

Análise da eficiência de compostagem e vermicompostagem para resíduos sólidos orgânicos com inserção de material biodegradável

Analysis of the efficiency of composting and vermicomposting for organic solid waste with insertion of biodegradable material

Análisis de la eficiencia del compostaje y vermicompostaje de residuos sólidos orgánicos con inserción de material biodegradable

Maiza Karine Barcia

Mestranda, UNICENTRO, Brasil
maizabarcia@outlook.com

Kelly Geronazzo Martins

Professora Doutora, UNICENTRO, Brasil
kellygm@unicentro.br

Tatiane Bonametti Veiga

Professora Doutora, UNICENTRO, Brasil
tati.veiga@yahoo.com.br

RESUMO

A disposição inadequada de resíduos sólidos acarreta danos ambientais e socioeconômicos. No Brasil, cerca de 45,3% dos resíduos sólidos urbanos destinados aos aterros e "lixões" são resíduos orgânicos, o que resulta em diminuição da vida útil do aterro sanitário. O presente estudo teve como objetivo analisar a eficiência dos processos de compostagem e vermicompostagem de resíduos orgânicos com adição de material biodegradável. Realizou-se o monitoramento das composteiras por 100 dias, sendo analisados parâmetros físico-químicos como temperatura, pH, umidade e matéria orgânica, monitorou-se também a atividade microbiana por meio da análise da respiração basal do composto, do carbono da biomassa microbiana e do quociente metabólico. Com o desenvolvimento da pesquisa, percebeu-se que a temperatura apresentou comportamento semelhante ao longo da compostagem e vermicompostagem, no final do processo o pH da compostagem apresentou melhores resultados, no entanto, a vermicompostagem teve resultados mais satisfatórios com relação aos teores de umidade e matéria orgânica. Observou-se que a atividade microbiana manteve-se ativa, apresentando os resultados esperados, com decréscimo nos índices da respiração basal e no carbono da biomassa, assim como a elevação do quociente metabólico. Após a realização do estudo, concluiu-se que a adição do material biodegradável não interferiu nos processos, apresentando potencial de compostabilidade. Deste modo, foi possível constatar que a técnica de compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos orgânicos, aliadas a utilização de material biodegradável, contribui para a valorização da economia circular, proporcionando melhorias para a sustentabilidade ambiental urbana.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos orgânicos. Gestão de resíduos. Compostagem. Vermicompostagem.

ABSTRACT

The improper disposal of solid waste leads to environmental and socio-economic damages. In Brazil, approximately 45.3% of urban solid waste destined for landfills and "dumpsites" consists of organic waste, resulting in a reduced lifespan of sanitary landfills. This study aimed to analyze the efficiency of composting and vermicomposting processes for organic waste with the addition of biodegradable material. Composters were monitored for 100 days, and physical-chemical parameters such as temperature, pH, moisture, and organic matter were analyzed. Microbial activity was also monitored through the analysis of compost basal respiration, microbial biomass carbon, and metabolic quotient. Throughout the research, it was observed that the temperature exhibited similar behavior during composting and vermicomposting. At the end of the process, composting showed better pH results; however, vermicomposting yielded more satisfactory results in terms of moisture and organic matter content. Microbial activity remained active, with expected results, showing a decrease in basal respiration and microbial biomass carbon indices, as well as an increase in the metabolic quotient. Following the study, it was concluded that the addition of biodegradable material did not interfere with the processes, demonstrating compostability potential. Thus, it was possible to confirm that composting and vermicomposting techniques for organic solid waste, combined with the use of biodegradable material, contribute to the enhancement of the circular economy, promoting improvements for urban environmental sustainability.

KEY-WORDS: Organic waste. Waste management. Composting. Vermicomposting.

RESUMEN

La disposición inadecuada de los residuos sólidos conlleva a daños ambientales y socioeconómicos. En Brasil, aproximadamente el 45,3% de los residuos sólidos urbanos destinados a vertederos y "vertederos" son residuos orgánicos, lo que resulta en una disminución de la vida útil del vertedero sanitario. El presente estudio tuvo como objetivo analizar la eficiencia de los procesos de compostaje y vermicompostaje de residuos orgánicos con la adición de material biodegradable. Se llevó a cabo el monitoreo de los compostadores durante 100 días, analizando parámetros físico-químicos como temperatura, pH, humedad y materia orgánica. También se monitoreó la actividad microbiana mediante el análisis de la respiración basal del compost, del carbono de la biomasa microbiana y del cociente metabólico. Con el desarrollo de la investigación, se observó que la temperatura tuvo un comportamiento similar a lo largo del compostaje y vermicompostaje; al final del proceso, el pH del compostaje mostró mejores resultados, sin embargo, el vermicompostaje tuvo resultados más satisfactorios en cuanto a los niveles de humedad y materia orgánica. Se observó que la actividad microbiana se mantuvo activa, mostrando los resultados esperados, con una disminución en los índices de la respiración basal y del carbono de la biomasa, así como un aumento en el cociente metabólico. Después de la realización del estudio, se concluyó que la adición del material biodegradable no interfirió en los procesos, mostrando un potencial de compostabilidad. De este modo, fue posible constatar que la técnica de compostaje y vermicompostaje de residuos sólidos orgánicos, junto con la utilización de material biodegradable, contribuye a la valorización de la economía circular, proporcionando mejoras para la sostenibilidad ambiental urbana.

PALABRAS-CLAVE: Residuos orgánicos. Gestión de residuos. Compostaje. Vermicompostaje.

1 INTRODUÇÃO

O aumento na geração de resíduos foi intensificado nas últimas décadas em consequência dos processos de urbanização e desenvolvimento tecnológico, ocasionando mudanças nos hábitos de vida e consumo da população. A disposição incorreta dos resíduos sólidos urbanos (RSU) oferece riscos à saúde pública e ao ambiente, por esse motivo, devem ser levados em consideração no planejamento e execução de políticas públicas que auxiliem na gestão dos resíduos gerados.

No Brasil, a disposição de resíduos no solo, sem nenhum fundamento técnico para conservação do meio ambiente, ainda é uma atividade usual. Segundo a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), em 2022, a geração de resíduos no Brasil alcançou um total de 81,8 milhões de toneladas. Dos resíduos coletados, cerca de 61% foram encaminhados para aterros sanitários, com 46,4 milhões de toneladas. Contudo, 39% tiveram a disposição inadequada em “lixões” e aterros controlados, correspondendo a 29,7 milhões de toneladas (ABRELPE, 2022). No que se refere aos resíduos orgânicos, estes representaram, em média, 45,3% dos RSU gerados no país em 2020, sendo pouco mais de 36 milhões de toneladas de restos de alimentos e resíduos de poda, que são, majoritariamente, enviadas para disposição final em aterros sanitários (ABRELPE, 2021).

Nesse cenário, destaca-se a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305, regulamentada pelo Decreto nº 10.936, a qual abrange um conjunto de princípios, objetivos e diretrizes para a gestão integrada e o gerenciamento ambientalmente correto dos resíduos sólidos (BRASIL, 2010; 2022). A PNRS define a compostagem como uma forma de destinação final ambientalmente adequada para os resíduos orgânicos (BRASIL, 2010).

Conforme a NBR 13.591 e a Resolução CONAMA nº 481, a compostagem consiste em um processo de decomposição biológica da matéria orgânica, em condições controladas que incluem as fases de degradação ativa e de maturação, resultando em um material estabilizado com características diferentes das que apresentavam originalmente (ABNT, 1996; BRASIL, 2017). Assim como a compostagem, a vermicompostagem também é um processo de decomposição de resíduos orgânicos, mas que envolve a adição de minhocas e sua interação com os microorganismos, a fim de acelerar o processo de biodegradação de resíduos.

Os compostos e vermicompostos produzidos com resíduos orgânicos podem ser reutilizados como fertilizantes ricos em nutrientes. Nesse âmbito, Favarin, Ueno e Oliveira (2015) analisaram a produção de hortaliças em função de substratos alternativos, e observaram que o substrato preparado com compostagem demonstrou superioridade com relação aos demais substratos avaliados, fato que pode ser explicado devido suas características físico-químicas mais eficientes ao desenvolvimento das mudas. Além de contribuir para uma redução significativa dos resíduos orgânicos enviados para aterros sanitários, a técnica de compostagem também possui baixo custo de instalação e operação (LIM; LEE; WU, 2016).

Considerando as vantagens da compostagem, Onwosi *et al.* (2017) afirmam que o poder público possui papel fundamental no incentivo a utilização desta técnica, promovendo programas e iniciativas para usinas de compostagem, o que contribui para a redução dos resíduos orgânicos dispostos em inadequadamente e gera oportunidades de emprego nas comunidades, resultando em benefícios socioeconômicos e ambientais. Nesse sentido, a PNRS estabelece para o Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS) a implantação de sistema de compostagem, assim como as formas de utilização do composto

produzido (BRASIL, 2010).

Nesse contexto, Pestana e Ventura (2023) realizaram um estudo em municípios consorciados no estado de São Paulo e identificaram a compostagem com um dos maiores desafios para gestão pública, tendo em vista que não foram observadas ações voltadas a essa iniciativa, demonstrando que a compostagem não é aplicada de forma efetiva nesses municípios. Assim, torna-se cada vez mais necessário o incentivo a tecnologias que possam contribuir com o gerenciamento dos RSU e promover a sustentabilidade urbana.

Os impactos adversos decorrentes do aumento na geração dos RSU, especialmente dos plásticos, representam um grave problema para a gestão de resíduos, visto que a maioria desses materiais são dificilmente degradáveis em condições naturais, acumulando-se no ambiente por décadas (YUAN *et al.*, 2020). A este respeito, alternativas mais sustentáveis para a utilização de materiais plásticos estão sendo amplamente estudadas (LAVAGNOLO *et al.*, 2020; NOMADLOLO *et al.*, 2022; ASHOKKUMAR *et al.*, 2022). Nesse cenário, os materiais biodegradáveis surgem como uma possibilidade, uma vez que podem degradar-se em período de tempo definido sem causar impacto ambiental negativo (NOMADLOLO *et al.*, 2022). Diante disso, a hipótese pressupõe que a compostagem representa uma técnica eficaz para potencializar a decomposição de materiais biodegradáveis, bem como para o tratamento da fração orgânica dos RSU.

Além disso, a compostagem, associada a utilização de materiais biodegradáveis, constitui uma ferramenta de suma importância para a economia circular, possibilitando sua reinserção no ciclo produtivo, proporcionando a valorização dos resíduos orgânicos, minimizando os impactos socioambientais e contribuindo para o desenvolvimento sustentável (OBERLINTNER *et al.*, 2021; SANTOS *et al.*, 2022). Nesse contexto, Karl (2022) afirma que a prática de compostagem desempenha uma função significativa para alcançar as metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), descritos na Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU, 2023). Dessa forma, o manejo adequado dos RSU é fundamental para a preservação do meio ambiente, para a promoção e proteção da saúde, assim como para melhoria da qualidade ambiental dos municípios.

2 OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo analisar a eficiência da compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos orgânicos com a adição de material biodegradável, sendo avaliados parâmetros físico-químicos e microbiológicos.

3 METODOLOGIA

Os experimentos foram realizados na Universidade Estadual do Centro-Oeste (Unicentro), *Campus* de Irati. Os resíduos utilizados para os processos de compostagem e vermicompostagem consistiram em 70% de materiais secos (galhos de poda, folhas e cascas de árvores encontradas na Unicentro), 25% de resíduos orgânicos (provenientes do restaurante universitário do *Campus*) e 5% de material biodegradável (constituído de 60% de amido termoplástico, 40% poli(butileno adipato co-tereftalato) (PBAT) e vitamina E), sendo esse material cedido por um grupo de pesquisa do laboratório de desenvolvimento e aplicação de polímeros naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG).

Para a implementação do experimento utilizou-se duas composteiras domésticas

comerciais de 36 L, uma composteira foi destinada para realização da compostagem, e outra para a vermicompostagem. O processo de compostagem foi monitorado por um período de 100 dias (aproximadamente 15 semanas). Na vermicompostagem ocorreu, inicialmente, a fase de pré-compostagem durante 68 dias, em seguida adicionou-se as minhocas da espécie *Eisenia fetida*, por um período de 32 dias. Segundo Lim, Lee e Wu, 2016, as minhocas da espécie *Eisenia fetida* são as mais indicadas para o processo de vermicompostagem, pois são consideradas mais eficientes na biodegradação dos resíduos orgânicos e na liberação de nutrientes no solo, além de possuírem ampla distribuição, são resistentes e tolerantes à temperatura.

3.1 Monitoramento dos parâmetros físico-químicos

O processo de compostagem foi monitorado mediante a análise dos parâmetros físico-químicos de temperatura, pH, umidade e matéria orgânica. A temperatura da composteira foi medida, diariamente, com o auxílio de um termômetro analógico. Realizou-se a aeração das composteiras, por meio do revolvimento manual e sempre após a leitura das temperaturas. Ressalta-se que o revolvimento contribui para a eliminação de contaminação biológica e uniformização do composto.

A determinação de pH foi realizada diariamente, por meio da medição em potenciômetro com eletrodo imerso em uma mistura de amostra de composto e água destilada (TEIXEIRA *et al.*, 2017). As leituras foram realizadas com peagâmetro de bancada.

O teor de umidade foi monitorado diariamente, com base na diferença gravimétrica entre o peso da amostra antes e após a sua secagem na estufa. Já o teor de matéria orgânica foi calculado semanalmente, para tanto utilizou-se a diferença gravimétrica entre o peso da amostra seca em estufa e após sua incineração em mufla (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

3.2 Monitoramento dos parâmetros microbiológicos

A eficiência do processo de compostagem está diretamente relacionada com a decomposição aeróbia e a atividade microbiana. No presente estudo, foi realizado o monitoramento mensal da Respiração Basal do Composto (RBC), do Carbono da Biomassa Microbiana do Composto (C-BMC) e do Quociente Metabólico (qCO_2).

A análise da RBC foi realizada conforme o método de Jenkinson e Powlson (1976), no qual a respiração é determinada após a incubação das amostras por 7 dias. O C-BMC foi obtido com base no método de respiração induzida proposto por Anderson e Domsch (1978). O qCO_2 consiste na razão entre a RBC e o C-BMC, segundo a metodologia de Anderson e Domsch (1993).

3.3 Análise de dados e delineamento experimental

Para a análise dos parâmetros físico-químicos de temperatura, pH, umidade e matéria orgânica empregou-se os dados obtidos durante todo o processo e calculou-se as médias entre a compostagem e a vermicompostagem.

Durante o estudo, foram efetuadas três coletas para análise microbiana, as quais perfazem um tipo de amostragem dita dependente ou de medida repetida. Nesta configuração de amostragem foi utilizada a análise de variância (ANOVA) para medidas repetidas, onde as variáveis dependentes foram: RBC, C-BMC e qCO_2 . As coletas constituíram o fator, ou seja,

avaliou-se o efeito do tempo em que o material permaneceu confinado nas variáveis dependentes supracitadas. O contraste entre as médias par a par foi checado pelo teste de Tukey.

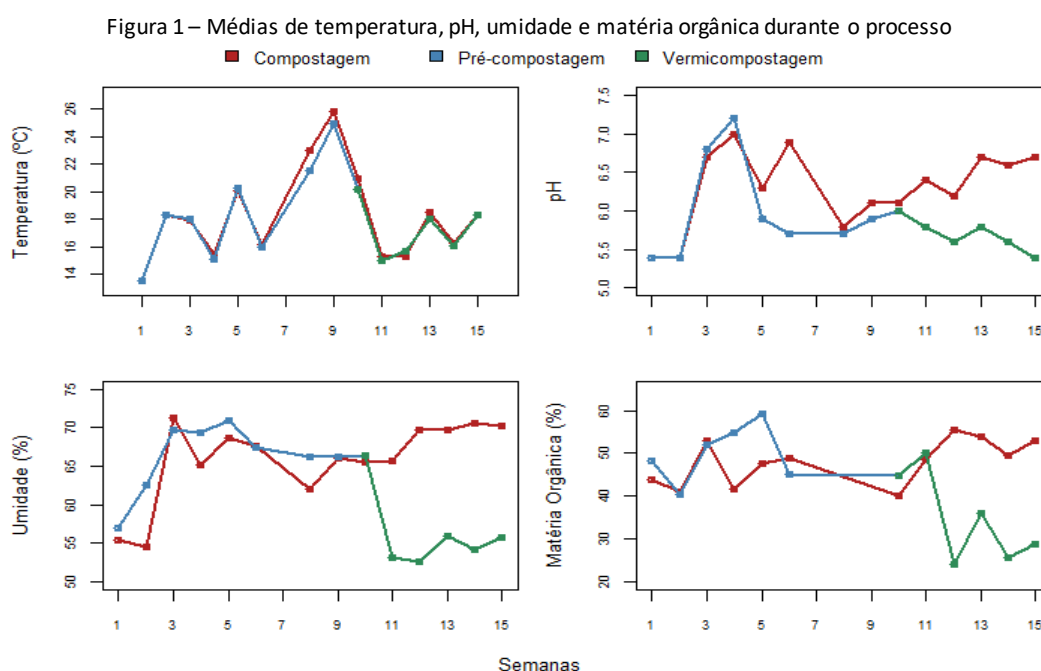
Após 67 dias de confinamento (segunda coleta) parte do material foi sujeito a vermicompostagem, para efeitos de comparação estatística entre o material confinado sem e com vermicompostagem, pertinentes a 93 dias de experimento (terceira coleta), calculou-se o teste t de *Student* para amostras independentes. As variáveis microbianas comparadas foram as mesmas usadas para checar o efeito do tempo de confinamento referentes.

Para os testes estatísticos foram considerados significativos valores de $p < 0,05$ (95% de confiança). As premissas de esfericidade e gaussianidade, inerentes a ANOVA de medidas repetidas foram cheçadas pelos testes de esfericidade de Mauchly e Gaussianidade de Shapiro-Wilks. Para o teste t de Student foram verificadas as homogeneidades dos desvios padrões. Quando as premissas foram violadas, optou-se por transformar os dados por meio da raiz quadrada (ZAR, 1999). As análises e as representações gráficas foram elaboradas com auxílio do *software Rstudio*© versão 0.99.903 –2009-2016 (RCORE TEAM, 2023).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No decorrer da compostagem, pôde-se perceber que, após 30 dias, o material biodegradável havia se decomposto quase totalmente, sem nenhum prejuízo ao andamento do processo. Dessa forma, evidenciando um material passível de compostagem, com características que contribuem para o gerenciamento sustentável desses materiais. A eficiência da compostagem para a decomposição de materiais a base de polímeros biodegradáveis também pode ser observada nos estudos de Taiatele Junior (2014), Toro (2015) e Piai (2022).

Com a análise dos parâmetros físico-químicos pôde-se notar diferenças entre as médias de pH, umidade e matéria orgânica, por outro lado a temperatura apresentou médias próximas durante todo o período de monitoramento. As médias dos resultados referentes aos parâmetros físico-químicos podem ser observadas na Figura 1.



Fonte: Autoras (2023).

A temperatura é um dos principais parâmetros para o monitoramento da compostagem, sendo um dos indicadores de funcionalidade do processo. Assim, é possível observar que, em todo o período, a temperatura apresentou comportamento semelhante nos processos de compostagem e vermicompostagem (Figura 1).

Os resultados deste estudo mostram que nas primeiras semanas as temperaturas não atingiram a faixa ideal de 45-65°C (PARANÁ, 2020). Esse fato pode ter ocorrido em razão do ambiente em que as composteiras permaneceram, que pode ter possibilitado a perda de calor para o meio. Para Lim, Lee e Wu (2016), a compostagem pode apresentar temperaturas baixas, devido a camada do material em decomposição não possuir espessura suficiente para reter uma quantidade significativa de calor, o que faz com que ele seja transferido rapidamente, também em função da baixa temperatura ambiente ou das propriedades dos materiais utilizados para o composto. Entretanto, neste estudo, obteve-se resultados satisfatórios de temperatura no decorrer do processo, já que para a vermicompostagem é necessário que a temperatura não esteja extremamente alta ou baixa, a fim de garantir a sobrevivência das minhocas e viabilização do processo (DAL BOSCO *et al.*, 2017).

O pH é um parâmetro importante, pois afeta as atividades microbianas durante o processo. Para Pereira Neto (2007), a faixa considerada ideal para o composto final é de 7,5 a 9,0. Neste estudo, observa-se que a compostagem apresentou uma redução de pH no início do processo, seguido de um aumento até a estabilização final próxima da neutralidade (Figura 1).

Nesse sentido, Toro (2015) avaliou a degradação dos resíduos sólidos orgânicos pelo método de compostagem em leiras, com a presença de embalagens compostáveis e observou divergências em seus valores de pH. O autor pôde observar que os resultados desse parâmetro derivaram de alguns fatores, como a diferença dos resíduos orgânicos utilizados ou pelo ponto de monitoramento adotado não ter representado de forma homogênea todo o material. Constatou também que, ao longo do tempo, as embalagens biodegradáveis não interferiram de forma significativa no processo, apresentando comportamentos semelhantes quando comparados aos resultados da compostagem sem as embalagens.

No presente estudo, foi possível observar que, na fase final do processo, a vermicompostagem seguiu a tendência de pH mais ácido, contudo, apresentou condições aceitáveis para a sobrevivência das minhocas. Segundo Lourenço (2010), as minhocas da espécie *Eisenia fetida* possuem relativa tolerância a variações de pH, particularmente valores entre 5,0 e 9,0, fora deste intervalo pode ocorrer prejuízos as suas atividades.

O teor de umidade é um parâmetro crítico no processo de compostagem. Para esse parâmetro, considera-se que teores de umidade na faixa de 55% são satisfatórios (PARANÁ, 2020). Pode-se observar na Figura 1, que na fase inicial a compostagem apresentou um elevado teor de umidade, permanecendo relativamente estável no decorrer do processo, até a fase final onde obteve um valor de 70%. O processo de vermicompostagem teve comportamento semelhante no início, entretanto houve uma redução considerável após a adição das minhocas, atingindo teor próximo de 55%. Para Beltrame (2018), o aumento de umidade pode ocorrer devido a composição da matéria orgânica utilizada na compostagem, visto que verduras e talos vegetais contém grande quantidade de água. Outro fator a ser destacado corresponde a aeração ineficiente que também afeta diretamente a umidade do composto.

Apesar da compostagem apresentar, no final do processo, valores de umidade considerados acima da faixa ideal, no presente estudo, a vermicompostagem obteve valores satisfatórios, sendo um dos fatores fundamentais para a sobrevivência das minhocas, pois a

umidade excessiva ou insuficiente pode causar sua mortalidade (LOURENÇO, 2010).

A eficiência do processo de compostagem é evidenciada pela decomposição da matéria orgânica. Durante este processo ocorre a mineralização da matéria orgânica, diminuindo sua quantidade à medida que acontece a degradação (KIEHL, 1998). Na Figura 1 pode-se observar a degradação da matéria orgânica durante o experimento, a qual apresentou diferença entre as médias de compostagem e vermicompostagem.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, é possível notar que, quando comparado a vermicompostagem, o processo de compostagem não teve a mesma eficiência com relação a decomposição da matéria orgânica, isso pode ter ocorrido devido a alterações de temperatura e umidade ao longo do processo, que podem ter influenciado na atividade microbiana e na velocidade de degradação. Por outro lado, observou-se que o processo de decomposição foi mais elevado para a vermicompostagem, isso ocorre devido a capacidade das minhocas em processar grandes quantidades de matéria orgânica, principalmente, na fase final em que possuem maior biomassa e encontram-se mais ativas no seu processo de decomposição (LOURENÇO, 2010).

Durante a compostagem ocorre a decomposição e estabilização da matéria orgânica, como também a formação de CO₂, principalmente, por bactérias e fungos (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007). Na Tabela 1 e Figura 2, pode-se observar a variação dos parâmetros microbiológicos em diferentes períodos de coletas. Nesse âmbito, nota-se que a RBC apresentou médias estatísticas diferentes entre a última coleta de compostagem e a vermicompostagem ($t = -5,493$; p -valor = 0,005), da mesma forma, as médias de qCO₂ demonstraram que houve diferença estatística entre as médias ($t = -5,119$; p -valor = 0,006). Por outro lado, a análise do C-BMC não demonstrou diferença estatística significativa entre as médias do material sem e com vermicompostagem ($t = -0,108$, p -valor = 0,912).

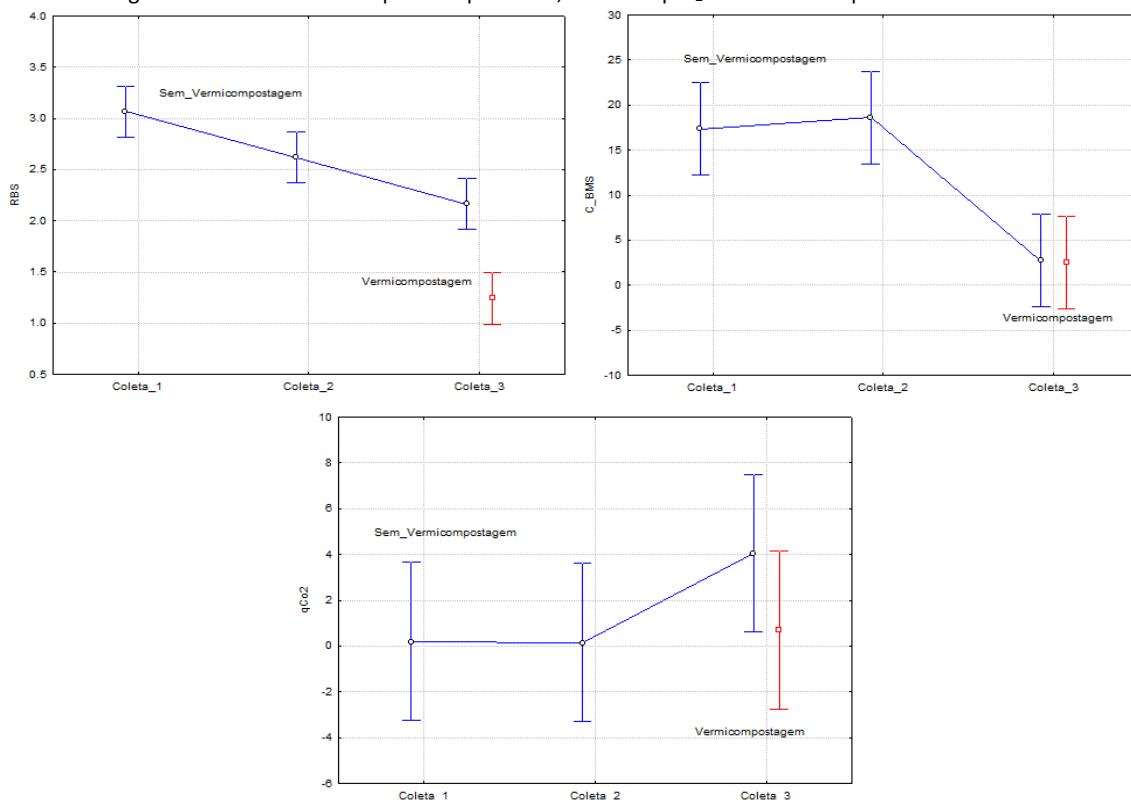
Tabela 1 – Médias e testes de significância da RBC, C-BMC e qCO₂ em diferentes períodos de coletas

Parâmetros	Coletas	Médias	Teste t de Student
RBC	Coleta_1	3,07 a	-
	Coleta_2	2,62 ab	-
	Coleta_3	2,17 b	a
	Vermicompostagem	1,24	b
C-BMC	Coleta_1	17,38 a	-
	Coleta_2	18,64 a	-
	Coleta_3	2,74 b	a
	Vermicompostagem	2,49	a
qCO ₂	Coleta_1	0,19 b	-
	Coleta_2	0,15 b	-
	Coleta_3	4,06 a	a
	Vermicompostagem	0,70	b

Obs.: Médias seguidas da mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de significância.

Fonte: Autoras (2023).

Figura 2 – Médias e desvios padrões para RBC, C-BMC e qCO₂ em diferentes períodos de coletas



Fonte: Autoras (2023).

No presente estudo, a RBC oscilou significativamente com o passar do tempo de confinamento (Figura 2), apresentando média estatisticamente superior após primeira coleta (Tabela 1), decrescendo até o último dia de confinamento. A RBC possui relação direta com a disponibilidade de substrato e com a biomassa microbiana, diante disso, é esperado que a liberação de CO₂ diminua ao longo do tempo. Segundo Viceli (2017), um elevado índice de RBC demonstra aumento na atividade microbiológica e na decomposição das substâncias orgânicas, do mesmo modo, um índice baixo aponta uma redução na atividade e na degradação da matéria orgânica. Dessa forma, quanto maior a atividade metabólica dos microorganismos, maior é a produção de CO₂.

A vermicompostagem demonstrou efeito significativo para a respiração, uma vez que as médias de RBC, neste estudo, foram estatisticamente superiores para o composto sem vermicompostagem, possivelmente, devido a ação das minhocas influenciando na disponibilidade de substrato para os microorganismos. De acordo com Domínguez *et al.* (2019), o vermicomposto é resultado da atuação conjunta das minhocas com os microorganismos, podendo promover mudanças nas funções e composição das comunidades microbianas.

A análise da biomassa microbiana atua como um importante indicativo de alterações na quantidade e no estado da matéria orgânica (REIS JUNIOR; MENDES, 2007). Na Figura 2 é possível observar que o carbono presente nos microrganismos decresceu significativamente, apresentando médias menores na última coleta quando contrastadas com demais datas de coletas. A vermicompostagem não apresentou efeito significativo, pois as médias do vermicomposto e do composto não diferiram em função do carbono presente nos microrganismos (Tabela 1).

No decorrer do processo de compostagem e vermicompostagem é natural que se

tenha um decréscimo no teor de C-BMC, semelhante ao que ocorre na RBC, devido a diminuição do substrato, que reduz a atividade e crescimento microbiano. Os microorganismos agem nos processos de mineralização e imobilização de nutrientes, por isso, durante a decomposição da matéria orgânica parte dos nutrientes podem ser imobilizados na biomassa microbiana, sendo considerada um dos elementos fundamentais no controle da degradação da matéria orgânica (REIS JUNIOR; MENDES, 2007).

O quociente metabólico expressa a taxa de respiração por unidade de biomassa microbiana. Neste estudo pode-se observar que o qCO_2 diferiu entre as duas primeiras coletas e a última, aumentando sensivelmente de valor médio (Figura 2). O vermicomposto apresentou interferência significativa (Tabela 1). Importante ressaltar que os dados pertinentes ao qCO_2 violaram os princípios de gaussianidade e esfericidade, portanto, foram transformados mediante raiz quadrada e então aderiram as premissas da análise.

A taxa de qCO_2 pode ser utilizada como indicador de alterações de C-BMC, e também para avaliar a eficiência do uso de substrato pelos microorganismos (SILVA; AZEVEDO; DE-POLLI, 2007). Dessa forma, RBC e C-BMC influenciam diretamente no qCO_2 , pois uma redução na biomassa microbiana resulta também na redução da respiração e, conseqüentemente, na elevação de qCO_2 . Para Reis Junior e Mendes (2007), o aumento nos valores de qCO_2 podem apontar algum tipo de estresse metabólico nas comunidades microbianas, em amostras com mesmos valores de biomassa, é indicada como mais eficiente a que possui menor taxa de qCO_2 .

Nesse contexto, Dornelles *et al.* (2017) declaram que os parâmetros microbiológicos são influenciados diretamente pela sensibilidade dos microrganismos diante do meio em que são submetidos. Os autores avaliaram o uso de RSU e de dejetos líquidos suínos (DLS) na dinâmica da biomassa e atividade biológica em um solo da região norte do Rio Grande do Sul, assim puderam observar que a influência do composto orgânico de RSU foi maior em comparação ao DLS, estimulando a atividade microbiana, independentemente da quantidade. Dessa forma, os autores constataram que, a RBS e o C-BMS demonstraram ser indicadores sensíveis para monitorar as alterações ocorridas no solo em decorrência do tipo de resíduo, da dosagem e do tempo de aplicação.

A partir dos resultados obtidos neste estudo, foi possível afirmar que a prática de compostagem em escala doméstica representa uma alternativa eficiente para a destinação dos resíduos sólidos orgânicos em conjunto com material biodegradável a base de amido termoplástico, PBAT e vitamina E. Dessa forma, ações sustentáveis voltadas para a compostagem podem contribuir com a redução da quantidade de resíduos orgânicos dispostos em aterros sanitários, minimizar a emissão de gases do efeito estufa, promover a valorização dos resíduos e reduzir as despesas do setor público com o gerenciamento dos RSU.

Nesse âmbito, Santos *et al.* (2022) declaram que a compostagem doméstica corrobora com o desenvolvimento sustentável, diminuindo os impactos socioambientais decorrentes da geração de RSU, proporcionando cidades mais circulares e promovendo padrões de consumo mais sustentáveis, em concordância com as metas estabelecidas pelos ODS.

5 CONCLUSÃO

Com a realização do presente estudo pôde-se constatar que, embora não seja uma tecnologia recente, a compostagem vem ganhando destaque devido a crescente preocupação com a sustentabilidade e por ser considerada, pela PNRS, como uma destinação ambientalmente

adequada para os resíduos orgânicos.

Nesta pesquisa, foi observado que a compostagem e a vermicompostagem apresentaram a descaracterização completa do material biodegradável, as minhocas também demonstraram bom desenvolvimento na mistura do composto. Portanto, constatou-se que a inserção do material biodegradável não interferiu nos processos de compostagem e vermicompostagem, apresentando boa compostabilidade. Dessa forma, foi possível comprovar a viabilidade da utilização do material nos processos de compostagem e vermicompostagem, sendo uma alternativa capaz de contribuir com a gestão de RSU e facilitar o processo em usinas de compostagem, uma vez que há a possibilidade de descarte desse material juntamente com resíduos orgânicos domiciliares que são destinados a usina.

Diante do exposto, pode-se concluir que, em uma situação como a reproduzida nesse estudo, a realização de compostagem torna-se uma proposta eficaz para o tratamento da fração orgânica dos RSU, visto que é uma técnica viável, de alta eficiência, baixo custo e fácil monitoramento, que pode ser empregada em ambiente doméstico pelos próprios geradores. Nesse cenário, a compostagem possui potencial para contribuir de forma significativa com os ODS, colaborando com diferentes dimensões da sustentabilidade para o atendimento da Agenda 2030 em nível local. Dessa forma, representa um importante instrumento para o desenvolvimento sustentável, proporcionando benefícios socioeconômicos e ambientais, promovendo a proteção da saúde pública e a salubridade ambiental urbana.

AGRADECIMENTOS

Ao laboratório de desenvolvimento e aplicação de polímeros naturais da Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG) por ceder o material biodegradável para realização do estudo, ao Ministério da Educação (MEC) pela bolsa concedida à primeira autora no período de elaboração desta pesquisa.

REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2020**. São Paulo: ABRELPE, 2021.

ABRELPE – Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2022**. São Paulo: ABRELPE, 2022.

ANDERSON, J. P. E.; DOMSCH, K. H. A physiological method for the quantitative measurement of microbial biomass in soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 10, n. 3, p. 215-221, 1978.

ANDERSON, T. H.; DOMSCH, K. H. The metabolic quotient for CO₂ (qCO₂) as a specific activity parameter to assess the effects of environmental conditions, such as pH, on the microbial biomass of forest soils. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 25, n. 3, p. 393-395, 1993.

ASHOKKUMAR, V. *et al.* Advanced technologies on the sustainable approaches for conversion of organic waste to valuable bioproducts: Emerging circular bioeconomy perspective. **Fuel**, v. 324, 2022.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13591**: Compostagem. Rio de Janeiro: 1996. 4 p.

BELTRAME, F. A. **Valorização de resíduos sólidos orgânicos para grandes geradores**: avaliação da viabilidade técnica de equipamentos compactos. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências). Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

BRASIL. Política Nacional dos Resíduos Sólidos. Lei nº 12.305, de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 03 ago. 2010.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 481, de 03 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 04 out. 2017.

BRASIL. Decreto nº 10.936, de 12 de janeiro de 2022. Regulamenta a Lei nº 12.305, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 12 jan. 2022.

DAL BOSCO, T. C. *et al.* Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem. *In*: DAL BOSCO, T. C. **Compostagem e vermicompostagem de resíduos sólidos**: resultados de pesquisas acadêmicas. São Paulo: Blucher, cap. 1, p.19-43, 2017.

DOMÍNGUEZ, *et al.* Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. **Scientific Reports**, v. 9, 2019.

DORNELLES, H. S. *et al.* Biomassa e atividade microbiana de solos com aplicação de resíduo sólido urbano e dejetos líquido de suínos. **RBCIAMB**, n. 44, 2017.

FAVARIN, J. A.; UENO, V. G.; OLIVEIRA, N. M. S. Produção de Mudanças de Hortaliças Orgânicas Utilizando Diferentes Substratos. **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 11, n. 2, 2015.

JENKINSON, D. S.; POWLSON, D. S. The effects of biocidal treatments on metabolism in soil. V. A method for measuring soil biomass. **Soil Biology and Biochemistry**, v. 8, n. 3, p. 209-213, 1976.

KARL, A. A. **Análise das práticas sociais da economia circular e suas contribuições para os objetivos de desenvolvimento sustentável**. 186f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2022.

KIEHL, E. J. **Manual da Compostagem**: Maturação e Qualidade do Composto. 4. ed. Piracicaba, 1998. 171 p.

LAVAGNOLO, M. C. *et al.* Composting of starch-based bioplastic bags: small scale test of degradation and size reduction trend. **Detritus**, v. 12, 2020.

LIM, L. S.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. **Journal of Cleaner Production**, v. 111, p. 262-278, 2016.

LOURENÇO, N. M. G. **Vermicompostagem** – Gestão de Resíduos Orgânicos. 1. ed. Lisboa: Sítio do Livro, 2010. 404 p.

NOMADOLO, N. *et al.* A Comparative Study on the Aerobic Biodegradation of the Biopolymer Blends of Poly(butylene succinate), Poly(butylene adipate terephthalate) and Poly(lactic acid). **Polymers**, v. 14, n. 9, 2022.

OBERLINTNER, A. *et al.* Biodegradability study of active chitosan biopolymer films enriched with Quercus polyphenol extract in different soil types. **Environmental Technology & Innovation**, v. 21, 2021.

ONU – Organização das Nações Unidas. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. **Nações Unidas Brasil**. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 24 mai. 2023.

ONWOSI, C. O. *et al.* Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, v. 190, p. 140-157, 2017.

PARANÁ. Ministério Público do Estado do Paraná. Centro de Apoio Operacional às Promotorias de Proteção ao Meio Ambiente. **Nota Técnica - Compostagem de Resíduos Sólidos Urbanos**. Disponível em: https://www.mpma.mp.br/arquivos/ESMP/Nota_Tecnica_-_Compostagem.pdf. Acesso em 29 jun. 2020.

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

PESTANA, L. O. B.; VENTURA, K. S. Avaliação da Gestão de Resíduos Sólidos dos Municípios no Consórcio Intermunicipal de Resíduos Sólidos do Oeste Paulista (CIRSOP). **Fórum Ambiental da Alta Paulista**, v. 19, n. 1, 2023.

PIAI, L. P. **Compostabilidade de biopolímeros a base de celulose em sistema de compostagem de resíduos sólidos**

orgânicos domiciliares. 79f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2022.

R CORE TEAM. **_R: A Language and Environment for Statistical Computing_.** R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 16 set. 2023.

REIS JUNIOR, F. B.; MENDES, I. C. **Biomassa Microbiana do Solo.** 1. ed. Planaltina, DF: Embrapa Cerrados, 2007. 40 p.

SANTOS, K. L. *et al.* O ensino da compostagem doméstica como instrumento para promoção da economia circular em sistemas de gestão e gerenciamento de resíduos sólidos urbanos. **Revbea**, v. 17, n. 6, 2022.

SILVA, E. E.; AZEVEDO, P. H. S.; DE-POLLI, H. **Determinação da respiração basal (RBS) e quociente metabólico do solo (qCO₂).** Comunicado Técnico, 99. Seropédica, RJ: Embrapa Agrobiologia, 2007. 4 p.

TAIATELE JUNIOR, I. **Biodegradabilidade de embalagens biodegradáveis e sua compostabilidade com resíduos orgânicos domiciliares.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2014. 105 p.

TEIXEIRA, P. C. *et al.* **Manual de Métodos de Análise de Solo.** 3. ed. Brasília, DF: Embrapa, 2017. 574 p.

TORO, A. S. **Avaliação da degradação de resíduos sólidos orgânicos por meio da compostagem com presença de embalagem compostável.** 2015. 89f. Trabalho de Conclusão do Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

VICELI, J. M. **Influência da sazonalidade na respiração basal microbiana em diferentes usos do solo:** estudo de caso em uma área rural de Francisco Beltrão/PR. 2017. 40f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão, 2017.

YUAN, J. *et al.* Microbial degradation and other environmental aspects of microplastics/plastics. **Science of The Total Environment**, v. 715, 2020.

ZAR, J. H. **Biostatistical Analysis**, 4. ed. Prentice Hall, 1999. 564 p.