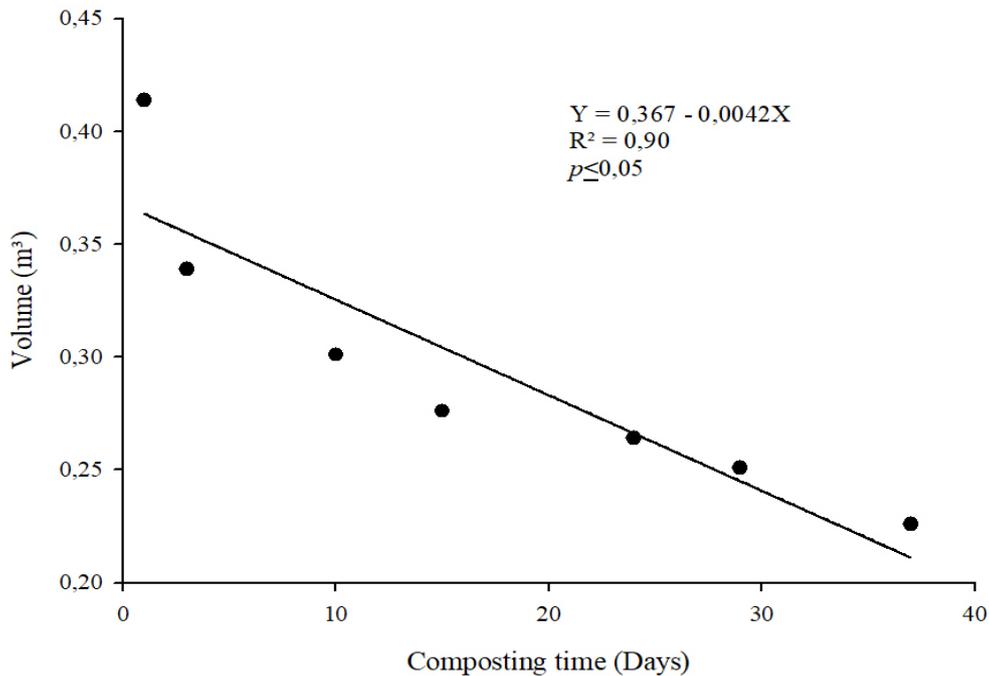


Figure 3 - Volume as a function of composting time.

Figura 3 – Volume em função do tempo de compostagem.

Degradation of organic matter in the composting process occurs due to the metabolic action of aerobic microorganisms, which initially degrade compounds and groups of short chain carbon (also called labile carbon). This is followed by degradation of the more recalcitrant carbon-containing compounds. The current study recorded a 30.8% reduction in organic matter during 37 days of experimental composting. However, the most intense reduction (24.13%) occurred in the first 24 days of the process (Table 3), corresponding to the phase when higher temperatures were detected (Figure 4), and maximum microorganismal metabolic activity would have occurred (GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016).

Using organic matter reduction values, a constituent degradation profile was determined using a first-order kinetic equation. Curve fitting generated the parameter values (standard deviation in parentheses) given in Table 4.

The equation was significant ($p \leq 0.001$) and the fit was adequate. Maximum mineralization values for organic matter (A) was in agreement with values reported by Paredes *et al.* (2000), in a study with four composts derived from olive press wastewater, prepared with three organic residues as the N sources, and two different volume agents, obtained a maximum mineralization of between 55 and 72.5% of organic matter; and Bustamante *et al.* (2008) who, in a co-composting experiment of distillery organic waste with animal manure (74.4 and 54.5%). It should be noted that these studies had different composting times, but still attained roughly similar maximum organic matter mineralization levels.

A degradação de matéria orgânica, no processo de compostagem, é proveniente do metabolismo de microrganismos aeróbios, que degradam inicialmente compostos e grupos de carbono de cadeia curta, denominado carbono lábil, para posterior degradação do carbono mais recalcitrante. Neste experimento verificou-se redução de 30,8% de matéria orgânica ao longo dos 37 dias de compostagem. Porém, destaca-se que redução mais intensa (24,13%) ocorreu nos primeiros 24 dias de processos (Tabela 3), correspondendo à fase em que são detectadas maiores temperaturas (Figura 4) e máxima atividade dos microrganismos (GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016).

Com os valores de redução de matéria orgânica, determinou-se o perfil de degradação destes constituintes, seguindo uma equação cinética de primeira ordem. O ajuste da curva gerou os valores dos parâmetros (desvio padrão entre parênteses) apresentados na Tabela 4.

A equação foi significativa ($p \leq 0,001$) e o ajuste satisfatório. O valor de mineralização máxima da matéria orgânica (A) está de acordo com intervalo verificado por Paredes *et al.* (2000), em estudo com quatro compostos de águas residuais de moinho de azeitona, preparado com três resíduos orgânicos como fonte de N, e dois agentes de volume diferentes, com obtenção de mineralização máxima entre 55,0 e 72,5% de matéria orgânica; e Bustamante *et al.* (2008), em experimento de co-compostagem de resíduos orgânicos de destilaria com estrume animal (74,4 e 54,5%). É importante ressaltar que todos estes estudos apresentaram tempos de compostagem diferentes, porém tempos de mineralização máxima de matéria orgânica aproximados.

Table 3 - Initial and final concentration of organic matter

Tabela 3 - Concentração inicial e final de matéria orgânica

Composting time (Days)	Organic matter (%)	Cumulative reduction (%)
1	76.84	
3	72.11	6.15
10	64.97	15.45
15	60.49	21.28
24	58.30	24.13
29	56.50	26.47
37	53.20	30.76

Table 4 - Parameter values of the first-order equation describing the degradation of organic matter

Tabela 4 - Valores de parâmetros da equação de primeira ordem que descreve a degradação da matéria orgânica

	A	K	F	R ² a	RMS	SEE	A * k
Pile	64.29 (±3.06)	0.1147 (±0.019)	233.6	0.97	14.51	3.8087	7.37

A= maximum degradation of OM (%C); k = constant rate (d⁻¹); R²a= adjusted coefficient of determination; RMS = residual mean square; SEE= standard error of estimate.

A= degradação máxima de MO (%C); k = taxa constante (d⁻¹); R²a= coeficiente de determinação ajustado; RMS = quadrado médio residual; SEE= erro padrão de estimativa.

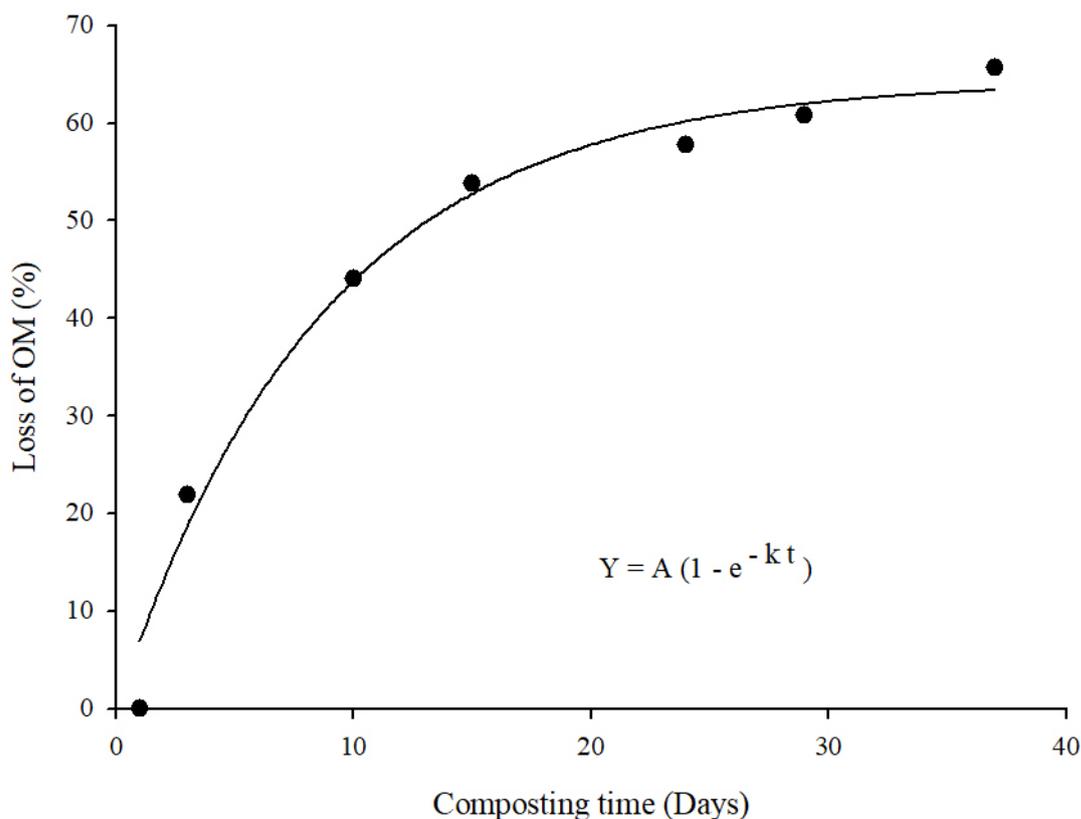


Figure 4 - Loss of organic matter as a function of composting time.

Figura 4 – Perdas de matéria orgânica em função do tempo de compostagem.

The obtained rate of organic matter degradation indicates intense decompositional degradation of material in a short period (Table 4), with the highest degradation intensities occurred at the beginning of the composting process (PAREDES *et al.*, 2000; GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016).

The initial pH was 5.11, a value regarded as acidic (Figure 5), and one which resulted from the composition of the material to be composted. After 10 days of degradation, the pH had increased to 8.27, where it stabilized until the end of the degradation process. Similar behavior was reported by Valente *et al.* (2017), when composting fish waste and Vich *et al.* (2017) in small-scale composting of domestic waste. The increase in pH is according to Pandey *et al.* (2016), results from the volatilization of ammonia and organic acids, the result of protein degradation during the thermophilic phase of composting.

Electrical conductivity decreased from 3.13 to 0.9 mS cm⁻¹ (Figure 5) in the first 10 days of composting. Similar results were reported by Paredes (2002) in a study of the composting of corn straw, cotton waste and sludge from a water treatment plant. The behavior is likely due to the leaching of salts present in the degraded material, due to the addition of water, as well as changes in the absorption capacity of the compost pile from the beginning of the decomposition process.

The germination index (GI) provides a very efficient method for evaluating phytotoxicity of organic compounds derived from the composting process (BUSTAMANTE *et al.*, 2008; BERNAL *et al.*, 2009). In addition to phytotoxicity, this test may show the degree of stabilization and maturation of such compounds (RASHAD *et al.*, 2010; BELO, 2011; GUIDONI *et al.*, 2018). For the composting process analyzed here, the germination index was 45.27% at the beginning of the degradation, (Figure 6), indicating the presence of phytotoxic compounds (BUSTAMANTE *et al.*, 2008) since, according to Bernal *et al.* (2009), GI values below 50% indicate the presence of substances phytotoxic for root growth. Meanwhile, Belo (2011) states that compounds with GI values between 30 and 60% are phytotoxic. Such phytotoxicity may be linked to the presence of volatile organic acids (also indicated by an acid pH), as well as a higher electrical conductivity at this stage of the degradation process.

The germination index increased with composting time (Figure 6), with values changing from phytotoxic to moderately phytotoxic 10 and 15 days after composting began (BELO, 2011). Between 15 and 24 days of process, it presented zero phytotoxicity. By 29 days, according to the classification proposed by Belo (2011), the compost matrix contained compounds with phytostimulant activity for seed germination and plant root growth, as well as stable organic compounds.

A taxa de degradação de matéria orgânica obtida, indica intensa degradação do material em decomposição, em um curto período (Tabela 4). Esse resultado demonstra que a maior intensidade de degradação ocorre no início do processo de compostagem (PAREDES *et al.*, 2000; GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016).

O pH inicial do processo de compostagem foi de 5,11, considerado ácido (Figura 5), em razão da composição da massa a ser compostada com presença de frutas cítricas e alimentos temperados. Após 10 dias de degradação, observou-se aumento do pH até 8,27, os quais estabilizaram até o término do processo de degradação. Este comportamento também foi verificado por Valente *et al.* (2017), em compostagem de resíduos de peixes e Vich *et al.* (2017) em compostagem de resíduos domiciliares em pequena escala. O aumento do pH de acordo com Pandey *et al.* (2016), ocorre devido à volatilização de amônia e ácidos orgânicos, simultaneamente à degradação de proteínas, durante a fase termofílica da compostagem.

A condutividade elétrica apresentou redução de 3,13 para 0,9 mS cm⁻¹ (Figura 5) nos primeiros 10 dias de compostagem. Este comportamento foi observado por Paredes (2002) em compostagem de palha de milho, resíduo de algodão e lodo de estação de tratamento de água, o que pode ser explicado pela lixiviação de sais presentes no material em degradação, ocasionado pela adição de água, além da capacidade de absorção da pilha de compostagem no início da degradação.

Um método muito eficiente para avaliar a fitotoxicidade de compostos orgânicos provenientes do processo de compostagem é o índice de germinação (IG) (BUSTAMANTE *et al.*, 2008; BERNAL *et al.*, 2009). Além da fitotoxicidade este teste pode apresentar o grau de estabilização e maturação dos compostos (RASHAD *et al.*, 2010; BELO, 2011; GUIDONI *et al.*, 2018). Para o processo de compostagem analisado, verificou-se que no início da degradação, o índice de germinação foi de 45,27% (Figura 6), o que indica presença de compostos fitotóxicos (BUSTAMANTE *et al.*, 2008). De acordo com Bernal *et al.* (2009), índice de germinação abaixo de 50% indica a presença de substâncias fitotóxicas para crescimento das raízes. Já Belo (2011) cita que compostos com IG, entre 30 e 60% apresentam fitotoxicidade. Esta fitotoxicidade pode estar atrelada a presença de ácidos orgânicos voláteis, indicados pelo pH ácido, bem como a condutividade elétrica mais elevada nesta etapa do processo de degradação.

O índice de germinação aumentou com o aumento do tempo de compostagem (Figura 6), passando de fitotóxico para moderadamente fitotóxico entre 10 e 15 dias de compostagem (BELO, 2011). Entre 15 e 24 dias de processo, verificou-se que a fitotoxicidade foi nula e após 29 dias, o composto apresentava atividade fitoestimulante para a germinação de sementes e crescimento da raiz de plantas, bem como indicando a estabilidade dos compostos orgânicos, de acordo com classificação proposta por Belo (2011).

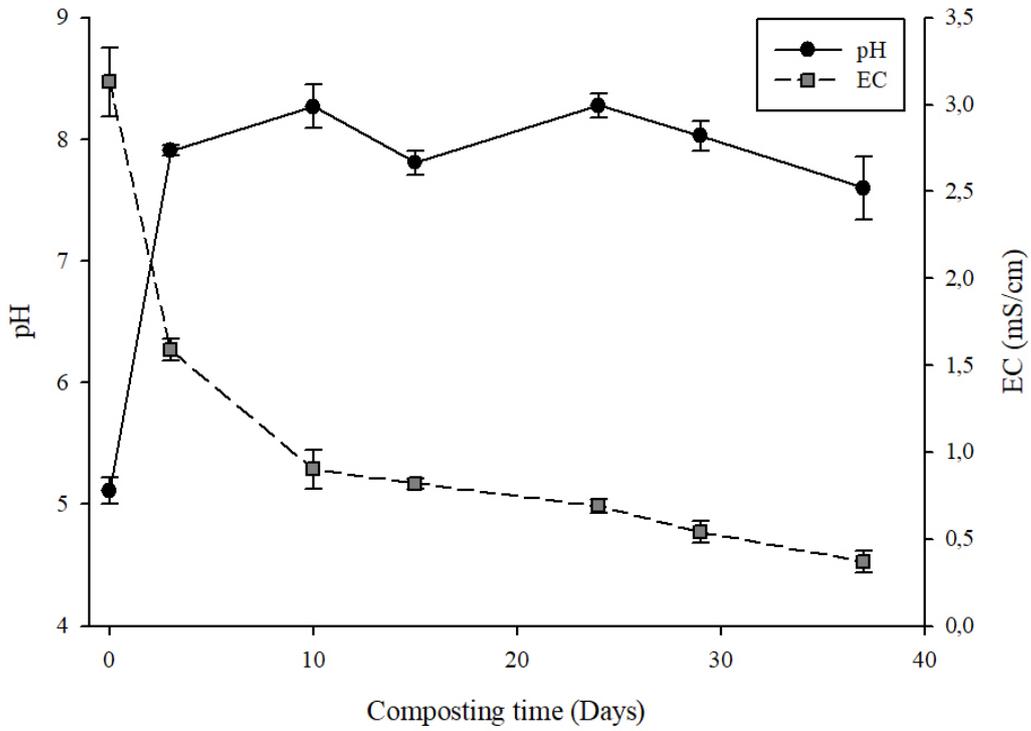


Figure 5 - Behavior of pH and EC as a function of composting time.
 Figura 5 – Comportamento do pH e CE em função do tempo de compostagem.

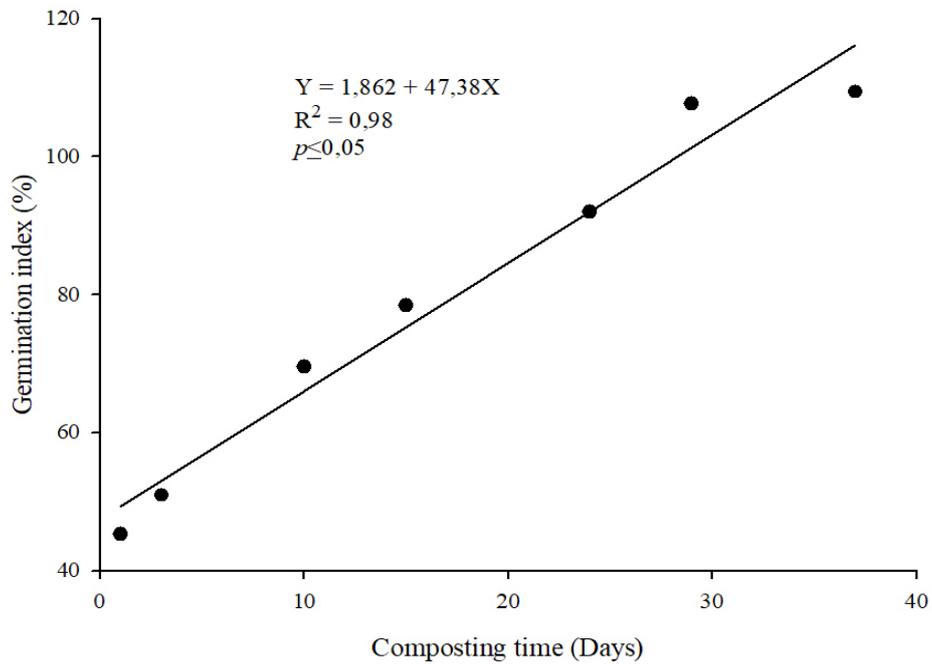


Figure 6 - Germination index as a function of composting time.
 Figura 6 – Índice de germinação em função do tempo de compostagem.

Principle component analysis (PCA) provided an efficient method to understand the interactions between the various variables potentially influencing the composting process (temperature, dry mass, heap volume, pH, EC, TOC, GI and EXA) (Figure 7).

Principle component axis 1 (CP1) (composting time) represented 85.5% of the total variance of the analyzed data, explaining the variation in total organic carbon (TOC), dry mass (DM), volume, electrical conductivity (EC), germination index (GI) and exothermic accumulation (EXA). Therefore, the variables COT, MS, heap volume and CE correlate positively with principle component 1. This is in line with the fact that the highest values observed for these variables occur during the first day of degradation, followed by the third and tenth, with the lowest values detected on the last day of the study process (day 37). This behavior is also seen when initial and final character measures are compared (Table 5).

Total organic carbon (TOC) decreased throughout the process, however, the final value was in line with IN 25/2009 (Table 5). The reduction of TOC during the composting process is related to the intense microorganismal activity that occurs, especially in the thermophilic phase of the process (GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016). Total nitrogen concentration (N) was within the limits determined by IN 25/2009. Reduction of the C:N ratio between the beginning and end of the stabilization phase of the decomposition process was caused by TOC reduction, since N concentrations remained stable. The C:N ratio in the final stage of composting (Table 5) meets IN 25/2009 and, according to the literature, this variable can be used as an indicator that the end of the degradation process has occurred (AWASTHI *et al.*, 2014; ONWOSI *et al.*, 2017).

Values for cation exchange capacity (CEC), and the CEC:TOC ratio, increased significantly between the beginning and the end of the composting process (Figure 7 and Table 5). These variables are related to the generation of humus from raw organic matter (ROIG *et al.*, 1988; BERNAL *et al.*, 2009). Bernal *et al.* (2009) indicate CEC values greater than 60 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. In this case, the values obtained in the current study were close to this (Table 5). For the CTC:TOC ratio, the value obtained, 1.7, indicates good humification of the raw organic compounds present in the original matrix (ROIG *et al.*, 1988). In this case, the observed values are close to those found these authors and by Bustamante *et al.* (2008) (2.36 and 2.72, respectively) when co-composting distillery waste with animal manure. Gavilanes-Terán *et al.* (2016), when composting horticultural residues, obtained CTC:TOC values of 1.11 and 1.29 using two different organic material mixtures.

A análise de componentes principais (ACP) é apresentada como uma alternativa eficiente para entender a interferência da compostagem sobre diferentes caracteres explicativos (temperatura, massa seca, volume, pH, CE, COT, IG e EXI) (Figura 7).

A componente principal 1 (CP1) localizado no eixo horizontal apresentou 85,5% da variância total dos dados analisados, apresentando a explicação das variáveis carbono orgânico total (COT), massa seca (MS), volume, condutividade elétrica (CE), índice de germinação (IG) e acúmulo exotérmico (EXI). Portanto, as variáveis COT, MS, volume e CE correlacionam-se positivamente com a componente principal 1. Isso confirma que os maiores valores observados para estas variáveis referem-se ao primeiro dia de degradação, seguido do terceiro e décimo, com os menores valores detectados no último dia de processo (37º dia). Este comportamento também pode ser verificado no comparativo das características iniciais e finais (Tabela 5).

O carbono orgânico total (COT) apresentou redução ao longo do processo, no entanto o valor final se enquadrou com a IN 25/2009 (Tabela 5). A redução do COT no processo de compostagem está relacionada à intensa atividade dos microrganismos, principalmente na fase termofílica do processo (GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016). A concentração de nitrogênio total (N) apresentou-se dentro dos limites determinados pela IN 25/2009. A redução da relação C:N entre o início e término do processo de estabilização, foi ocasionada pela redução de COT durante a compostagem, pois as concentrações de N permaneceram estáveis. A relação C:N no composto orgânico final (Tabela 5) atende a IN 25/2009 e, de acordo a literatura esta variável pode ser utilizada como indicador do término do processo de degradação (AWASTHI *et al.*, 2014; ONWOSI *et al.*, 2017).

Os valores para capacidade de troca de cátions (CTC) e relação CTC:COT aumentaram significativamente entre o início e término do processo de compostagem (Figura 7 e Tabela 5). Estas variáveis estão relacionadas ao processo de humificação da matéria orgânica (ROIG *et al.*, 1988; BERNAL *et al.*, 2009). Bernal *et al.* (2009) indicam valores de CTC superiores a 60 $\text{cmol}_c \text{kg}^{-1}$. Neste este caso, os valores obtidos no presente estudo foram próximos ao indicado (Tabela 5). Para a relação CTC:COT, o limite 1,7 indica, com vista a uma boa humificação dos compostos orgânicos (ROIG *et al.*, 1988). Neste caso, os valores observados estão de acordo com a indicação dos autores, e próximos dos encontrados por Bustamante *et al.* (2008), sendo 2,36 e 2,72, em co-compostagem de resíduos de destilaria com estrume animal; Gavilanes-Terán *et al.* (2016), em compostagem com resíduos hortícolas, obtiveram CTC:COT de 1,11 e 1,29 em duas composições diferentes do material orgânico.

Table 5 - Main initial and final characteristics of the composting processes

Tabela 5 - Principais características iniciais e finais do processo de compostagem

Parameter	Initial	Last	IN 25/2009 MAPA
EC (mS cm ⁻¹)	3.13±0.21	0.37±0.6	US
pH	5.11±0.11	7.60±0.26	Minimum 6.0
TOC (%)	42.69±1.74	29.56±0.49	Minimum 15
N (%)	1.64	1.74	Minimum 0.5
C:N ratio	26.03	16.99	Maximum 20
CEC (cmol _c kg ⁻¹)	27.2±0.8	57.8±1.1	AS
CEC:TOC ratio	0.64±0.08	1.95±0.1	AS
GI (%)	45.27±0.8	109.43±0.8	US

EC: electric conductivity; TOC: organic total carbon; N: total nitrogen; CEC: cations exchange capacity; GI: germination index; US: unsolicited; AS: as stated.

CE: condutividade elétrica; COT: carbono orgânico total; N: nitrogênio total; CTC: capacidade de troca de cátions; IG: índice de germinação; NS: não solicitado; CD: conforme declarado.

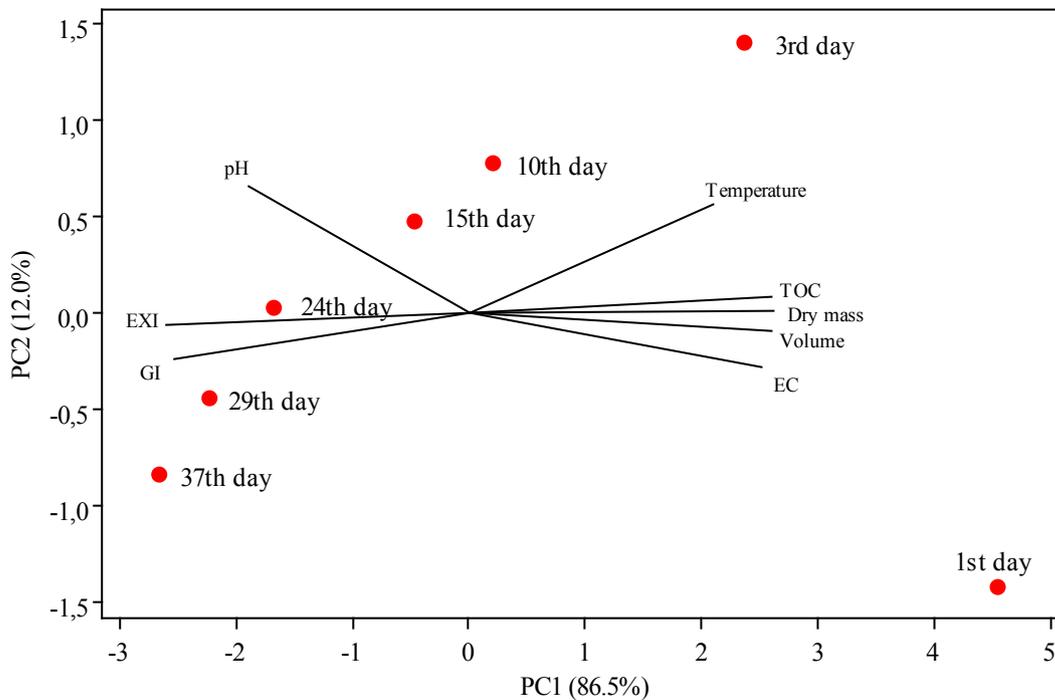


Figure 7 - Biplot of principal component analysis.

Figura 7 – Biplot da análise de componentes principais.

GI and EXA values correlate negatively with principle component 1 (composting time). GI is one of the parameters most commonly used to assay stabilization levels and phytotoxicity of a compost (BUSTAMANTE *et al.*, 2008; RASHAD *et al.*, 2010; BELO, 2011; GUIDONI *et al.*, 2018).

Principle component 2 (CP2) accounted for 12% of the total data variance, so that, together, CP1 and CP2 explain 98.5% of total data variance. Variables temperature and pH were explained by both main components. In this case, it is possible to observe that the temperatures were measured on the third day of composting, and the lowest values on the last day of the process (day 37). The In contrast, pH varied throughout the degradation process. However, the biplot (Figure 7) shows highest values observed on days 10 and 24, and lowest values on day 1. Changes in pH followed well established cycles in composting, being acidic at first, then alkaline at the end of the organic residue degradation period (TURAN, 2008). Final pH values at the end of the process lay within the limits determined by Normative Instruction No. 25/2009 of the Ministry of Livestock and Supply (MAPA) (Table 5).

Therefore, the results of this study indicate that it is feasible to undertake treatment of household organic waste using compost heaps. The results are in agreement with IN 25/2009 of MAPA, as well as within the limits found by other researchers in the area.

CONCLUSIONS

Quantified evaluation of key variables have conclusively shown that composting organic material is a viable and safe way to treat domestic urban organic waste;

At the end of the stabilization process, the compost produced had a composition that lay within the safety limits given Normative Instruction N° 25/2009, thus confirming the feasibility and safety of the final product for use in horticulture and floriculture, without allelopathic effects.

As variáveis IG e EXI correlacionam-se negativamente com a componente principal 1 (tempo de compostagem). O IG é um dos parâmetros mais utilizados para apresentar o grau de estabilização, bem como a fitotoxicidade de um composto (BUSTAMANTE *et al.*, 2008; RASHAD *et al.*, 2010; BELO, 2011; GUIDONI *et al.*, 2018).

O componente principal 2 (CP2) é responsável por 12,0% da variância total dos dados, portanto, CP1 e CP2 totalizam 98,5% da variância dos dados. As variáveis pH e temperatura são explicadas por ambos os componentes principais. Neste caso é possível observar que os maiores valores observados para a variável temperatura foram detectados no terceiro dia de compostagem e os menores valores no último dia de processo (37º dia). O pH variou ao longo da degradação dos resíduos, porém por meio do gráfico biplot (Figura 7) verifica-se que os maiores valores apresentados foram observados no 10º e 24º dias de compostagem, com menor no primeiro dia de degradação. O comportamento do pH seguiu o esperado em compostagem, apresentando-se ácido, no início e alcalino ao término da degradação dos resíduos orgânicos (TURAN, 2008). O valor do pH para o composto orgânico final está dentro dos limites determinados pela Instrução Normativa N° 25/2009 do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento (MAPA) (Tabela 5).

Portanto, de acordo com os resultados desse estudo há viabilidade em realizar o tratamento de resíduos orgânicos domiciliares por meio de compostagem em pilhas. Os resultados verificados estão de acordo com a IN 25/2009 do MAPA, bem como dentro dos limites indicados por pesquisadores da área.

CONCLUSÕES

Por meio dos parâmetros de controle avaliados, comprova-se a viabilidade e segurança no tratamento domiciliar de resíduos orgânicos urbanos por compostagem em pilha.

Ao término do processo de estabilização, o composto produzido estava de acordo com os limites dos parâmetros indicados pela Instrução Normativa N° 25/2009, atestando assim a viabilidade e segurança na utilização do produto final na produção vegetal, sem efeitos alelopáticos.

CITED SCIENTIFIC LITERATURE

- ABRELPE, Associação Brasileira das Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, SP, 2017.
- AWASTHI, M. K.; PANDEY, A. K.; KHAN, J.; BUNDELA, P. S.; WONG, J. W. C.; SELVAM, A. Evaluation of thermophilic fungal consortium for organic municipal solid waste composting. **Bioresource Technology**, v. 168, p. 214-221, 2014.
- BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 22, p. 5444-5453, 2009.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, 2012.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA/DAS/CGAL, 2014. 220p.
- BUSTAMANTE, M. A.; PAREDES, C.; MARHUENDA-EGEA, F. C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; BERNAL, M. P.; MORAL, R. Co-composting of distillery wastes with animal manures: Carbon and nitrogen transformations in the evaluation of compost stability. **Chemosphere**, v. 72, n. 4, p. 551-557, 2008.
- CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 36, n. 4, 2012.
- CONAMA, Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução N° 418 de 03 de outubro de 2017. Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 2017.
- FERREIRA, D. F. **Estatística multivariada**, 2.ed. Lavras: UFLA, 2011.
- GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; IDROVO-NOVILLO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; PAREDES, C. Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador. **Waste Management**, v. 48, p. 127-134, 2016.
- GONÇALVES, A. T. T.; MORAES, F. T. F.; MARQUES, G. L.; LIMA, J. P.; LIMA, R. S. Urban solid waste challenges in the BRICS countries: a systematic literature review. **Revista Ambiente & Água**, v. 13 n. 2, 2018.
- GUIDONI, L. L. C.; MARQUES, R. V.; MONCKS, R. B.; BOTELHO, F. T.; PAZ, M. F. da; CORRÊA, L. B.; CORRÊA, E. K. Home composting using different ratios of bulking agent to food waste. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 141-150, 2018.
- JURADO, M. M.; LÓPEZ, M. J.; MORENO, J. Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: Effects on process efficiency and final product maturity. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 11, p. 1958-1969, 2014.
- KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Degaspari, 2010.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. Piracicaba: POTAFOS, 1989. 201 p.
- ONWOSI, C. O.; IGBOKWE, V. C.; ODIMBA, J. N.; EKE, I. E.; NWANKWOALA, M. O.; IROH, I. N.; EZEUGU, L. I. Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017.
- PANDEY, P.K.; CAO, W.; WANG, Y.; VADDELLA, V.; CASTILHO, A.R.; SOUZA, A.; DEL RIO, N.S. Simulating the effects of mesophilic anaerobic and aerobic digestions, lagoon system, and composting on pathogen inactivation. **Ecological Engineering**, v. 97, p.633- 641, 2016.
- PAREDES, C.; ROIG, A.; BERNAL, M. P.; SANCHEZ-MONEDERO, M. A.; CEGARRA, J. Evolution of organic matter and nitrogen during co-composting of olive mill wastewater with solid organic wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v. 32, n. 3, p. 222-227, 2000.
- PAREDES, C. Bio-degradation of olive mill wastewater sludge by its co-composting with agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v. 85, p. 1-8, 2002.
- PATEL, M. L.; JAIN, R.; SAXENA, A. Assessment of the Municipal Solid Waste & Status of Implementation of Municipal Solid Waste (Management & Handling), Rules, 2000 in the State of Madhya Pradesh, 2008 - A case study. **Waste Management & Research**, v. 29, p. 558-562, 2010.

- PELEGRÍN, M.; SÁEZ-TOVAR, J. A.; ANDREU-RODRÍGUEZ, J.; PÉREZ-MURCIA, M. D.; MARTÍNEZ-SABATER, E.; MARHUENDA-EGEA, F. C.; PÉREZ-ESPINOSA, A.; BUSTAMANTE, M. A.; AGULLÓ, E.; VICO, A.; PAREDES, C.; MORAL, R. Composting of the invasive species *Arundo donax* with sewage and agri-food sludge: Agronomic, economic and environmental aspects. **Waste Management**, v. 78, p. 730-740, 2018.
- RASHAD, F. M.; SALEH, W. D.; MOSELHY, M. A. Bioconversion of rice straw and certain agro-industrial wastes to amendments for organic farming systems: 1. Composting, quality, stability and maturity indices. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 15, p. 5952-5960, 2010.
- ROIG, A.; LAX, A.; CEGARRA, J.; COSTA, F.; HERNANDEZ, M. T. Cation exchange capacity as a parameter for measuring the humification degree of manure. **Soil Science**, v.146, p 311-316, 1988.
- SAID-PULLICINO, D.; ERRIQUENS, F. G.; GIGLIOTTI, G. Changes in the chemical characteristics of water-extractable organic matter during composting and their influence on compost stability and maturity. **Bioresource Technology**, v. 98, n. 9, p. 1822-1831, 2007.
- SINGH, J.; LAURENTI, R.; SINHA, R.; FROSTELL, B. Progress and challenges to the global waste management system. **Waste Management & Research**, v. 32, n. 9, p. 800-812, 2014.
- TEDESCO, M. J.; GIANELLO, C.; BISSANI, C. A.; BOHNEN, H.; WOLKWEISS, S. J. **Análise de solo, plantas e outros materiais**. 2.ed., Porto alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 174p.
- TURAN, N. G. The effects of natural zeolite on salinity level of poultry litter compost. **Bioresource Technology**, v. 99, n. 7, p. 2097-2101, 2008.
- VALENTE, B. S.; ANDREAZZA, R.; XAVIER, E. G.; GOMES, M. C.; PEREIRA, H. D. S.; ÁVILA, F. D. D. Composting for valuation of marine fish waste. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.18, n.4, p. 594-603, 2017.
- VICH, D. V.; MIYAMOTO, H. P.; QUEIROZ, L. M.; ZANTA, V. M. Household food-waste composting using a small-scale composter. **Revista Ambiente & Água**, v. 12 n. 5, 2017.