

III-133 – CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DE PRODUTO OBTIDO A PARTIR DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS ALIMENTÍCIOS GERADOS EM PROJETO DE EDUCAÇÃO AMBIENTAL

Marina Alonso Leite⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Pedro Barreiros S. S. Fagundes⁽²⁾

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Mestre em Engenharia Civil pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da UFJF.

Camila de Cássia Campos Barbosa⁽³⁾

Engenheira de Produção pela Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Iury Carvalho Fagundes⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Civil pela Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF).

Samuel Rodrigues Castro⁽⁵⁾

Químico Industrial pela Universidade Federal de Ouro Preto. Mestre em Engenharia Química pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela UFMG. Professor adjunto e Coordenador do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da UFJF. Professor permanente do Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído e Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, ambos da UFJF.

Endereço⁽²⁾: Rua Santos Dumont, Granbery – Juiz de Fora – Brasil – e-mail: pedro.fagundes@engenharia.ufjf.br.

RESUMO

O crescimento populacional e econômico, em conjunto com a urbanização e revolução tecnológica, vêm aumentando consideravelmente a produção de resíduos, os quais não possuem destinação sanitária e ambientalmente apropriada. A partir disso, são estudadas alternativas para solucionar tais problemas, como o tratamento de resíduos orgânicos, em que uma das alternativas mais antigas e difundidas, é a realização da compostagem. O presente trabalho possui como principal objetivo caracterizar produto obtido a partir da compostagem de resíduos alimentícios gerados em uma escola municipal do município de Juiz de Fora, resultado de projeto de educação ambiental. O processo de compostagem foi realizado durante três meses a partir da mistura de cascas de legumes, frutas e ovos, e resíduos de poda, na proporção de 70% de material seco e 30% de matéria úmida. Ao final do processo, amostra foi encaminhada para caracterização em termos de umidade, nitrogênio amoniacal extraível ($N-NH_4$), nitrogênio total Kjeldahl extraível ($N-NTK$), nitrogênio orgânico extraível ($N-N_{org}$), fósforo total extraível (P_{tot}), pH e condutividade elétrica (CE). Como resultado, evidenciou-se pH de 9,1, 68% de umidade, CE de $5,9 \text{ mS.cm}^{-1}$, $N-NH_4$ de 241 mg.kg^{-1} de massa seca, $N-NTK$ de 333 mg.kg^{-1} de massa seca, $N-N_{org}$ de 106 mg.kg^{-1} de massa seca e P_{tot} de 2630 mg.kg^{-1} massa seca. Assim, em linhas gerais, verificou-se resultados satisfatórios, salientando que maior controle e monitoramento de parâmetros e condições operacionais durante processo de compostagem, bem como maior quantitativo de amostragem, garantem melhor representatividade analítica dos resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE: Fertilizante, Resíduo Sólido Orgânico, Compostagem, Tratamento de Resíduo.

INTRODUÇÃO

Desde o início das civilizações o conceito de desenvolvimento vem se confundindo com a exploração desmedida da natureza e, com isso, os recursos são considerados ilimitados (JOHN, 2001). De acordo com Gouveia (2012), como consequência desse processo, a produção de resíduos vem aumentando consideravelmente e, apesar do progresso ocorrido nos últimos vinte anos, eles não possuem destinação sanitária e ambientalmente apropriada.

Conforme o Panorama da Associação Brasileira e Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais, no ano de 2022 foram gerados cerca de 81,8 milhões de toneladas de resíduos sólidos no Brasil, das quais aproximadamente 5,7 milhões não foram coletadas dos locais geradores (ABRELPE, 2022). E ainda, uma pesquisa do Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada aponta que de 51,4% do resíduo gerado diariamente no país é referente à matéria orgânica e, apenas 31,9% é reciclável (IPEA, 2012). Aliado a isso, há a falta de conscientização ambiental por parte da população que, em sua maioria, não se preocupa com os impactos gerados no meio. De acordo com Souza (2018), umas das causas desse comportamento é a ausência de contato com a educação ambiental durante a trajetória escolar, restringindo assim o olhar ecológico dos indivíduos.

Dessa forma, são estudadas alternativas para reduzir os impactos dos resíduos no meio ambiente, como o tratamento dos resíduos sólidos orgânicos. Zanta e Ferreira (2003) ressaltam os benefícios dessa prática, como: a valorização dos detritos, a diminuição da utilização dos recursos naturais e da poluição, geração de emprego e renda, além do prolongamento da vida útil dos sistemas de disposição final. Além disso, uma das práticas mais antigas e difundidas desse tratamento é a realização da compostagem. Segundo Russo (2003), esse é um procedimento que reaproveita a matéria orgânica, o qual, através de microrganismos, faz alterações bioquímicas e realiza sua humificação. E ainda, Holanda (2011) complementa que esse processo consiste na bioestabilização aeróbia de matéria orgânica de origens vegetal e animal, dirigida e controlada. Onwosi et al. (2017) afirma que a decomposição das substâncias de origem orgânica depende de vários fatores, como: umidade, temperatura, pH, relação C/N, aeração, condutividade elétrica e granulometria das partículas.

No entanto, no ano de 2020, de acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (2022), havia no Brasil apenas 74 unidades de compostagem que receberam 303,5 mil toneladas de resíduos, representando apenas 0,3% do quantitativo recebido pelas unidades de processamento avaliadas. Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2011), um dos maiores problemas sobre reciclagem de resíduos orgânicos é a falta de separação dos resíduos onde ele foi gerado e, conseqüentemente, sua contaminação, tornando inviável a realização da técnica de compostagem.

Conforme Santos et al. (2014), por mais que a contaminação do produto final por microrganismos patogênicos e a presença de metais pesados sejam uma preocupação, a separação minuciosa dos resíduos é uma maneira de evitar tais questões e o composto produzido pode ser de uso amplo e com boas características para aprimorar os atributos químicos e físicos do solo. Segundo Diniz et al. (2007), quando comparada a adubações químicas, em termos de custos de produção, a compostagem reduz de três a quatro vezes os investimentos, logo, configura-se como uma prática muito rentável, além de sustentável.

Ademais, de acordo com Souza et al. (2001), na seleção do local, para que a compostagem seja realizada, deve-se considerar alguns pontos como: facilidade no acesso, incidência de sol e sombra e proteção contra vento. Também é necessário que a temperatura do procedimento seja controlada, visto que, conforme Rebolledo et al. (2008), esse é um fator decisivo para a progressão das populações microbianas e sua expressividade nas fases de decomposição.

Além disso, dentre as vantagens associadas à compostagem, cita-se aplicação do composto no solo, que pode aumentar a presença de matéria orgânica e melhorar sua estrutura, além de economizar no consumo de fertilizantes químicos (WANG; ZENG, 2018), reforçando a necessidade de estudos voltadas à caracterização de compostos produzidos durante processo de compostagem.

OBJETIVOS

O presente trabalho possui como principal objetivo caracterizar produto obtido a partir da compostagem de resíduos alimentícios gerados em uma escola municipal do município de Juiz de Fora/MG, resultado de projeto de educação ambiental. Além disso, como objetivo específico, objetiva apresentar discussão técnica

relativa aos principais parâmetros de qualidade a serem considerados em um processo de compostagem, a saber: umidade, pH, condutividade elétrica, nitrogênio amoniacal extraível, nitrogênio total Kjeldahl extraível, nitrogênio orgânico extraível e fósforo total extraível.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foi realizado projeto de compostagem em instituição de ensino municipal, situada no município de Juiz de Fora/MG, munida de horta em suas dependências. Esse fator auxiliou exercício de educação ambiental junto a toda comunidade acadêmica, visto que o composto produzido durante o processo pôde ser utilizado, e o favorecimento da horta, observado.

Para inicialização do projeto, coletou-se dados referentes ao número de crianças atendidas, e respectiva faixa etária, horário das aulas e refeições, o tipo de cardápio e a quantidade de resíduos gerados, bem como sua destinação final. Assim, verificou-se que instituição atendia em média 200 alunos, com idade entre 4 e 6 anos, dispondo de, aproximadamente, 15 funcionários, sendo, diariamente, servido almoço para alunos e funcionários, em dois turnos, manhã e tarde, possuindo média de geração de resíduos orgânicos no refeitório de 15 L/dia.

Visando viabilizar o projeto de educação ambiental, foram elaborados treinamentos, tanto com funcionários, quanto com as crianças, de maneira direcionada ao público alvo. Aos funcionários, foram colocadas em pauta as exigências de preparo dos resíduos de alimentos antes de colocá-los na composteira; já para as crianças, foi realizada pequena apresentação e exibição de conteúdos retratando o tema. As orientações foram uma forma de promover e estimular a autogestão e a continuidade do projeto depois de implantado.

Realizada a coleta de dados, ocorreu a confecção de duas composteiras, cada uma com uma capacidade de aproximadamente 25 L, utilizando material de baixo custo. Cada composteira, foi montada a partir de três baldes idênticos, com tampas, sobrepostos, compondo três compartimentos internos. Os dois compartimentos superiores foram destinados ao processo de compostagem, e o terceiro, ao fundo, utilizado para armazenamento e drenagem de lixiviado gerado.

A fim de garantir aeração, responsável pela velocidade de oxidação do material orgânico, assim como redução de odores (KIEHL, 2004), foram realizadas perfurações laterais nos compartimentos superiores, assim como na tampa, responsável por isolamento do sistema (FENYÖ, 2018). Além disso, para assegurar o fluxo do lixiviado, foram realizadas perfurações ao fundo de cada compartimento. Na Figura 1, apresenta-se uma das composteiras confeccionadas e seu diagrama esquemático. Assim, ilustra-se na Figura 1(a) a montagem do sistema, na Figura 1(b) as dimensões referentes aos baldes adotados, e na Figura 2(c) a configuração da sobreposição e das perfurações dos compartimentos.

O processo de compostagem foi realizado ao longo de três meses. A composteira foi alimentada pelos funcionários da escola com aproximadamente 0,75 L de resíduos alimentícios provenientes das refeições produzidas, constituídos por cascas de legumes, frutas, ovos, e aproximadamente 2,25 L de resíduos de poda retirados das dependências da instituição. Essa, relação foi proposta a fim de garantir uma proporção C/N ideal com cerca de 70% de material seco e 30% de matéria orgânica (NETO, 2007). Visando, ainda, a homogeneização do composto, a massa compostada foi revolvida semanalmente.

Ao final do processo, foi realizada amostragem composta, sendo coletada, após quarteamento, aproximadamente 100 g de massa seca do composto (MAPA, 2014). Por fim, a amostra foi encaminhada para caracterização através da análise de umidade, nitrogênio amoniacal extraível (N-NH₄), nitrogênio total Kjeldahl extraível (N-NTK), nitrogênio orgânico extraível (N-N_{org}), fósforo total extraível (P_{tot}), pH e condutividade elétrica (CE). As análises, executadas em triplicata, foram realizadas em via úmida em extrato solubilizado (20% m.v⁻¹), obtido a partir do resíduo compostado, através de metodologia adaptada (JEONG; HWANG, 2005; JIANG et al., 2016; MAPA, 2014; YUAN, 2018). Misturou-se a massa seca amostrada de composto em água deionizada, proporção 1:20 m.m⁻¹, submetendo-a agitação de 30 ± 2 rpm por 30 minutos (Agitador Wagner - LUCADEMA). Após repouso por 10 minutos, o sobrenadante foi filtrado em membrana de 1,6 µm e, o extrato obtido, encaminhado para análises. O pH foi encontrado utilizando-se pHmetro mPA210 MS (Tecnopon), e a CE por condutivímetro GEHAKA CG 1800. Demais análises foram realizadas conforme *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

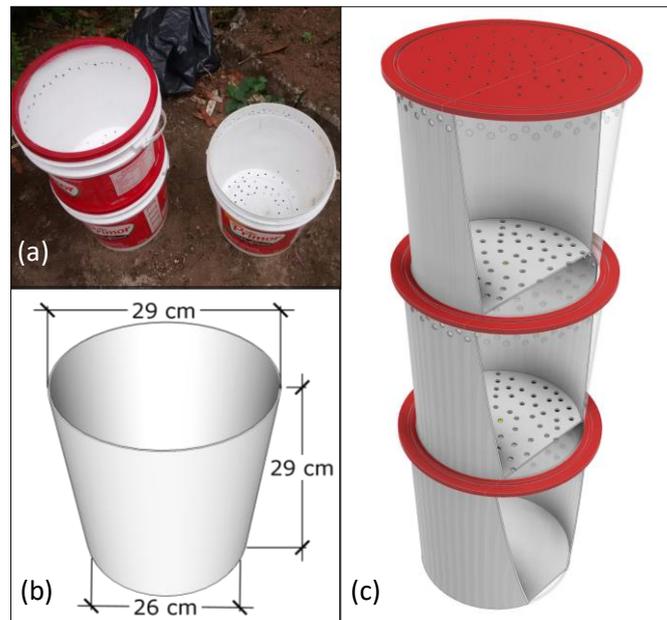


Figura 1 -Montagem e diagrama esquemático da composteira: (a) Fotografia da composteira; (b) Dimensões dos baldes utilizados; (c) Esquema de perfuração e montagem. Fonte: elaborado pelos autores.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O pH da massa composta evolui durante o processo de compostagem, geralmente seguindo padrão de declínio nos estágios iniciais do processo e posterior elevação nos últimos estágios (ONWOSI et al., 2017). No início do processo de compostagem, em razão da produção de ácidos orgânicos, o pH tem a tendência de apresentar caráter ácido, com valores que variam de 5,5 a 6,0 (FERNANDES; SILVA, 1996). Em seguida, a degradação da matéria orgânica libera bases, como amônia, elevando o pH à faixa de 7,5 a 9,0, resultando no possível início da fase de maturação do processo e existência de sistema alcalino (KIEHL, 2004; WANG; ZENG, 2018). Contudo, estudos apontam que o pH não se configura como fator chave na estabilidade do composto, sendo que um composto maduro deve estar na faixa de 6,0 a 8,5 ou 8,0 a 8,5 (JUÁREZ et al., 2015). Desse modo, o pH pode ser considerado como indicador aproximado da fase em que se encontra o processo de compostagem, assim como, indicativo do possível estado de maturação do composto.

A análise do composto em estudo evidenciou pH no valor de 9,1, conforme Tabela 1, indicando, *à priori*, possível fase de maturação do produto obtido, ou seja, final do período de bioestabilização. Em estudos realizados por Chan et al. (2016), Wong et al. (2009) e Wang et al., (2013), observa-se baixos valores de pH, na faixa de 4,5 a 5, o que, segundo Wong et al. (2009), pode ser consequência de temperaturas acima de 40°C na fase inicial do experimento. Smårs et al. (2002) e Sundberg, Smårs e Jönsson (2004) demonstraram que durante a fase inicial do processo de compostagem, baixos valores de pH eram mais recorrentes se a temperatura estivesse acima de 40°C entre a fase ácida e o desaparecimento dos ácidos, o que pode estar relacionado com baixo pH ao final do processo.

Tabela 1: Resultados encontrados após realização de análises de composto.

PARÂMETRO	VALORES OBTIDOS	UNIDADE
pH	9,1	-
Umidade	68	%
Condutividade Elétrica	5,9	mS.cm ⁻¹
N-NH ₄	241	mg.kg ⁻¹ de massa seca
N-N _{org}	106	mg.kg ⁻¹ de massa seca
N-NTK	333	mg.kg ⁻¹ de massa seca
P _{tot}	2630	mg.kg ⁻¹ de massa seca

A presença de água é fundamental para efetivo desenvolvimento do processo de compostagem, pois trata-se de um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, ou seja, a água é indispensável para a dinâmica e necessidades fisiológicas dos microrganismos. Nesse sentido, a umidade deve estar em uma faixa ideal, uma vez que excesso ou escassez de água podem interferir na compostagem, retardando-a (SILVA, 2007). Assim, estudos apontam diferentes faixas ideais para processo de compostagem, contudo, indicam-se valores inferiores a 70% (FERNANDEZ-BAYO et al., 2018; ONWOSI et al., 2017) e superiores a 40%, garantindo presença de água de forma que não ocorra inibição de atividade biológica (FERNANDES; SILVA, 1996). Tal parâmetro está diretamente relacionado a outros fatores de influência do processo, como a taxa de consumo de oxigênio, espaço aéreo livre, atividade microbiana e temperatura. Altos valores de umidade indicam que os poros do composto estão majoritariamente preenchidos com água em vez de ar, logo, menor espaço aéreo livre, indicando menor disponibilidade de oxigênio presente no meio, o que pode levar a condições de anaerobiose desfavorável a atividade microbiana desejada (MOHAMMAD et al., 2012). O valor de umidade encontrado neste estudo foi 68% (Tabela 1) o que, segundo Fernandes e Silva (1996), assim como Bernal et al. (2009) e Chen et al. (2016), encontra-se acima do desejado (60%). Os estudos citados anteriormente, de Chan et al. (2016) e Wang et al., (2013), também consideram valores mais baixos como ideais em um processo de compostagem, sendo seus estudos condicionados em teores controlados de umidade em 55%.

A condutividade elétrica expressa a condução de corrente elétrica por uma solução aquosa, sendo que no processo de compostagem a concentração de sais tende a aumentar devido a decomposição da matéria orgânica complexa (ONWOSI et al., 2017). Huang et al. (2004) apontam que aumento de CE resulta da formação de sais minerais, como íons de amônio e fosfatos, via transformação da matéria orgânica. Relatam também que volatilização de amônia e precipitação de sais minerais podem resultar em sua diminuição. Além disso, CE aponta qualidade do composto para uso como fertilizante, pois elevada salinidade pode prejudicar desenvolvimento de cultivares (ONWOSI et al., 2017; YUAN et al., 2018). Assim, vários autores estipularam valores limites de condutividade para que um composto seja utilizado como fertilizante na agricultura sem que prejudique, principalmente, o desenvolvimento de sementes, os quais variam de 2 até 4 mS.cm^{-1} (ONWOSI et al., 2017). No composto em análise, o resultado encontrado foi 5,9 mS.cm^{-1} (Tabela 1), o qual está acima do recomendado pela literatura para aplicação no solo como fertilizante, assim como dos valores observados nos estudos de Chan et al. (2016), que registraram 3,6 mS.cm^{-1} e Wang et al. (2013), cujo resultado não ultrapassou 5 mS.cm^{-1} . Entretanto, elevada CE não inviabiliza adoção do composto como fertilizante, pois ao ser misturado com o solo e outros materiais de baixa condutividade, viabiliza sua utilização sem prejuízo à crescimento de plantas (ONWOSI et al., 2017), além de não inviabilizar o uso do composto como condicionador do solo (BARREIRA, 2005; HECK et al., 2013).

Microrganismos presentes no processo biológico de compostagem decompõem compostos orgânicos visando obtenção de energia para metabolismo e aquisição de nutrientes necessários para sustento das populações, onde destacam-se carbono (C), nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio, como principais nutrientes relacionados ao processo (ONWOSI et al., 2017). Entretanto, carbono e nitrogênio são essenciais a compostagem, sendo C fonte de energia e N usado para síntese de proteína e construção celular (ONWOSI et al., 2017; FERNANDES; SILVA, 1996), onde quantidades limitantes de N diminuem o crescimento microbiano, ao passo que o seu excesso, resulta na volatilização de amônia (CERDA et al., 2016; ONWOSI et al., 2017). Além disso, este nutriente mostra-se como indispensável para agricultura brasileira, pois é responsável pelo funcionamento de vários processos fisiológicos em plantas (SOARES et al., 2013), e, portanto, configura-se como macronutriente amplamente utilizado nos cultivos agrícolas (SOUSA et al., 2018). Segundo Robertson e Vitousek (2009), N é fundamental para os sistemas vivos e seu manejo agrícola configura-se como essencial no gerenciamento moderno das culturas, tendo em vista que limita crescimento das plantas e produção primária, ou seja, maximiza crescimento e rendimento das culturas.

Ao longo do processo de compostagem N passa por algumas transformações. Inicialmente ocorre aumento de N-NTK e de nitrogênio amoniacal. Ambos, geralmente, coincidem com a degradação ativa da matéria orgânica durante a fase termofílica (CHAN et al., 2018; WANG et al., 2013), e no caso do nitrogênio amoniacal, aponta-se também a transformação do nitrogênio orgânico a essa forma (SARDÁ, 2016). Com avanço do processo, ocorre decomposição de ácidos orgânicos, ocorrendo liberação de NH_3 e sua consequente volatilização (WANG; ZENG, 2018). Portanto, valores de nitrogênio tendem diminuir ao longo do processo, comparando-se com os valores iniciais, contudo, espera-se que ao final do processo tenha-se concentrações de N- NH_4 superiores a N-Norg. Nesse sentido, conforme apresentado na Tabela 1, verifica-se o valor de

nitrogênio amoniacal (241 mg.kg^{-1} de massa seca) é superior ao de N-Norg (106 mg.kg^{-1} de massa seca), indicando que o processo de compostagem ocorreu de forma satisfatória, ainda que aproximadamente 32% do N-NTK seja referente a parcela orgânica. Chan et al. (2016), Wong et. al. (2009) e Wang et al. (2013), encontraram valores, respectivamente, em mg.kg^{-1} de massa seca, de 1257, 1139 e 230. As diferenças evidenciadas podem estar relacionadas com elevado pH, pois apesar de promover maior eficiência na degradação da matéria orgânica, também há perda de amônia por volatilização, representando depreciação de nitrogênio do sistema (WONG et al., 2009). Além disso, níveis de pH, baixos ou elevados, podem reduzir ou inibir a atividade microbiana (FERNANDES; SILVA, 1996; GAGE, 2003; SILVA, 2007).

Assim como nitrogênio, P está envolvido em diversos processos vitais de desenvolvimento das plantas, destacando-se o armazenamento e transferência de energia. Portanto, a deficiência de P associa-se a restrição do crescimento e desenvolvimento das plantas (BENEDITO, 2007). Além disso, fertilidade dos solos das regiões tropicais é fortemente limitada pela reduzida disponibilidade natural de fósforo, tornando-se necessária a adubação (RESENDE; NETO, 2007), evidenciando o viés estratégico da adoção de compostos produzidos durante o processo de compostagem. Contudo, o papel de P durante evolução desse processo é pouco conhecido, ainda que seja considerado nutriente importante em um processo biológico (FERNANDES; SILVA, 1996). Conforme apresentado na Tabela 1, verifica-se que o composto em estudo apresenta concentração de fósforo total extraível de 2630 mg.kg^{-1} de massa seca, o que equivale a 0,26%, resultado coerente com 0,29% encontrado em estudo realizado por Wang et al. (2013).

Ressalta-se que o composto analisado resulta da decomposição de alimentos como cascas de verduras, frutas, legumes e ovos, diferentemente dos artigos comparados, onde foram utilizados carnes, arroz e pão. Em vista disso, as características finais do composto, não foram todas semelhantes aos compostos finais dos experimentos controlados nos trabalhos citados (CHAN et al., 2016; WANG et al., 2013; WONG et. al., 2009). Contudo, destaca-se que a construção e utilização de composteiras de baixo custo em escolas pode ser um método estratégico visando utilização do composto gerado em suas dependências e promoção da educação ambiental da comunidade acadêmica.

Por fim, ressalta-se, de maneira geral, a necessidade de maior controle e monitoramento de parâmetros e condições operacionais durante processo de compostagem, visando a geração de composto com qualidades satisfatórias a fim de utilização como fertilizante orgânico. Além disso, a necessidade de maior quantitativo de amostras coletadas ao longo do processo para a garantia de melhor representatividade analítica de dados.

CONCLUSÃO

A partir da caracterização do composto obtido após processo de compostagem dos resíduos alimentares obtidos a partir de um projeto de educação ambiental realizada em uma escola municipal de MG, por meio de método inteiramente caseiro, é possível concluir que:

- Não são necessárias grandes tecnologias para gerar um produto de qualidade para utilização como fertilizante, desde que garantida a origem dos resíduos, considerando a segregação na fonte, de forma a evitar contaminações cruzadas; além dos devidos cuidados técnicos e operacionais demandados pela compostagem.
- Apesar de alguns resultados, como nitrogênio e condutividade elétrica, se mostrarem diferentes de valores ideais, algumas medidas podem ser tomadas para garantir o aprimoramento da qualidade do composto, considerando maior controle de parâmetros operacionais, como umidade e aeração. Ademais, é também possível se obter a aplicação adequada do composto se esse for misturado com solo ou outros materiais, podendo também ser regulada sua quantidade a ser utilizada.
- A construção e utilização de composteiras em escolas pode ser um método eficaz tanto para posterior utilização do composto, quanto para a promoção da educação ambiental, de forma a incentivar as crianças a se preocuparem com a destinação de resíduos, mas também a conscientizar professores e funcionários, que estarão reduzindo consideravelmente a quantidade de material orgânico que seria destinado a aterros sanitários.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA/AWWA/WEF. *American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22ª ed. Washington, DC. 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2022. Disponível em: <<http://abrelpe.org.br/panorama/>>. Acesso em: mar. 2023.
3. BARREIRA, L. P. Avaliação das usinas de compostagem do estado de São Paulo em função da qualidade dos compostos e processos de produção. 2005. Tese (Doutorado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.
4. BENEDITO, D. S. Eficiência agrônômica de fontes alternativas de fósforos e modelo de predição do uso de fosfatos naturais. Tese de Doutorado, Escola Superior de Queiroz, Piracicaba, 2007.
5. BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. *Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. Bioresour. Technol.*, v. 100, p. 5444-5453, 2009.
6. CERDA, A. et al. *Composting of food wastes: Status and challenges. Bioresource Technology*, v. 248, p. 57–67, 2018.
7. CHAN, M. T.; SELVAM, A.; WONG, J. W. C. *Reducing nitrogen loss and salinity during “struvite” food waste composting by zeolite amendment. Bioresour. Technol.*, v. 200, p. 838–844, 2016.
8. CHEN, Y. T. *A cost analysis of food waste composting in Taiwan. Sustainability (Switzerland)*, v. 8, n. 11, 2016.
9. DINIZ FILHO, Edimar Teixeira et al. A Prática da Compostagem no Manejo Sustentável de Solos. *Revista Verde, Mossoró-RN*, v.2, n2, p 27-36 jul./dez. 2007.
10. FENYÖ, Christiane. Composteira doméstica: Aprenda a produzir em casa composto orgânico para adubar o jardim. *Revista Natureza*, 18 jul. 2018. Disponível em: <<https://revistanatureza.com.br/composteira-domestica/>>. Acesso em: jun. 2020.
11. FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. MANUAL PRÁTICO PARA A COMPOSTAGEM DE BÍOSSÓLIDOS. Londrina: Prosab, Finep, 1996. Disponível em: <https://www.finep.gov.br/images/apoio-e-financiamento/historico-de-programas/prosab/Livro_Compostagem.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2020.
12. FERNANDEZ-BAYO, J. D. et al. *Comparison of thermophilic anaerobic and aerobic treatment processes for stabilization of green and food wastes and production of soil amendments. Waste Management*, v. 77, p. 555–564, 2018.
13. GAGE, J. *Checklist for odor management at compost facilities. Biocycle* 44, 42–47, 2003.
14. GOUVEIA N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectivas do manejo sustentável com inclusão social. *Cad Saude Colet* 2012.
15. HECK, K. et al. *Evaluation of degradation temperature of compounds in a composting process and microbiological quality of the compost. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 17, n. 1, p. 54–59, 2012.
16. HOLANDA, P. C. Compostagem e Minhocultura. Fortaleza: Ed. Demócrito Rocha, Instituto de Ensino Tecnológico, 2011.
17. HUANG, G. F. et al. *Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. Waste Management*, v. 24, p. 805-813, 2004.
18. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Atlas saneamento. 2011. Disponível em: <<https://biblioteca.ibge.gov.br/pt/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=253096>>. Acesso em 08/05/2020.
19. INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (IPEA). Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores. 2012. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=13932>. Acesso em 08/05/2020.
20. JEONG, Y. K.; HWANG, S. J. *Optimum doses of Mg and P salts for precipitating ammonia into struvite crystals in aerobic composting. Bioresource Technology*, v. 96, n. 1, p. 1–6, 2005.
21. JIANG, T. et al. *Effect of different struvite crystallization methods on gaseous emission and the comprehensive comparison during the composting. Bioresource Technology*, v. 217, p. 219–226, 2016.
22. JOHN, V. M. Aproveitamento de resíduos sólidos como materiais de construção, in: A. P. Carneiro, I. A. S. Brum, J. C. S. Cassa, (Org), *Reciclagem de resíduo para a produção de materiais de construção. Projeto resíduo bom*, Caixa Econômica Federal, Salvador, BA, 2001.
23. JUÁREZ, M. F.D. et al. *Co-composting of biowaste and wood ash, influence on a microbially driven-process. Waste Management*, v. 46, p. 155–164, 2015.

24. KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004.
25. MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizante e corretivos. Secretaria de Defesa Agropecuária, Brasília, p.220, 2014.
26. MOHAMMAD, M., ALAM, M., KABBASHI, N.A., AHSAN, A., 2012. *Effective composting of oil palm industrial waste by filamentous fungi, a review. Resour. Conserv. Recycl.* 58, 69-78.
27. NETO, J. T. P. Manual de Compostagem Processo de Baixo Custo. Viçosa: UFV, 2007.
28. ONWOSI, C. O. et al. *Composting technology in waste stabilization: On the methods, challenges and future prospects.* *J. Environ. Manage.*, v. 190, p. 140-157, 2017.
29. REBOLLIDO, R.; MARTÍNEZ, J.; AGUILERA, Y.; MELCHOR, K.; KOERNER, I.; STEGMANN, R. *Microbial populations during composting process of organic fraction of municipal solid waste. Applied Ecology and Environmental Research*, v. 6, p. 61- 67, 2008.
30. RESENDE, A. V; NETO, A. E. F. Aspectos Relacionados ao Manejo da Adubação Fosfatada em Solos do Cerrado. Embrapa Cerrados, Planaltina, DF, dez. 2007.
31. ROBERTSON, G. P.; VITOUSEK, P. M. *Nitrogen in Agriculture: Balancing the Cost of an Essential Resource. Annu. Rev. Environ. Resour.*, v. 34, p. 97-125, 2009.
32. RUSSO, M. A. T. Tratamento de resíduos sólidos. Coimbra: Universidade de Coimbra; Faculdade de Ciência e Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, 2003.
33. SANTOS, A. T. L.; HENRIQUE, N. S.; SHHLINDWEIN, J. A.; FERREIRA, E.; STACHIW, R. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. *Revista Brasileira de Ciência da Amazônia*, v.3, n.1, p. 15-28, 2014.
34. SARDÁ, L. G. Efeito do uso de aditivos químicos no processo de compostagem de dejetos suínos. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC: UFSC, 2016.
35. SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO – SNIS. Diagnóstico Temático Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos. Infraestrutura. Ano de Referência: 2020. Brasília, SNIS, 2022.
36. SILVA, L. N. Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Oeste do Paraná, Cascavel, PR: UNIOESTE, 2007.
37. SMÅRS, S. et al. *Improvement of the composting time for household waste during an initial low pH phase by mesophilic temperature control. Bioresource Technology*, v. 84, n. 3, p. 237-241, 2002.
38. SOARES, H. R. et al. COMPARAÇÃO DE METODOLOGIAS PARA DETERMINAÇÃO DE N-TOTAL EM TECIDO VEGETAL. XIII JORNADA DE ENSINO, PESQUISA E EXTENSÃO – JEPEX 2013 – UFRPE, Recife, dez. 2013.
39. SOUSA, W. N. et al. Resposta do feijão-caupi à inoculação de bradyrhizobium japonicum, adubação nitrogenada e nitrogênio do solo. *Agroecossistemas*, v. 10, n. 2, p. 298 – 308, 2018.
40. SOUZA, Deborah Ingrid de. Compostagem como estratégia pedagógica de sensibilização ambiental no espaço escolar. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão Ambiental em Municípios) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2018.
41. SOUZA, F. A. de; AQUINO, A.M. de; RICCI, M. dos S.F.; FEIDEN, A. Compostagem. Seropédica: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa Agrobiologia, 11 p., 2001.
42. SUNDBERG, C.; SMÅRS, S.; JÖNSSON, H. *Low pH as an inhibiting factor in the transition from mesophilic to thermophilic phase in composting. Bioresource Technology*, v. 95, n. 2, p. 145-150, 2004.
43. WANG, S.; ZENG, Y. *Ammonia emission mitigation in food waste composting: A review. Bioresour. Technol.*, v. 248, p. 13-19, 2018.
44. WANG, X. et al. *Nitrogen conservation and acidity control during food wastes composting through struvite formation. Bioresource Technology*, v. 147, p. 17-22, 2013.
45. WONG, J. W. C.; FUNG, S. O.; SELVAM, A. *Coal fly ash and lime addition enhances the rate and efficiency of decomposition of food waste during composting. Bioresour. Technol.*, v. 100, n. 13, p. 3324-3331, 2009.
46. YUAN, J. et al. *Effects of phosphogypsum, superphosphate, and dicyandiamide on gaseous emission and compost quality during sewage sludge composting. Bioresource Technology*, v. 270, n. September, p. 368-376, 2018.
47. ZANTA, M. V; FERREIRA, C. F. A. Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos Urbanos. In: JUNIOR, A. B. C. (coordenador). Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno. Rio de Janeiro : ABES,294 p., 2003.