



COMPORTAMENTO DA TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DOMICILIARES EM PEQUENA ESCALA

Murilo Chennecdge Vieira ¹

Ramily Micheleti de A. O. Meneses²

Roger Nabeyama Michels³

Tatiane Cristina Dal Bosco⁴

Tratamento Reaproveitamento, Reutilização e Tratamento de Resíduos (sólidos e líquidos)

Resumo

A temperatura é um fator importante a ser examinado no processo de compostagem, pois é um indicativo da ação microbiana. Entretanto, a maioria dos estudos de compostagem monitoram a temperatura com pouca frequência e/ou com intervalos longos, principalmente devido ao tempo exigido pelas coletas manuais. Objetivou-se neste trabalho, por meio de um coletor de dados automatizado, analisar o comportamento da temperatura de uma composteira domiciliar, e a partir de medidas estatísticas descritivas, aferir as várias fases da compostagem. Para tal, foi utilizado uma composteira doméstica de 30L, em que se intercalou serragem e resíduos orgânicos durante um período de 59 dias. O sistema automatizado para a coleta de dados teve como base um protótipo desenvolvido com uma placa Arduino Mega, dez sensores de temperatura, shields de RTC e micro SD. Durante a fase de decomposição ativa foram encontrados os maiores valores de temperatura e, em contrapartida, os menores valores durante a fase de maturação. A variância amostral obtida também foi maior durante a fase inicial e, a menor durante a fase final. Estes resultados apontam a relevância de um monitoramento constante da temperatura sobre o processo de compostagem para estudos que almejam precisão e confiabilidade de dados.

Palavras-chave: Automatização de coleta de dados; Arduino; Datalogger; Resíduos sólidos.

¹Aluno de graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR – Campus Londrina, chennecdge.che@gmail.com.

²Aluna de graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR – Campus Londrina, ramilymeneses@gmail.com

³Prof. Dr. Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR – Campus Londrina, Departamento de Engenharia Mecânica, rogermichels@utfpr.edu.br.

⁴Prof. Dra. Universidade Tecnológica Federal do Paraná/UTFPR – Campus Londrina, Departamento de Engenharia Ambiental, tatianebosco@utfpr.edu.br.



INTRODUÇÃO

Em uma década, segundo a ABRELPE (2020), houve um aumento considerável na geração de resíduos sólidos urbanos (RSU), passando de 67 milhões para 79 milhões de toneladas por ano. Desses resíduos, cerca de 45,3% é constituído de matéria orgânica (ABRELPE, 2020), que pode ser reciclada mediante a compostagem.

A compostagem é um processo aeróbico em que a matéria orgânica é transformada, via degradação microbiana, em um composto rico em nutrientes. Além dos benefícios relacionados à diminuição de RSU a ser gerenciado, o composto pode ser utilizado na adubação de hortas urbanas, jardins, na agricultura, no combate à erosão do solo e, inclusive, possui potencial de comercialização e geração de renda para a população (POLZER, 2016).

Assim, para que o composto obtido seja de boa qualidade, e conseqüentemente, traga resultados satisfatórios, alguns parâmetros físico-químicos de seu processo devem ser controlados, como: aeração, relação C/N, temperatura, umidade, tamanho do material utilizado, entre outros (BUENO et al., 2009; DIAZ et al., 2002). Nesse sentido, a temperatura se destaca por ser um parâmetro indicador da ação microbiana na compostagem, sendo necessário seu monitoramento frequentemente para otimizar o processo e proporcionar condições adequadas para o desenvolvimento dos microrganismos.

Entretanto, devido à falta de um sistema automatizado de coleta de dados, nem sempre pesquisadores monitoram a temperatura constantemente: Marin et al. (2014) coletaram dados semanalmente e, Zhang e Sun (2016), somente uma vez por dia. Monitoramentos pouco frequentes da temperatura podem implicar em equívocos no manejo da compostagem, como é o caso da aeração e umidificação do material, o que pode colocar em risco a eficiência do processo e a qualidade do produto final.

Sendo assim, o objetivo deste trabalho é analisar a temperatura, monitorada a cada 10 minutos, durante a compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e, via estatística descritiva, determinar as fases do processo.

METODOLOGIA

O processo de compostagem foi iniciado em 21 de março de 2021 e teve duração 59 dias. Foi realizado num domicílio, em ambiente coberto e com grande passagem de ar, na cidade de Londrina, Paraná, Brasil.

Nesse experimento, desejou-se simular o tratamento de resíduos orgânicos em pequena escala, ou seja, replicável de forma doméstica, inclusive apartamentos, com alimentação compatível a duas pessoas e com oito inclusões de sobras de alimentos (cascas de frutas, verduras, borra e filtro de café) durante o processo de compostagem: aos 3, 8, 9, 11, 12, 16, 24 e 26 dias após o início da compostagem.

Os resíduos orgânicos foram alocados em camadas, em um reator de 30 litros (Figura 1a), intercalando com serragem na proporção de 1:3 (em volume). Para proporcionar uma maior aeração no processo foram feitos furos de 4 mm estrategicamente posicionados nas paredes do reator e, no fundo (Figura 1b), fez-se um furo central para permitir o escoamento do chorume. No fundo do reator e em sua superfície foi depositado somente a serragem para evitar odores e a atração de vetores (Figura 1b).

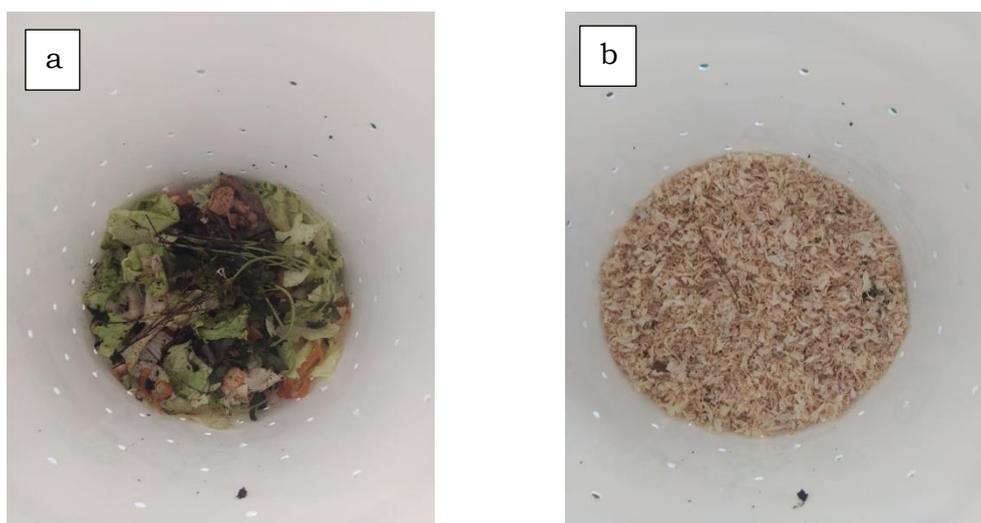


Figura 01: Disposição dos resíduos orgânicos (a) intercalando com a serragem (b).

A coleta e o registro dos dados de temperatura foram realizados por meio de um



datalogger montado com uma placa Arduino Mega 2560, com o acoplamento dos shields RTC (real time clock) para determinação de data e hora, e Micro SD para armazenamento das informações de tempo e temperatura.

Foram utilizados 10 sensores de temperatura DB18S20 com encapsulamento em aço inox, sensibilidade de 0,5 °C, atuando na faixa de valores entre -55 a 125 °C. Destes, 5 sensores foram direcionados para coletar os dados de temperatura ambiente e 5 sensores foram instalados para obter as informações da variação de temperatura da compostagem, posicionados em diferentes alturas no reator. A frequência do registro dos dados foi programada para 10 minutos, seguindo a metodologia proposto por Dal Bosco et al. (2020). Na Figura 2 ilustra-se a ligação dos shields e dos sensores a placa Arduino.

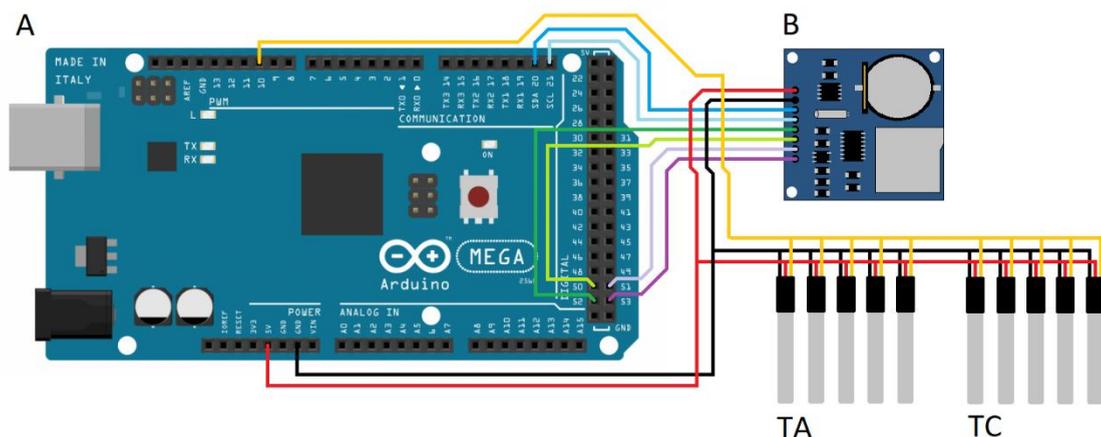


Figura 02: Sensores para coleta da temperatura ambiente (TA) e da compostagem (TC) ligadas à Placa Arduino Mega 2560 (A) e aos shields RTC e Micro SD (B).

Todo o sistema foi acomodado em caixa de passagem para proteção (Figura 3b) e alimentado por meio de uma fonte de 9 Vcc e 1 A. Devido ao número de sensores e sua demanda energética, foi possível alimentá-los via Placa Arduino, com 5,5 Vcc. Na Figura 3a é possível verificar o posicionamento dos sensores TA em alturas diferentes.

Os dados obtidos do micro SD foram armazenados em uma planilha do Excel. A partir disso, foram realizados os cálculos de medidas descritivas da temperatura da composteira e do ambiente. As medidas descritivas utilizadas foram: média aritmética, desvio padrão e variância.

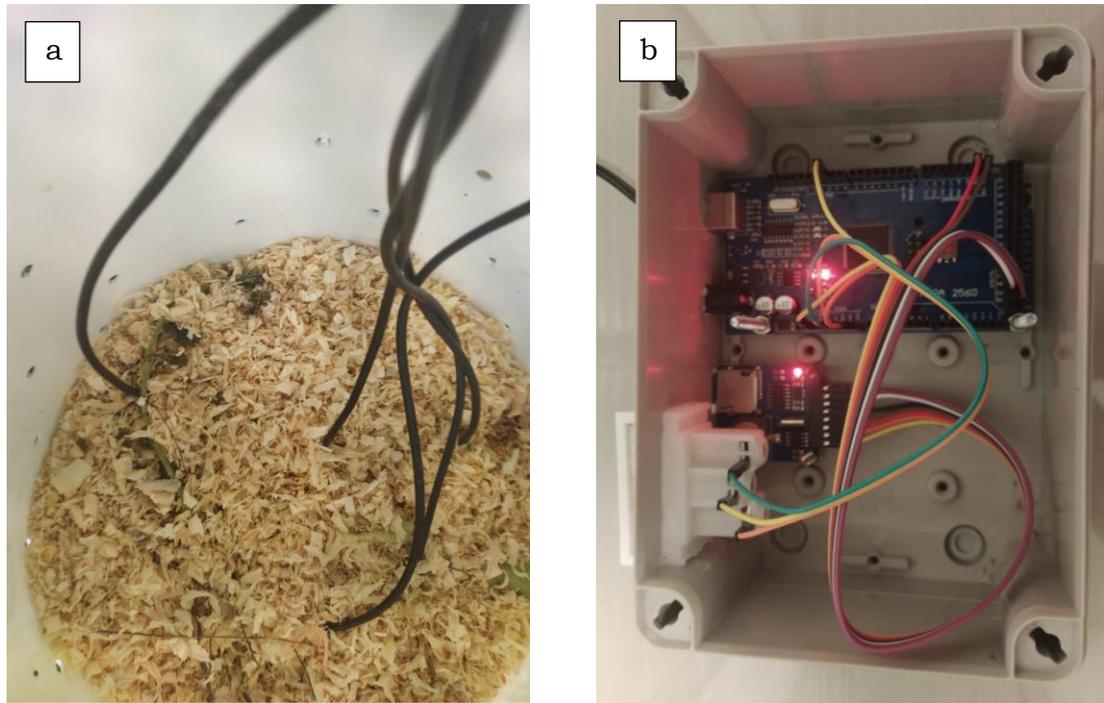


Figura 03: Posicionamento dos sensores de temperatura na compostagem (a) e acomodação dos componentes do datalogger na caixa de proteção do sistema (b).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos dados obtidos pelo datalogger foi elaborado um gráfico (Figura 4) para a análise do comportamento das temperaturas ambiente e da composteira, indicando os dias em que aconteceram os revolvimentos e a adição de resíduos orgânicos.

Por meio da Figura 4 pode-se notar que nos dias em que houve intervenção humana, seja por revolvimento ou por adição de material, a temperatura da composteira decai, mas após algumas horas volta a aumentar, a ponto de ultrapassar a temperatura inicial. Esse comportamento é esperado, pois a composteira troca calor com o ambiente, diminuindo sua temperatura.

Segundo Inácio e Miller (2009), com o processo de aeração mediante ao revolvimento, a temperatura volta crescer devido à decomposição mais rápida da matéria orgânica no novo ambiente aerado. Pimenta et al., (2017) e Marques et al. (2016)



demonstram isso em suas pesquisas: obteve-se aumentos súbitos de temperatura após realizar os revolvimentos. Desta forma, a intensificação desta prática pode diminuir o tempo do processo, visto que estimula a degradação microbiana. Além disso, os revolvimentos mantêm em equilíbrio a umidade nos resíduos, evita odores desagradáveis e uniformiza o composto, evitando uma camada superior mais seca e uma inferior mais densa e úmida (KIEHL, 2002; FERNANDES e SILVA, 1999).

Quando se acrescenta material orgânico, há também um aumento da temperatura, em virtude da maior disponibilidade de matéria para a atividade microbiana. Esse desempenho é evidenciado no trabalho de Colon et al., (2010) que observaram picos de temperatura devido a sua metodologia prever a alimentação semanal. Guidone (2015) também observou que após a adição de resíduos *in natura* ocorreu um aumento de temperatura e que no período sem adição, o perfil da temperatura interna se manteve próximo a ambiente, assim como neste trabalho, demonstrado na Figura 4.

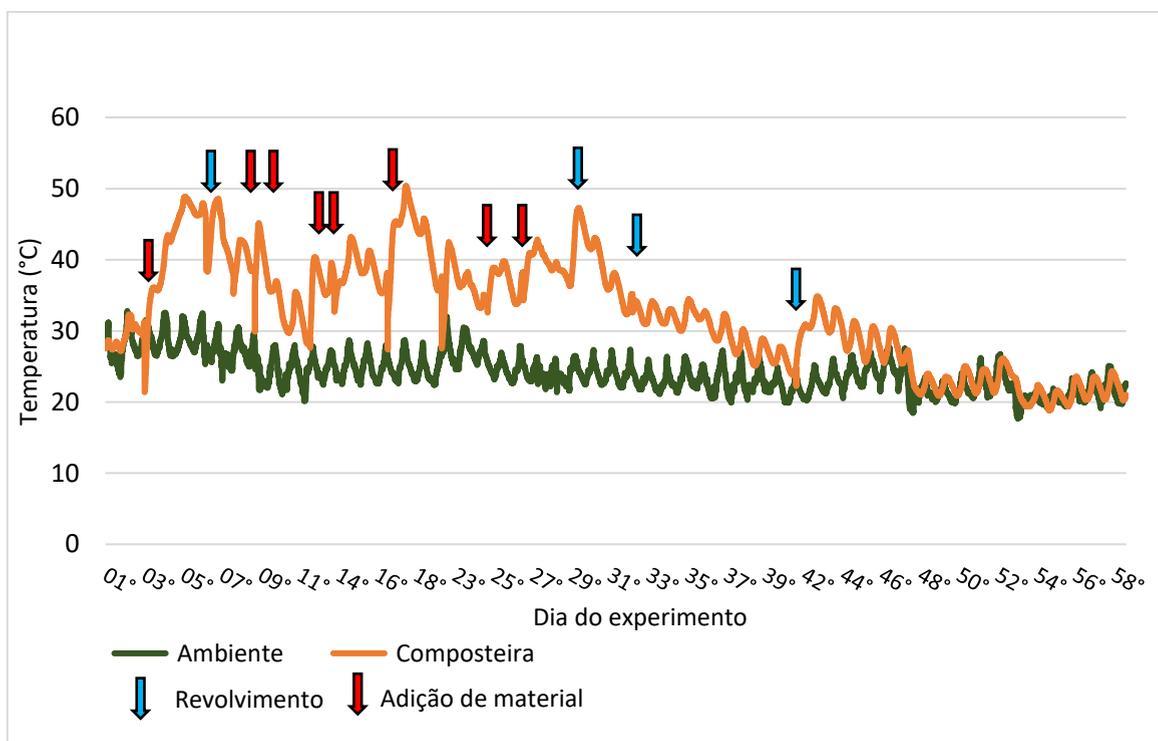


Figura 04: Comportamento da temperatura ambiente e da composteira durante o experimento.

Em função deste comportamento, foi elaborado um segundo gráfico (Figura 5) no qual apresenta-se a diferença entre a temperatura da composteira e a temperatura do ambiente, assim como as diferentes fases do processo de compostagem.

De acordo com Inácio; Miller (2009) e Pereira Neto (2007) o processo de compostagem abrange quatro fases principais, sendo elas: mesofílica de aquecimento, fase termofílica de degradação ativa, fase mesofílica de resfriamento e de maturação. São distintas pela variação de temperatura e pelos microrganismos presentes em cada fase (KIEHL, 2004).

A primeira fase, conhecida como aquecimento, tem duração de poucos dias e é basicamente uma fase de adaptação para os microrganismos, onde a temperatura pode chegar até 40°C. É uma fase de extrema importância pois fornece condições adequadas para ocorrer o processo (VALENTE et al., 2009). A fase termofílica é conhecida por ter maior atividade microbiana e, conseqüentemente, por apresentar as maiores temperaturas do processo, podendo chegar até 60°C ou mais (TRAUTMANN e OLYNCIW, 2005). É considerada uma fase de degradação ativa e a duração é de acordo com a disponibilidade dos resíduos que estão sendo compostados e da atuação dos microrganismos. Na terceira fase, de resfriamento, a taxa microbiana e a temperatura começam a diminuir e já na quarta e última fase, chamada de maturação, a temperatura quase se iguala à temperatura ambiente e o composto apresenta características físicas, químicas e biológicas diferentes dos resíduos iniciais (KIEHL, 2002).

Dessa forma, pode-se constatar na Figura 5 que a fase termofílica ocorreu entre o 4º e 31º dia, com duração de 27 dias. Moser (2017) relatou que a fase termofílica da compostagem com resíduos orgânicos, poda de árvore e biopolímeros de casca de aveia, teve a duração aproximada de 20 dias. O mesmo foi observado por Pimenta et al. (2016).

A partir daí, a diferença entre as temperaturas apresentou um declínio evidenciando a entrada da fase de resfriamento, com duração de 17 dias (32º - 49º dia).

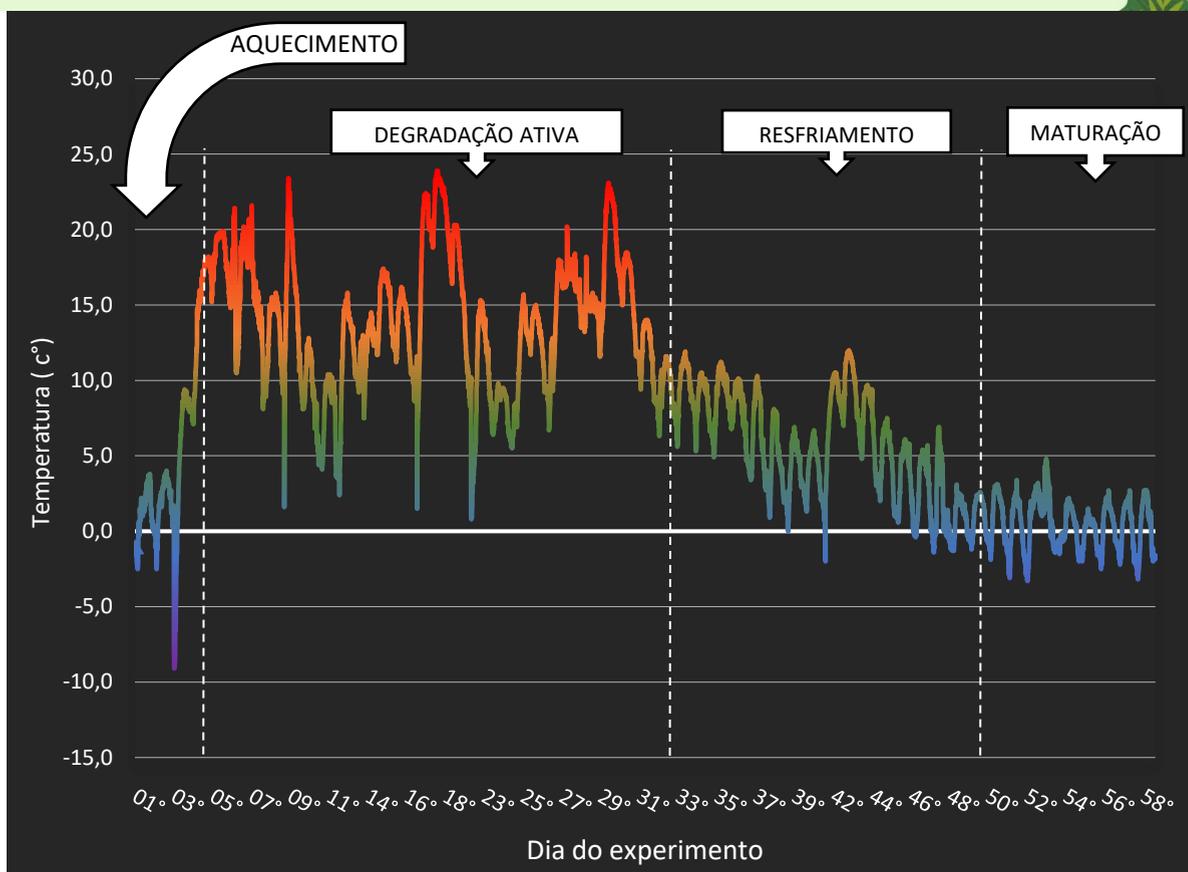


Figura 05: Diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura da composteira durante o experimento.

Pode-se observar, que na fase de maturação do composto a diferença entre a temperatura ambiente e a temperatura da composteira é menor em relação às outras fases; variando, assim, entre -4° a 5°C . Nesta fase, ainda ocorre variação entre as temperaturas, pois a composteira apresenta um *delay* entre a máxima temperatura ambiente e a máxima temperatura da leira.

Abdurahiman et al. (2020) também observaram que na fase de aquecimento houve uma variação de 3 horas e 20 minutos da máxima ambiente para a máxima do sistema e na fase termofílica chegou a variar até 10 horas os picos de temperatura. Dessa forma, é de extrema importância coletar os dados em diferentes horários e com uma alta frequência. Dal Bosco et al., (2020) afirmam que para buscar o menor erro possível, a determinação da frequência da coleta deve ser avaliada para cada caso, levando em conta o erro máximo estipulado pelo pesquisador, tamanho da amostra e o intervalo mais longo de coleta.

Na Tabela 1 apresenta-se o comportamento estatístico de cada fase da composteira, no que diz respeito à temperatura.

Tabela 1: Medidas encontradas na temperatura da composteira

Fase	Mínimo (°C)	Máximo(°C)	Média(°C)	Variância	Desvio padrão
Aquecimento	21,40	36,10	29,52	6,26	2,50
Decomposição ativa	27,40	50,40	39,32	21,28	4,61
Resfriamento	21,00	34,90	29,11	10,21	3,20
Maturação	18,80	26,10	22,04	2,81	1,68

Fonte: Autoria própria, 2021.

Uma pesquisa de compostagem realizada por Freitas, Wieser e Stefanutti (2017) com resíduos orgânicos do Restaurante Universitário da Universidade Federal do Ceará, apresentou temperaturas máximas, na fase de decomposição ativa, em torno de 53°C. Presumido et al., (2017) também obtiveram, em um estudo de compostagem com resíduos sólidos orgânicos gerados no Aeroporto de Londrina, valores máximos de temperatura próximos a 50°C.

Neste experimento, a temperatura máxima obtida foi de 50,40°C, parecido com o encontrado também por HECK et al. (2013). A variância também foi maior na fase de degradação ativa, devido às constantes adições de material e aeração do material em decomposição, que provocam uma oscilação na temperatura.

Na fase de resfriamento a temperatura média foi de 29,11°C, apresentando um decaimento de aproximadamente 26% em relação à temperatura média na fase de decomposição (39,32°C). As menores temperaturas foram registradas na fase de maturação, no qual a temperatura mínima encontrada foi de 18,80°C. Além disso, a média de temperatura nessa fase foi 44% menor em relação à fase de decomposição, próxima a variação obtida por Pimenta et al., (2017).



CONCLUSÕES

Conclui-se que as temperaturas na composteira obtiveram os maiores valores na fase de degradação ativa, atingindo em média 39,32°C. Em contrapartida, os menores valores de temperatura foram observados na fase de maturação da composteira (em média 22,04°C). Além disso, durante a fase de maturação a diferença entre a média temperatura da composteira e a média temperatura do ambiente abrange o intervalo de -4° a 5°C, sendo assim, um indicativo de que o processo de compostagem se aproxima do fim. A variância da temperatura também indicou em qual fase a compostagem se encontra, pois foi durante a fase termofílica que a variabilidade foi maior, contrapondo-se à fase final (maturação) em que a variabilidade é menor. Desta forma, verificou-se a importância de um monitoramento constante da compostagem, principalmente para a garantia da qualidade do processo e do composto final.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Fundação Araucária pelo suporte, por meio da bolsa de pesquisa concedida.

REFERÊNCIAS

ABDURAHIMAN, B.; OTA, D. M.; MENESES, R. M. DE A. O.; DAL BOSCO, T. C.; MICHELS, R. N. **Delay entre a máxima temperatura ambiente e a máxima temperatura em processo de compostagem de resíduos orgânicos.** In: Congresso Nacional do Meio Ambiente, n.17, 2020, Poços de Caldas. **Anais [...].** Poços de Caldas: IF Sul, 2020

ABRELPE. **Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.** Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil 2020. São Paulo: ABRELPE, 2020.

BUENO P., YAÑEZ R., RIVERA A., DÍAZ M.J. Modelling of parameters for optimization of maturity in composting trimming residues. **Bioresource Technology**, Amsterdã, v.100, p.5859–5864, 2009.

COLON, J.; MARTÍNEZ-BLANCO, J.; GABARRELL, X.; ARTOLA, A.; SANCHEZ, A.; RIERADEVALL, J.; FONT, X. Environmental assessment of home composting. **Resour.**

Conserv. Recycl., 54, p. 893-904, 2010.

COSTA, M. S. S. DE M.; COSTA, L. A. DE M.; SESTAK, M.; OLIBONE, D.; SESTAK, D.; KAUFMANN, A. V.; ROTTA, S. R. Compostagem de resíduos da indústria de desfibrilação de algodão. **Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, v.25, n.2, p.540-548, 2005.

DAL BOSCO, T. C.; MICHELS, R. N.; BERTOZZI, J.; TAIATELE J., I.; HASHIMOTO, E. M. The ideal frequency of temperature data collection in compostability experiments on domestic organic residues. **Environmental Technology**, Londres, vol.41, n.9, p.1160-1166, 2020.

DÍAZ, M. J., MADEJÓN, E., LÓPEZ, F., LÓPEZ, R., CABRERA, F. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. **Process Biochemistry**, Amesterdã, n.37, p.1143-1150, 2002.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual Prático para Compostagem de Biossólidos**. 1999. Rio de Janeiro: ABES.

FREITAS, L. M. C.; WIESER, C. J.; STEFANUTTI, R. **Variação da temperatura e redução da massa na compostagem doméstica**. In: IX Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, XV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental e III Fórum Latino Americano de Engenharia e Sustentabilidade. Belo Horizonte, 2017.

GUIDONI, L.L.C **Compostagem de resíduo orgânico domiciliar e casca de arroz**. Trabalho de conclusão de curso (Em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2015.

HECK, K.; MARCO, É. G. DE; HAHN, A. B. B.; KLUGE, M.; SPILKI, F. R.; SAND, S. T. V. D. Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande, v.17, n.1, p.54-59, 2013.

INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M.; **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009, 156p.

KIHEL, E. J. **Manual de compostagem: Maturação e qualidade do composto**. 3. edição do autor. Piracicaba. 2002

KIEHL, E.J. **Manual da Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 4ªed. Piracicaba, 173p. 2004.

MARIN, J. M., MALUTA, R. P., BORGES, C. A., BERALDO, L. G., MAESTA, S. A., LEMOS, M.V. F., RUIZ, U. S., ÁVILA, F. A., RIGOBELLO, E. C. Fate of non O157 Shigatoxigenic *Escherichia coli* in ovine manure composting. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. Belo Horizonte, v.66, n.6, p.1771-1778, 2014.

MOSER, Rafaela G. **Efeito da adição de casca de aveia em biopolímeros compostados com resíduos orgânicos e poda de árvores**. 2017. 85 f. Trabalho de Conclusão de Curso - (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Londrina, 2017.



PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem:** processo de baixo custo. Viçosa: UFV. 81p. 2007.

PIMENTA, A. F.; MARQUES, V. da C.; TAIATELE JUNIOR, I.; Dal BOSCO, T. C.; BERTOZZI, J.; MICHELS, R. N. **Temperatura E Redução De Massa E Volume Em Processo De Compostagem De Resíduos Orgânicos Domiciliares E Poda De Árvores.** In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2016, Brasília, 2016.

PIMENTA, A. F.; TAIATELE JUNIOR, I.; MARQUES, V. da C.; Dal BOSCO, T. C.; BERTOZZI, J.; MICHELS, R. N. **Compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda de árvores – Temperatura e reduções de massa e volume.** In: 8º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, 2017, Curitiba, 2017.

POLZER, V. R. Compostagem: uma necessidade dos centros urbanos. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais.** Rio de Janeiro, n.40, p.124-136, 2016.

PRESUMIDO, P.H; ARMACOLLO, J. E.; MARQUES, V. da C.; DAL BOSCO, T. C. Gerenciamento e tratamento de resíduos sólidos em aeroporto. In: DAL BOSCO, T.C (Org.). **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos:** Resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Edgard Blücher Ltda, 2017.

TRAUTMANN, N.; OLYNCIW, E. Compost Microorganisms – The Phases of Composting. In: Cornell Composting, Science & Engineering. 2005. Disponível em: < <http://compost.css.cornell.edu/microorg.html> >. Acesso em 19 de jul. 2021.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM, B. de S. Jr.; CABRERA, B. R.; MORAES, P de O. e LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. *Archivos de Zootecnia.* v.58. p.60-76, 2009.

ZHANG, L.; SUN, X. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. **Waste Management,** Amesterdã, n.48, p.115-126, 2006.