

AVALIAÇÃO DE DIFERENTES TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM PARA APROVEITAMENTO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NO IFBA CAMPUS DE SALVADOR: UMA ABORDAGEM MULTI-CRITÉRIOS

DOI:10.19177/rgsa.v7e3201874-97

**Leonardo Menezes Soares¹, Juliana Hartmann Lima²
Nathália de Araújo Santana Bomfim³, Vinicius Oliveira Casais⁴
João Lucas Pereira da Anunciação⁵, Marlene Fernandes Moraes⁶
Ana Carolina dos Santos Ferreira⁷, Walter Alves Gomes Junior⁸,
Vitória Regina Bispo Soares⁹, Jeferson Gabriel da Encarnação Coutinho¹⁰**

RESUMO

A destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos orgânicos gerados nos centros urbanos é um grande desafio, sendo a compostagem uma via eficiente para promover essa destinação. Algumas técnicas estão disponíveis para essa finalidade, mas adoção da técnica mais viável para um determinado sistema envolve avaliações multicritérios. Além disso, o perfil físico-químico desses compostos pode impactar em sua qualidade contribuindo na tomada de decisão quanto a sua destinação final. Nesse trabalho, propõe-se a análise de critérios relacionados à logística empregada e gastos associados às diferentes técnicas de compostagem empregadas no Instituto Federal de Educação, Ciência e tecnologia da Bahia, *Campus* de Salvador, além do perfil físico-químico dos compostos gerados. Utilizamos a vermicompostagem, compostagem convencional, além de compostagens aceleradas (com fungos e térmica com bactérias extremófilas). Foram processados cerca de 300 Kg de resíduo orgânico através dos quatro métodos em um período de seis meses, sendo o método convencional o que deteve o maior volume processado. Identificamos que os métodos são complementares em termos de eficiência quando avaliamos numa perspectiva multi-parâmetros e que a adoção de um sistema misto pode ser o mais adequado quando pensamos na compostagem não apenas como uma forma de conduzir uma destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos. O uso do composto gerado pelas quatro técnicas adotadas em hortas e jardins se constitui como uma forma promissora de integrar a gestão de resíduos com a ressignificação dos espaços verdes dentro da instituição.

Palavras-chave: Composto orgânico. Avaliação química. Composteira térmica. Gestão de resíduos.

¹ Técnico em Química. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador. E-mail: leo_msoares@hotmail.com

² Técnica em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador". E-mail: julianahartmannlima@gmail.com

³ Técnica em Química, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - Campus Salvador". E-mail: nathalia.araujo.s.bomfim@hotmail.com

⁴ Graduado em Biologia pela Universidade Federal da Bahia. Mestre em Genética e Biodiversidade pela Universidade Federal da Bahia. Atualmente é professor de Biologia do Instituto Federal Bahia, Campus de Salvador. E-mail: viniciuscasais@gmail.com

⁵ Técnico em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Salvador. E-mail: joao.lucas.one@gmail.com

⁶ Técnica em Saneamento pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Salvador. E-mail: marlenemorais00@hotmail.com

⁷ Técnica em Saneamento pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Salvador. E-mail: carolsanf@hotmail.com

⁸ Licenciado em Ciências com habilitação em Química pela Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, mestrado em Química pela Universidade Federal da Bahia e Doutorado em Química Orgânica também pela Universidade Federal da Bahia. Atualmente é professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Salvador. E-mail: waltergomes@yahoo.com.br

⁹ Graduada em Química pela Universidade do Estado da Bahia. Mestre e Doutora em Química pela Universidade Federal da Bahia. Atualmente é professora do Instituto Federal Bahia, Campus de Salvador. E-mail: vitoriabispo@gmail.com

¹⁰ Licenciado em Ciências Biológicas, Mestre em Ecologia e Biomonitoramento, Doutor em Ecologia. Atualmente é professor no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus de Salvador. E-mail: jeferson.gabriel@gmail.com

1 INTRODUÇÃO

Um dos problemas atuais em relação à destinação final dos resíduos sólidos é o grande volume encaminhado para os aterros sanitários e muitas vezes até para lixões. Neste último caso, não há nenhuma medida apropriada de contenção do chorume gerado, sendo um espaço propício para proliferação dos mais diversos vetores de doenças, como ratos e insetos (PENTEADO, 2000). Uma das medidas muito apreciada para diminuir o volume de resíduos sólidos orgânicos nos aterros é a compostagem. Trata-se de um processo de transformação oxidativa de moléculas orgânicas complexas, liberando nutrientes constituintes que podem ser disponibilizados novamente ao solo, retornando ao ciclo produtivo (MAIA et al., 2003; INÁCIO e MILLER 2009).

Para a obtenção de compostos orgânicos de boa qualidade, o processo de compostagem deve ser rigorosamente controlado, avaliando diariamente variáveis como temperatura, aeração e umidade. A elevação de temperatura ao decorrer dos dias é a evidência que os micro-organismos estão degradando a matéria orgânica, pois estes liberam energia na forma de calor, o qual serve também para eliminar patógenos prejudiciais à saúde humana. O controle da umidade e aeração deve ser rigoroso para evitar a anaerobiose, levando à produção de metano e chorume,

substâncias não desejáveis, pois causa maus odores e provoca contaminação do solo (SCHULZE, 1962).

A produção do composto orgânico requer a passagem por 4 etapas: a primeira é a multiplicação das bactérias e/ou fungos mesófilos (atuam em temperaturas médias de 20 a 45°C) e o aumento na velocidade de decomposição; a segunda etapa é caracterizada pelo aumento da temperatura, que deve chegar no mínimo a 55°C, a fim de eliminar organismos patogênicos e aumentar ainda mais a degradação dos compostos orgânicos. A temperatura mais elevada deverá permanecer ao menos cinco dias estável, com isso a temperatura do processo de compostagem volta a decrescer, indicando o início da terceira fase da compostagem, na qual os micro-organismos mesófilos voltam à atividade, contudo com menor rendimento comparado a primeira parte do processo. A última etapa é a maturação, na qual há reduzida atividade biológica e a formação do composto orgânico (PEREIRA-NETO e LELIS, 1987; KIEHL, 1998).

Atualmente uma série de técnicas pode ser utilizada para a realização do processo descrito anteriormente. Dentre as técnicas disponíveis, a compostagem tradicional é mais difundida e conhecida em termos do conhecimento de suas etapas e condução do processo, que consiste, basicamente, na montagem de pilhas com constante reviramento das mesmas no intuito de controlar umidade e temperatura. A compostagem com a utilização de minhocas (vermicompostagem) também ganhou grande representatividade nesse cenário com objetivo de aceleração do processo pela presença desses organismos (KIEHL, 1985; VALENTE et al., 2009). Outros métodos como a compostagem térmica e acelerada por *pools* de fungos e bactérias, os quais servem como inoculantes iniciais do processo, têm ganhado merecido destaque como formas alternativas e com diferentes relações de custo-benefício, dependendo do contexto em que estejam sendo aplicados.

Nesse sentido, pensando em viabilizar uma destinação ambientalmente adequada para os resíduos orgânicos dentro da instituição e ainda gerar um composto orgânico de alta qualidade em termos de disponibilização de nutrientes e logística foram avaliados quatro diferentes métodos de compostagem no Instituto Federal da Bahia, *Campus* de Salvador. O objetivo foi avaliar, por meio de uma comparação multi-parâmetros, as técnicas da compostagem tradicional com a compostagem acelerada por fungos, a compostagem térmica e a vermicompostagem. Com tais benefícios, é possível a redução de gastos com a

compra de insumos para manutenção das áreas verdes da instituição e destinação ambientalmente adequada dos resíduos sólidos gerados dentro da instituição.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Coleta e preparação do material

Foi realizada a coleta do resíduo orgânico dispensado no refeitório dos estudantes e do restaurante da instituição, bem como do material coletado da manutenção dos jardins (restos de poda). Esse material foi encaminhado para a trituração, com a finalidade de reduzir o tamanho das partículas do resíduo, visto que quanto menor o tamanho das partículas, maior a superfície ativa do material, permitindo uma atividade microbiana intensificada, o que pode resultar em uma maior taxa de decomposição. Para a realização desta etapa, foi empregado um triturador de partículas para compostagem. Em seguida foi realizada a montagem dos diferentes sistemas. Para a montagem das pilhas (amontoado de resíduos orgânicos) foi empregado um espaço de 5x6 m, onde tais pilhas tiveram uma altura máxima de 1,20 m, possibilitando o reviramento desse material durante o processo. Essas pilhas foram montadas em área previamente coberta no intuito de evitar a incidência direta de sol e chuva. Foram montadas duas pilhas com 179,59Kg e 78,25Kg de resíduos orgânicos, respectivamente. A primeira pilha foi utilizada para o sistema da compostagem tradicional e a segunda utilizou-se o sistema Embiotic® Line (inoculante com leveduras *Saccharomyces cerevisiae* e bactérias produtoras de ácido láctico, *Lactobacillus plantarum*).

A ativação do produto Embiotic® foi realizada antes que houvesse processamento dos resíduos orgânicos triturados. O produto consiste numa suspensão (com fungos e bactérias) com um aspecto pouco turvo, escuro, pH de 3,5 que possui boa solubilidade em água. A ativação consistiu em misturar o 100mL do inoculante(10%), 100mL de melão de cana (10%) e 800mL de água (80%) num recipiente fechado por cinco dias com a finalidade de multiplicação dos micro-organismos em anaerobiose. Antes da formação da pilha, foi acrescentada a cada quilo de resíduo orgânico 0,0528L de solução Embiotic ativada.

Para a vermicompostagem foi montado um sistema composto por uma tampa e três caixas empilháveis de plástico opaco, sendo duas digestoras, com furos no fundo e uma coletora para armazenar o chorume produzido no processo (Figura 1a). Foram utilizadas inicialmente 250 minhocas por caixa, as quais atuam acelerando o processo de decomposição. Foram cinco (5) caixas de vermicompostagem montadas, onde cada caixa recebeu, aproximadamente, 18 Kg de resíduos orgânicos durante o período da compostagem. Além dos três sistemas um quarto sistema foi montado com uma Composteira Térmica (DECOMPOSER) (Figura 1b) associado a um composto formado por bactérias extremófilas, chamado Acidulo®.

Figura 1a: Caixa utilizada para a condução da vermicompostagem.

Figura 1b: Composteira elétrica (DECOMPOSER). Utilizadas na compostagem de resíduos sólidos orgânicos gerados no Instituto Federal da Bahia, *Campus* de Salvador.



Todos os sistemas foram montados utilizando resíduo orgânico e resíduo seco (maravalha) na proporção de 3:1. Além disso, em todos os sistemas à exceção

da composteira térmica, foram incorporados solos, tanto na montagem e durante o revolvimento das leiras quanto dos substratos inicial das minhocas.

Os três primeiros sistemas foram monitorados segundo alguns parâmetros (INÁCIO e MILLER, 2009), a saber:

Temperatura – o monitoramento da temperatura foi realizado diariamente. Para isso foi utilizado um termômetro digital (INCOTERM), com sonda acoplada em haste metálica o qual foi inserido em três regiões do material que estava sendo decomposto: base, meio e topo. Essas medições foram feitas no intuito de avaliar se a condição térmica estava dentro do esperado (entre 50 e 60 °C na região do meio, durante a fase termófila), bem como o alcance da fase maturação (temperatura ambiente nas três porções).

Umidade – para o monitoramento desse parâmetro foi utilizado um higrômetro digital (INCOTERM) na região externa às pilhas e caixas e o teste da mão (NUNES, 2009) para o monitoramento interno da massa que estava sendo decomposta, a qual consiste em pressionar uma porção da massa e não ocorrendo extravasamento de líquido, indica uma umidade adequada para o processo. A umidade foi monitorada em diferentes porções da massa orgânica no intuito de garantir valores dentro da faixa ideal que varia entre 40% e 60%.

Controle da aeração – a manutenção de uma massa descompactada é outro parâmetro importante no processo de compostagem. O reviramento manual tem sido muito empregado e se mostrado eficiente na condução do processo de compostagem. Tal procedimento foi adotado três vezes por semana no intuito de permitir a oxigenação adequada de toda a massa que estava sendo decomposta.

A composteira térmica foi utilizada inicialmente para processamento de resíduos orgânicos crus (pó de café e restos de vegetais) e posteriormente com resto de alimentos cozidos. O tempo médio de atividade dentro da composteira foi de 48h para cada 5kg de resíduos processados, com consumo médio de 90kwh/mês de acordo com as informações descritas pelo fabricante. Após a montagem dos 4 sistemas, avaliamos ao final do processo de compostagem alguns parâmetros cruciais que servem de norteadores na adesão de um sistema particular para a realidade da Instituição. Esses parâmetros foram: o tempo gasto em relação a todas as etapas do ciclo, o custo inicial (R\$) empregado na adoção de cada uma das técnicas; o gasto associado ao consumo de energia elétrica; a quantidade (Kg) de resíduo processado em cada técnica; a quantidade de adubo que foi gerada; a

porcentagem de redução em massa e a análise C/N. Além disso, descrições dos perfis físico-químicos foram realizadas. Essa avaliação multi-critérios contribui na tomada de decisão em relação ao método mais factível de ser empregado, considerando toda a cadeia de produção do resíduo até a conversão final em um adubo de qualidade.

2.2 Análise química dos compostos maturados

Os compostos maturados por diferentes técnicas de compostagem foram submetidos à análise físico-química. Foram determinados os seguintes parâmetros nos compostos obtidos: pH, umidade, teor de fosfato, teor de fósforo total, concentrações de nitrato e nitrogênio total, teor de ácido húmico e teor de cinzas.

2.2.1 pH

Para determinação do parâmetro pH, cerca de 10 g de cada amostra foi colocada em contato com 25mL de solução de cloreto de cálcio $0,01 \text{ mol.L}^{-1}$. Foi realizada agitação com bastão de vidro e o sistema foi mantido em repouso por 15 minutos. Uma segunda agitação foi realizada com auxílio de agitadores magnéticos por 5 min e a mistura foi deixada por 30 min. Dessa forma, pôde-se determinar o pH na solução em suspensão com eletrodo combinado de vidro e potenciômetro (HANNA)(DA SILVA, 2009).

2.2.2 Umidade

O teor de umidade foi determinado a partir da pesagem da amostra antes e após submissão de 6 g de amostra à secagem em estufa a 70°C por 24 horas (DA SILVA, 2009).

2.2.3 Teor de fósforo livre como fosfato

A determinação de fósforo livre como fosfato foi realizada a partir da adaptação do procedimento empregado pela Embrapa (DA SILVA, 2009). Íons fosfatos foram extraídos da amostra de cada composto (5,0 g) com 100 mL de solução duplo ácida ($\text{HCl } 0,05 \text{ mol.L}^{-1}$ e $\text{H}_2\text{SO}_4 \text{ } 0,0125 \text{ mol.L}^{-1}$) em sistema sob agitação e posteriormente foram mantidas em repouso por 24 h.

Para curva de calibração, foram empregadas soluções de referência de íons fosfatos em concentrações: 0,50; 2,00; 5,00; 10,00; 20,00 e 50,00 ppm. À alíquotas

de 10 mL de cada padrão, foram adicionados 4,00 mL da mistura de soluções de molibdato de amônio e vanadato de amônio (5 % e 0,25 %, respectivamente). As medidas de absorvância foram realizadas após 5 min de espera em 420 nm em espectrofotômetro (FEMTO 700).

2.2.4 Teor de fósforo total

Para a determinação de fósforo total utilizou-se a mesma curva de trabalho utilizada para determinação de fosfato. O tratamento dado às amostras consistiu na calcinação em mufla a 550°C por 3 horas. Seguidamente, foram adicionados 5,00 mL de HNO_3 0,5 mol.L⁻¹ e esperou-se 30 minutos. O conteúdo foi filtrado e avolumado com água para 50,00 mL. Essa mistura sofreu nova diluição em um fator de 10 vezes e 10 mL dessa nova solução foi misturada a 4,00 mL da mistura vanadato/molibdato de amônio. As medidas de absorvância dos produtos reacionais foram medidas em 420 nm após 5 minutos de reação.

2.2.5 Teor de nitrato

A determinação de nitrato foi realizada baseada no procedimento da Embrapa (DA SILVA, 2009) em que utiliza o destilador de nitrogênio por arraste a vapor. 100,00 mL de solução de KCl 1,00 mol L⁻¹ foram adicionados à 10 gramas de cada amostra. A mistura foi agitada por uma hora na mesa agitadora e conservada em geladeira por 24h. 15 mL do sobrenadante de cada sistema foram adicionados em tubos de centrifuga com posterior adição de 0,2 g de zinco em pó, e posterior acoplamento ao destilador de nitrogênio. O destilado foi coletado em solução receptora indicadora (mistura de 1L de ácido bórico 2 % (m/v), 6 mL de solução alcoólica de vermelho de metila 0,1 % e 15 mL de solução alcoólica de verde de bromocresol) e esperou-se que o volume contido no recipiente atingisse 50 mL. O conteúdo do erlenmeyer foi titulado com ácido sulfúrico 0,04231 mol L⁻¹ (DA SILVA, 2009).

2.2.6 Teor de nitrogênio total

Para digestão das amostras, foram adicionados cerca de 2 g de mistura catalisadora, composta de sulfato de sódio anidro e sulfato de cobre pentahidratado na proporção de 20:1 a uma massa de amostra entre 0,1 e 0,2 g. Em seguida, foram

adicionados 5,00 mL de H₂SO₄ concentrado (P.A.) e o sistema foi mantido em bloco digestor a 400°C por 6 horas.

Após abertura das amostras, esta foi acoplada ao sistema de destilação de nitrogênio, seguido da adição lenta de uma solução de hidróxido de sódio 40% m/V. e destililação. O destilado foi coletado em um erlenmeyer contendo 20,00 mL de ácido bórico e indicadores vermelho de metila e verde de bromocresol, Após a destilação, titulou-se a solução resultante com ácido clorídrico 0,07504 mol L⁻¹ .por arraste a vapor.

2.2.7 Teor de ácido húmico

À 35 mg de amostra, foram adicionados 20,00 mL de NaOH 0,10 mol.L⁻¹. Após agitação manual, o sistema foi mantido em repouso por 24 h e, em seguida foi submetido à centrifugação sob rotação de 3300 rpm, durante 50 minutos.

O sobrenadante foi cuidadosamente recolhido e adicionados 20,00 mL de NaOH 0,10 mol.L⁻¹ e deixado em repouso por 1 hora para nova centrifugação nas mesmas condições anteriores. O sobrenadante foi novamente recolhido e fez-se o ajuste de pH com H₂SO₄ 20% m/v para pH 1. Após 18 horas, o sistema foi filtrado com auxílio de membrana de fibra de vidro (0,47 micrometros) sob vácuo. O filtrado foi recolhido e avolumado para 50,00 mL (fração de ácido fúlvico) e o sólido contido na membrana foi lavado com NaOH 0,10 mol.L⁻¹ e avolumado para 50,00 mL (fração de ácido húmico).

Alíquotas de 5,00 mL das frações de ácido húmico foram colocadas em tubos de digestão e foram adicionados 1,00 mL de dicromato de potássio 0,042 mol L⁻¹ e 5,00 mL de H₂SO₄ concentrado e colocou-se o sistema em bloco digestor pré-aquecido a 150°C por 1 hora. O mesmo procedimento foi realizado para análise dos brancos com substituição do ácido por água destilada. Um dos brancos não foi submetido ao aquecimento, sendo denominado de branco a frio. O conteúdo dos tubos de digestão foram transferidos e titulados com solução 0,0125 mol.L⁻¹ de sulfato ferroso amoniacal, usando solução de ferroína 0,025 (mol.L⁻¹) como indicador (BENITES et al., 2003).

2.2.8 Teor de cinzas

Foi medida a massa final após calcinação de 5,00 g de amostra em forno mufla a 550°C por 3 horas. Dessa forma, pôde-se determinar o teor de cinzas a partir da subtração da massa inicial (DA SILVA, 2009).

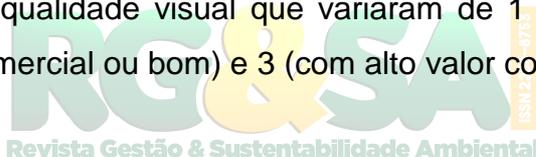
2.3 Utilização dos compostos na germinação e crescimento de hortaliças

Para avaliar a eficiência do material produzido, os compostos foram aplicados na adubação do solo utilizado na taxa de germinação e o desenvolvimento do coentro (*Coriandrum sativum*). Essa cultura foi escolhida por ser de ciclo precoce (30 a 80 dias para a colheita) e por representar cultura perene. As sementes germinaram em contato com os compostos produzidos na compostagem elétrica, na compostagem com inoculante e na compostagem convencional. O solo puro também foi utilizado como parâmetro de comparação com os demais compostos, consistindo de controle para o experimento.

Para o plantio de hortaliças as recomendações de fertilizantes orgânicos são 1 Kg de adubo por metro quadrado de canteiro, então, o solo foi escavado e peneirado em uma proporção de 1mx1m com 15 cm acima do nível do terreno para 4kg de composto (TRANI et al. 2013). A construção da horta no próprio solo foi descartada devido ao período chuvoso, logo, utilizaram-se canteiros plásticos com medidas de 30cmx50cmx15cm pela facilidade no manuseio. Com essa mudança foi necessário realizar um ensaio em laboratório, para determinar a Massa Específica Real do solo, por meio do Método do picnômetro (detalhes desse método no Apêndice 1), calculando-se, primeiramente, a densidade real do solo. A amostra do solo foi retirada da parte posterior do pavilhão de química e levada ao laboratório de solos para secagem na estufa a 110°C por um período de 24 horas. No tempo determinado a amostra foi retirada da estufa, dessa amostra, foi pesado 100g de solo seco como amostra para ensaio. Com a proporção do composto definida, foi feita a homogeneização com o solo em uma mini betoneira no laboratório de ensaios (Figura 14). A homogeneização para cada tipo de composto com o solo na betoneira foi realizada em 10 minutos. Apenas para o composto derivado do resíduo cozido, resultante da composteira elétrica, necessitou-se de 15 minutos, não sendo suficiente, visto que ainda havia torrões de composto com fungos, o qual foi peneirado para desfazer os torrões.

Os solos homogeneizados com os compostos foram colocados nos canteiros e levados para a parte posterior do pavilhão de química para maturação de 25 dias. De acordo com Oliveira e Furlan (2002), essa medida evita a possibilidade de “queima” de sementes ou mudas por conta do alto teor de nitrato. Uma semana após a homogeneização, o canteiro com o composto referente ao resíduo cozido ainda apresentava fungos, e 25 dias depois todos os compostos estavam estabilizados, inclusive o que apresentou fungos.

O plantio das sementes de coentro foi realizado em canteiros, cada canteiro com 12 covas. As sementes foram embebidas em água por 2 dias e depois transferidas para um recipiente com algodão úmido por mais 4 dias. A técnica de embebição que as sementes foram submetidas acelerou o processo de germinação. Posteriormente a germinação, as sementes foram transferidas para canteiro definitivo e germinaram no intervalo de 2 dias. A irrigação foi realizada em dias alternados. Após esse procedimento, o desenvolvimento (altura e quantidade de ramos) foi monitorado semanalmente. Ao final do experimento foram atribuídas notas relacionadas à qualidade visual que variaram de 1 (sem valor comercial ou ruim), 2 (com valor comercial ou bom) e 3 (com alto valor comercial ou ótimo).



3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A adoção de uma ou de um conjunto de técnicas para um gerenciamento eficiente dos resíduos orgânicos gerados no âmbito de uma instituição deve ser multidimensional, considerando aspectos relacionados à relação custo-benefício; tempo de processamento; capacidade de redução do volume gerado; quantidade de composto gerado, além de perfil físico-químico condizente com os requerimentos para adoção posterior do composto gerado em hortas orgânicas e jardinagem. A tabela 1 apresenta um sumário dos principais critérios utilizados no escopo deste estudo para a tomada de decisão do tipo de compostagem mais eficiente para a realidade da instituição.

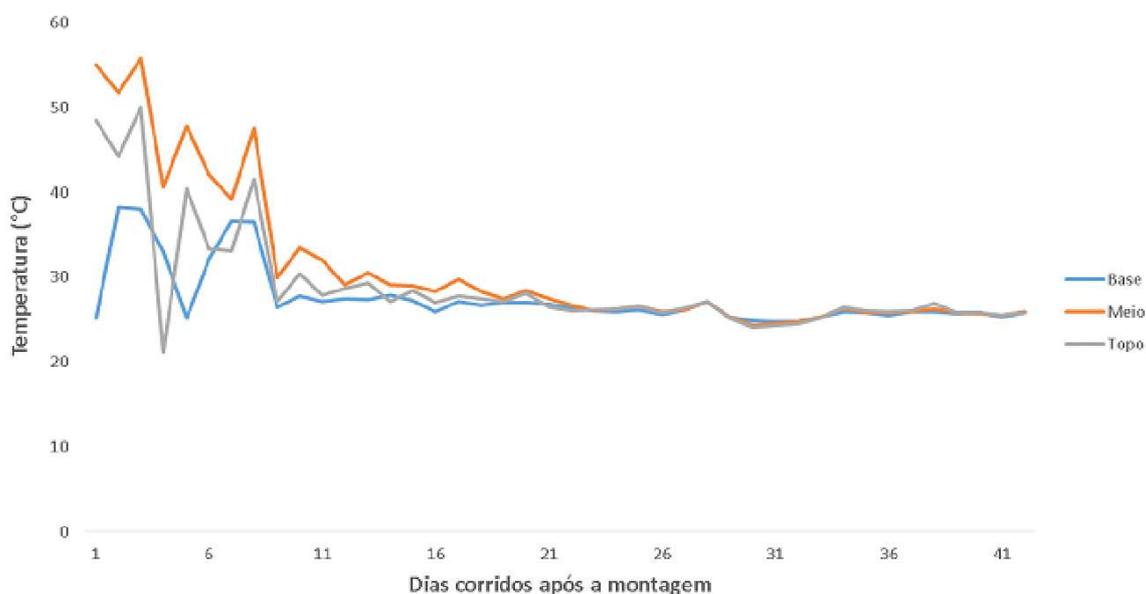
Tabela 1: Comparação multidimensional dos métodos de compostagem utilizados no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, *Campus* de Salvador.

Métodos de compostagem	Convencional	Inoculante	Térmica com resíduo cru	Térmica com resíduo cozido	Vermicompostagem
Tempo	60 dias	45 dias	48 - 72h	24 - 48h	45
Custo (inicial)(R\$/Kg)	R\$ 0,00	R\$ 350,00	R\$ 4.980,00	R\$ 4.980,00	R\$1.200,00
Energia elétrica	-	-	R\$ 15,40	R\$ 15,40	-
Resíduo processado	180 kg	79 kg	50 kg	29 kg	30 Kg
Composto	47 kg	25 kg	10 kg	10 kg	18 Kg
Redução de massa (%)	74%	73 %	80%	65%	60%
Análise C/N	0,30/0,001	0,65/0,006	0,47/0,001	0,14/0,008	0,46/0,44
Resposta das plantas	2	1	3	2	não avaliado

Pelo método convencional foram processados cerca de 180 Kg de resíduos orgânicos, com uma média de temperatura ambiente de 27,4°C e umidade relativa do ar de 60%. Gerou-se aproximadamente 48kg de composto orgânico através desse método.

Foi possível correlacionar através dos dados de temperatura (Figuras 2 e 3) as fases da compostagem convencional: mesofílica e termofílica (fase de degradação rápida) e de maturação (fase de humificação). Inicialmente, logo após a montagem das pilhas, houve um forte crescimento dos microrganismos mesófilos, visto que a pilha ainda se encontrava na temperatura ambiente. Com a elevação gradativa da temperatura, resultante do processo de biodegradação, a população de mesófilos diminuiu e os micro-organismos termófilos proliferaram-se com mais intensidade, o que pode ser verificado pelo súbito aumento da temperatura da pilha (MILLER, 1993).

Figura 2. Monitoramento da temperatura da pilha convencional (93,00 Kg de resíduo orgânico processado).

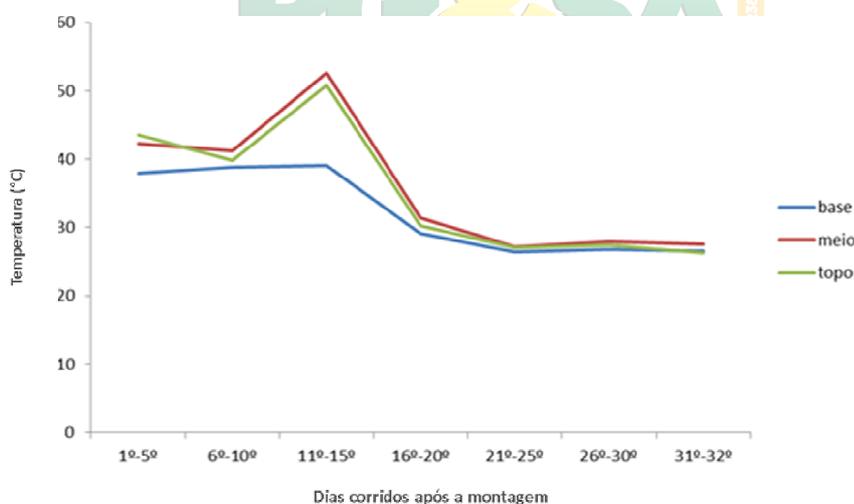


Os 10 primeiros dias consistem na fase termofílica do processo de compostagem. Entre o 11º dia até 21º ocorre a fase mesofílica, seguida da fase de maturação (descrição das fases no texto), onde não ocorre mais a oscilação da temperatura.

Na vermicompostagem, foram processados 30 Kg de resíduo orgânico em temperatura ambiente (cerca de 27°C), em um período de 60 dias.

Na compostagem acelerada, utilizando o produto Embiotic, foram processados 79Kg e gerados 25Kg de composto orgânico num intervalo de 45 dias. Com a utilização da composteira térmica a quantidade de material processado foi de 50kg para resíduos orgânicos e 28kg para resíduos orgânicos cozidos. A quantidade de composto gerado para os dois tipos de resíduos foi de 10kg em cada sistema. O monitoramento da temperatura desse método de compostagem está apresentado na Figura 3.

Figura 3. Monitoramento da temperatura da primeira pilha de compostagem com Embiotic Line (79,25 Kg de resíduo orgânico processado).



Os 10 primeiros dias consistem na fase termofílica do processo de compostagem. Entre o 11º dia até 21º ocorre a fase mesofílica, seguida da fase de maturação (descrição das fases no texto).

Por volta do 20º dia de compostagem realizada pelas técnicas tradicional e acelerada com o Embiotic Line, a maior parte da matéria orgânica já havia sido processada. Nesta fase, a maioria das moléculas facilmente biodegradáveis já haviam sido transformadas, o composto apresentava odor agradável e já se iniciava

o processo de humificação, típico da segunda etapa do processo, denominada maturação (Figura 4).

Figura 4: À esquerda, composto maduro oriundo da compostagem tradicional após os 60 dias de início do processo.



À direita o composto gerado após o processamento realizado pela composteira térmica, quarenta e oito horas após a inserção do resíduo orgânico.

Essas duas fases são fortemente marcadas por suas peculiaridades. Na fase de degradação rápida há um intenso consumo de oxigênio, em função da alta atividade microbológica, resultando na liberação de grande quantidade de dióxido de carbono, elevando a temperatura da pilha. O meio da pilha sempre se mostrou com temperatura mais elevada, tendo em vista que nessa porção da pilha a atividade microbológica era favorecida pela retenção de calor devido à dificuldade de difusão do mesmo e manutenção de uma umidade favorável às reações enzimáticas. O reviramento adequado e periódico é uma maneira eficiente não só de evitar a proliferação de bactérias anaeróbicas, como também de garantir que todas as porções da pilha sejam adequadamente processadas.

Na fase de humificação, o odor liberado pela pilha é de terra molhada e com um aspecto visual muito característico que varia do marrom escuro ao preto (variando de acordo com o material orgânico que foi disponibilizado inicialmente). As transformações são de ordem química, que consiste na polimerização de moléculas orgânicas estáveis e liberação de micronutrientes (VALENTE et al. 2009). Os diferentes métodos de compostagem realizados nesse estudo resultaram em diferentes aspectos físico-químicos, o que era esperado tendo em vista as condições diferenciadas aos quais foram submetidos.

Comparando com outros trabalhos referentes ao processamento de resíduos pela montagem de pilhas convencionais, o presente estudo teve um tempo total de processamento significativamente menor do que vem sendo apreciado (KIEHL, 1998). Essa aceleração no processo deve-se ao eficiente tritramento realizado na massa orgânica antes da montagem das pilhas, o que facilita a disponibilização de maior área de atuação dos microrganismos decompositores. Essa aceleração, propiciada por esse cuidado inicial é fundamental em contextos que geram resíduos de forma periódica e que dispõem de espaço reduzido para a montagem de pilhas ou leiras convencionais, visto que grandes volumes podem ser processados sem que haja a necessidade de disponibilização de grandes espaços para a sua acomodação. Além disso, a aceleração do processo, pela simples trituração do material orgânico, possibilita a rotatividade das pilhas em um mesmo espaço, visto que a maturação do composto também ocorre de forma breve.

Os parâmetros químicos medidos referente às análises das amostras estão apresentados na Tabela 2 e revelam perfis químicos bem distintos quando observados os quatro métodos de compostagem empregados.

Tabela 2. Resultados de análises químicas de amostras de compostos orgânicos (adubos) obtidas por diferentes técnicas de compostagem: (1) Compostagem convencional, (2) Vermicompostagem. (3) Compostagem acelerada com produto Embiotic Line, (4) Compostagem térmica de restos de refeições, (5) Compostagem térmica de restos de verduras e pó de café.

Amostra	pH	Umidade % (m/m)	Teor de fosfato (mg/Kg)	Teor de fósforo total (mg/Kg)	Teor de nitrato (mg/Kg)	Teor de nitrogênio total (mg/Kg)	Massa de C na forma ácido húmico (mg/Kg)	Teor de cinzas % (m/m)
1	7,48 ± 0,01	9,9 ± 2,1	12,14 ± 0,71	16,26 ± 0,004	5,25 ± 0,20	3470 ± 1	3360 ± 300	80,0 ± 0,5
2	7,15 ± 0,01	29,1 ± 1,5	19,18 ± 1,56	63,41 ± 0,004	6,00 ± 0,77	4400 ± 2	4560 ± 300	66,5 ± 0,3
3	7,74 ± 0,01	11,6 ± 2,1	a	B	64,45 ± 6,0	4270 ± 6	6400 ± 650	80,7 ± 0,9
4	4,39 ± 0,01	14,0 ± 0,6	62,16	500,0 ± 6,8	59,22 ± 4,0	18320 ± 8	4940 ± 140	5,3 ± 0,1
5	4,60 ± 0,02	10,3 ± 0,5	92,79 ± 2,66	129,5 ± 1,1	15,78 ± 0,1	14960 ± 1	6470 ± 470	7,5 ± 0,4

*a: coloração da amostra não permitiu análise pelo método espectrofotométrico empregado, b: teor de fósforo total abaixo do limite de detecção do método.

A compostagem convencional se mostra uma alternativa para o tratamento de resíduos orgânicos, tendo em vista o investimento inicial baixo (Tabela 1). Foi obtido um composto com características de solo (Figura 4), pH levemente alcalino, mas sem necessidade de correção, baixas quantidades de nitrogênio e fósforo e um teor de cinzas considerável, reflexo do solo utilizado na montagem da pilha e acrescentado durante as etapas de revolvimento. Esta técnica consegue reduzir consideravelmente o resíduo orgânico em 74%, mostrando já se tratar de um composto bem amadurecido. No entanto, carece de área disponível para montagem das pilhas, mão de obra para o monitoramento e revolvimento destas, cuidado constante sobre a presença de animais que possam ser vetores de doenças e da presença de odores oriundo do processo. Além disso, apresenta um ciclo de processo de 60 dias o que aumenta a necessidade de área disponível. Essas características inviabilizam sua adoção pelo IFBA-Campus de Salvador uma vez que trata-se de um *local* densamente construído e com vizinhança muito próxima.

A compostagem acelerada com Embiotic line apresentou as mesmas características da compostagem convencional, entretanto, otimizou em cerca de 25% o tempo de compostagem do resíduo orgânico. Esse processo apresentou uma melhor disponibilização do nitrogênio na forma de nitrato (Tabela 2). Da mesma forma que a compostagem convencional, este método requer área disponível e todos os cuidados desta, além da necessidade da compra periódica de insumos (inoculante e melaço, Tabela 1) o que dificulta o emprego do método em instituições públicas que tem o processo de compras moroso e pode acarretar na descontinuidade do mesmo.

A compostagem realizada com a utilização de minhocas californianas possibilitou uma aeração constante do material que foi processado, dificultando a proliferação de bactérias anaeróbicas e, por conseguinte, da produção de chorume com forte odor. Os compartimentos utilizados são de fácil manejo e alocação, sendo uma alternativa viável para escolas, apartamentos e casas. O composto obtido apresentou um pH que não precisará de correção para a aplicação em hortas escolares. Além disso, apresentou baixos teores de fósforo e nitrogênio disponíveis (fosfato e nitrato), apesar de apresentar quantidades consideráveis de nitrogênio total e fósforo total. O teor de cinzas, obtido foi inferior aos teores gerados pelas compostagens convencional e acelerada. Entretanto, o alto teor de cinzas obtido reflete um alto grau do amadurecimento do composto (KIEHL, 1985). O

vermicomposto tem sido apontado, em relação à compostagem convencional, um condicionador do solo vigoroso por propiciar maior capacidade de troca catiônica e maior quantidade de substâncias húmicas (ALBANELL et al., 1988) e fitormonais (TOMATI et al., 1995). Entretanto, a logística associada à implementação desse sistema como único processo de compostagem, o torna dificultoso, pois esse método tem restrição à natureza química do resíduo orgânico. Essa restrição deve-se à seletividade de material pelas minhocas utilizadas, a exemplo de cítricos e gordurosos que pode provocar a mortalidade em massa (SCHIEDECK et al., 2010). Como já citado, há carência de espaço físico na instituição para processar o volume de resíduo orgânico diário gerado que é de cerca de 100 Kg/dia, sendo 50% desse material inadequado para vermicompostagem. Além disso, uma minhoca ingere em média o seu peso por dia em termos de quantidade de alimento (COTTA et al., 2015), o que requisitaria uma grande quantidade desses organismos para processar a quantidade de resíduo gerado na Instituição.

A compostagem acelerada por meio do uso da composteira térmica mostrou-se extremamente rápida na geração do resíduo orgânico, interrompida em 48h. Um dos pontos vantajosos de sua utilização é a possibilidade de inserção e processamento de resíduos orgânicos gordurosos (restos de alimentos cozidos) e muito ácidos, situação normalmente impeditiva para a ocorrência de uma compostagem convencional e principalmente, para a vermicompostagem (ANDREOLI et al., 2002). O composto produzido tem aparência de solo (Figura 4) apresentando odor agradável. Os valores de nitrogênio total se destacam dos demais métodos (Tabela 2), principalmente quando se trata de resíduos de prato devido a maior carga de nitrogênio no conteúdo inicial (material protéico) e o baixo valor de pH (em torno de 4,5) destes dois processos que ajuda a evitar perdas de nitrogênio com a formação de amônia (substância volátil), favorecendo a manutenção deste na forma inorgânica (sais de amônio). Esses baixos valores de pH do meio trazem a necessidade de correção, dependendo das demandas fisiológicas da cultura, além de evidenciar o baixo grau de amadurecimento do composto, fato também corroborado pelo baixo teor de cinzas apresentado, quando comparado aos demais métodos. Esse amadurecimento poderá ser alcançado em etapas posteriores à compostagem, através do acondicionamento desses compostos, melhorando ainda mais os conteúdos de nitrogênio e fósforo disponíveis. Os compostos produzidos nesse tipo de compostagem também

apresentaram altos teores de fosfato. Provavelmente a atividade microbiana influenciou na alta disponibilidade de fosfato. A conversão do fosfato orgânico, presente nos tecidos dos animais e vegetais, para o inorgânico (P), o qual é absorvido pelas raízes das plantas é assegurada por bactérias como *Eubacillus* e *Bacillus* e fungos como *Saccharomyces* e *Penicillium* (DAJOZ, 2005). O *pool* de bactérias extremófilas presentes na composteira térmica pode ter favorecido essa conversão, balanceando a influência da acidez.

Em termos operacionais, o referido método adequou-se bem ao contexto institucional pelo fato de demandar pouco espaço, curto tempo de processamento do material, mesmo que necessite de um investimento inicial para aquisição do equipamento e consumo de energia elétrica, como único insumo (Tabela 1). Além disso, dentre os métodos avaliados nesse trabalho, esse é o único método que não necessita de processo de compra de materiais (inoculantes, minhocas, enzimas, etc) de maneira continuada que dificultaria um plano de gestão permanente dos resíduos gerados na instituição.

3.1 Utilização dos compostos na germinação e crescimento de hortaliças

Na germinação das sementes do coentro, que tem duração de 2 a 3 semanas, 95% das sementes se desenvolveram em todos os sistemas avaliados, indicando o potencial de todos os compostos gerados na melhoria da estrutura do solo, dando a ele condições de retenção de umidade, de oxigênio e de nutrientes, os quais terão influência no desenvolvimento do vegetal (LUCON e CHAVES, 2004). Dentre os elementos cruciais no processo de germinação e desenvolvimento vegetal, o nitrogênio (N) que é absorvido pela planta em forma de nitrato, é o que tem efeito mais rápido sobre o desenvolvimento do vegetal, pois é o elemento fundamental para síntese de proteínas e manutenção da replicação do material genético agindo no desenvolvimento em termos de crescimento de número de ramos (PONTALTI, 2011). O fósforo (P), macronutriente absorvido pelas plantas em forma de fosfato, age como fonte de energia da planta (produção de ATP – adenosina trifosfato), no crescimento das raízes, multiplicação das células e principalmente na floração, maturação e formação dos frutos. Na resposta das plantas a amostra de coentro referente ao composto cru produzido pela composteira térmica, foi à última a apresentar florescimento, o que é muito interessante na

cultura, que quanto mais tardia maior é o valor comercial, tendo em vista que o aumento em seu estado vegetativo implica em maior incorporação de biomassa.

Na análise química o composto referente ao método utilizando bactérias extremófilas apresentou pH 4,0 provavelmente devido aos resíduos orgânicos ácidos utilizados na composteira térmica durante o processo de decomposição. Nas plantas foi observado principalmente no composto derivado desse método um pequeno atraso no início do crescimento do coentro. Entretanto, apesar desse atraso, ao final a hortaliça cultivada em solo com o adubo proveniente desse método alcançou o status 3, o que indica alto valor de mercado.

Esse resultado é um indicativo de que o composto gerado através da compostagem térmica é um bom condicionador do solo para a referida cultura, mas, tendo em vista as distintas demandas de diferentes culturas, uma avaliação do potencial desses compostos em outros cultivos é necessária.

Diante das avaliações químicas e da comparação em relação aos outros critérios aqui adotados, poderíamos indicar um método mais eficiente para ser adotado no âmbito da Instituição. Quando comparamos quali-quantitativamente a compostagem convencional de resíduos orgânicos com outros métodos alternativos realizados neste estudo, o espaço utilizado, o gasto com mão de obra, custos operacionais, e principalmente tempo de processamento, aponta a compostagem efetuada por meio de uma composteira térmica com bactérias extremófilas como sendo a opção mais viável para uma Instituição do porte do IFBA. Essa escolha se dá em função da quantidade de resíduos orgânicos diários que necessitam ser gerenciados de maneira ambientalmente adequada com grande potencial de produção de um composto de qualidade prontamente utilizável em hortas orgânicas urbanas. A alternativa apresentada é sustentável e viável e pode ser aplicada no IFBA, inclusive numa, contemplando a comunidade circunvizinha. com destinação adequada aos resíduos orgânicos produzidos, o que atende a Lei Política Nacional de resíduos sólidos ea Lei Estadual de Educação Ambiental. Entretanto, do ponto de vista físico-químico, houve grande variação nos parâmetros avaliados, os quais requerem a necessidade de pensar um sistema misto integrado para o gerenciamento dos resíduos sólidos, quando houver a intenção de utilização do adubo gerado no melhoramento da qualidade do solo. Por ter apresentado características físico-químicas bem contrastantes com o método da compostagem térmica, a vermicompostagem apresenta-se como método complementar candidato

para atender essas diferentes demandas, desde que houvesse adaptações logísticas para ser factível no âmbito institucional.

Nessa tomada de decisão, necessitamos de acompanhamento mais rigoroso de parâmetros físicos e químicos que sejam relevantes para o metabolismo das plantas e manutenção das características do solo. Grande parte dessa carência de informações decorre da falta de estudos comparativos que utilizem a mesma fonte de resíduos orgânicos que tornaria os resultados comparáveis.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os métodos de compostagem empregados no âmbito da Instituição foram úteis e atuaram de forma complementar na diminuição do volume de resíduos gerados.

Neste sentido, este estudo permitiu propor que a compostagem térmica é indispensável como primeiro tratamento, atuando como uma etapa importante para a desidratação/decomposição, promovendo uma redução de volume em até 80% na massa dos resíduos, além da forte atuação na mudança nos aspectos físico-químicos e organolépticos em apenas 48h, embora não produza o composto totalmente maduro, o qual poderá ser realizado pelo simples empilhamento para completar a sua maturação naturalmente, em pilhas. Como método complementar a este, a vermicompostagem realizada em tanques ou containers poderia ser adotada, garantindo a geração de um adubo de qualidade e reduzindo cerca de 20% do resíduo orgânico produzido no âmbito da instituição.. Espera-se dessa forma que a complementariedade dos métodos nessa perspectiva multi-parâmetros seja capaz de destinar de forma ambientalmente adequada os resíduos orgânicos da instituição. Sendo assim, pesquisas futuras que testem hipóteses relacionadas aos mecanismos subjacentes ao processo desempenhado por cada método devem ser realizadas no intuito de fornecer respostas técnicas em relação às características qualitativas dos adubos e sua influência sobre a germinação e o crescimento dos vegetais.

EVALUATION OF DIFFERENT COMPOSTING TECHNIQUES FOR UTILIZATION OF ORGANIC WASTE IN THE IFBA CAMPUS DE SALVADOR: A MULTI-CRITERIA APPROACH

ABSTRACT

The environmentally sound disposal of solid waste generated in urban areas is a major challenge. The composting technique is an effective way to promote this destination, as it avoids sending this material to landfills and generates different fertilizers. The compositions of this compound can impact the quality of the generated compost and consequently in the fertilization process. Whereas the chemical composition of obtained compounds promote decision-making as its destination, it is proposed in this work, the analysis of the chemical composition of organic compounds from different composting techniques: vermicomposting, conventional composting, and accelerated composting (with fungi and with electrical extremophile bacteria). The processed 300 kg of organic waste through fourth methods over a period of 6 months, with the conventional method which had the largest volume processed. They were determined chemical parameters: humidity, pH, free phosphorus as phosphate, total phosphorus, total nitrogen content and the humic acid and fulvic acid content. The parameters analyzed provided the evaluation of humus produced for use in the fertilization process, and provide chemical data for comparison of the methods of composting employees, producing a database that will be used as criteria for maintaining this practice in the institutional school setting in which it was developed. This fertilizer can be used in school gardens and community serving as a tool for promoting environmental education engaged and consistent with the assumptions of the National Solid Waste Policy.

Key-words: Organic compost. Chemical evaluation. Composters Electric. Waste Management.

REFERÊNCIAS

ALBANELL, E.; PLAIXATS, J.; CABRERO, T. Chemical changes during vermicomposting (*Eisenia fetida*) of sheep manure mixed with cotton industrial wastes. **Biology and Fertility of Soils**, v.6, p.266- 269, 1988.

ANDREOLI, C.V.; BACKES, S.A.; CHERUBINI, C. Avaliação do processo de compostagem utilizando podas verdes e resíduos do saneamento. **Anais FERTIBIO** Rio de Janeiro, 5p. 2002.

BENITES, V.M. MADARI, B. MACHADO, P.L.O.A. Extração e fracionamento Quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo. **Embrapa- ISSN 1517-5685**. Rio de Janeiro, RJ. Outubro de 2003.

COTTA, J.A.O; CARVALHO, N.L.C; BRUM, T.S; REZENDE, M.O.O. 2015. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Eng Sanit Ambient**, v.20(1), 65-78.

DA SILVA, F.C. Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes. **Embrapa. Segunda edição**. Brasília, DF. 2009. 627 p.

DAJOZ, Roger. Princípios de Ecologia. 7. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 520 p.

INÁCIO, C.T; MILLER, P.R.M. 2009. Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos. Rio de Janeiro. **Embrapa Solos**. 154p.

KIEHL, E.J. (1985) Fertilizantes orgânicos. São Paulo: **Agronômica Ceres**. 492 p.

KIEHL, Edmar José. *Manual de Compostagem*. Piracicaba: **Editora Ceres**, 1998.

LUCON, C.M.M & Chaves A.L.R (2004) Palestra - **Horta Orgânica**. *Biológico*, 66:59-62.



MAIA, C. M. B. de F.; BUDZIAK, C. R.; PAIXÃO, R. E. da; MANGRICH, A. S. 2003. Compostagem de resíduos florestais: um guia para produção de húmus através da reciclagem e aproveitamento de resíduos florestais. **Colombo: Embrapa Florestas**. 28p. (Embrapa Florestas. Documentos, 87)

MILLER, F.C. Composting as a process base on the control of ecologically selective Factors. In: MEETING, F.B. (Ed.). Soil microbial ecology: application in agricultural and environmental management. **New York: Marcel Dekker Inc**, p.515-541.1993.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Agencia Nacional de Vigilância Sanitária. Métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4a ed. Brasília: Ministério da Saúde, 2005.

NUNES, M.U.C. Compostagem de resíduos para a produção de adubo orgânico na pequena propriedade. **Embrapa Tabuleiros Costeiros**, p.1-7, 2009

PENTEADO, S.R. Introdução à Agricultura Orgânica –Normas e Técnicas de Cultivo. Campinas: **Editora Grafimagem**, 110 p. 2000.

SCHIEDECK, G., STRASSBURGER, K.F.S., SILVEIRA, E.S., HOLZ, F.P. 2010. Alimentação de Minhocas: teste de aceitação do alimento. **EMBRAPA. Comunicado técnico 236**. ISSN 1806-9185.

TOMATI, U.; GALLI, E.; PASETTI, L.; VOLTERRA, E. Bioremediation of olive-mill wastewaters by composting. **Waste Management and Research**, v.13, p.509-518, 1995.

VALENTE, B. S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JR., B. de. S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de. O.; LOPES, D. C. N. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v. 5, p. 59-85, 2009.

