

Compostagem de resíduos urbanos em leiras estáticas com aeração passiva

Composting urban waste in passively aerated static compost piles

• **Data de entrada:**
13/09/2018


• **Data de aprovação:**
23/10/2018

Roani Simões Veras^{1*} | Ronaldo Stefanutti¹ | Ari Clecius Alves de Lima¹ | Geísa Magalhães¹


DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2020.047>

ORCID ID

Veras RS  <https://orcid.org/0000-0002-9850-5722>

Stefanutti R  <https://orcid.org/0000-0002-6776-0413>

Lima ACA  <https://orcid.org/0000-0002-1220-5260>

Magalhães G  <https://orcid.org/0000-0003-3974-2477>

Resumo

Dentre as técnicas de compostagem, o método em leiras estáticas com aeração passiva apresenta as vantagens de simplicidade de operação e redução de custos por não haver revolvimento frequente. Este trabalho teve como objetivo a comparação dos métodos de leiras revolvidas e leiras estáticas com aeração passiva, analisando os parâmetros de temperatura, pH, relação C/N, condutividade elétrica e índice de germinação. Para tanto, foram empregados restos de alimentos e podas de árvores trituradas com a montagem de 6 leiras, com alturas de 50, 75 e 100cm, de forma que metade das leiras foram revolvidas (R50, R75 e R100) e a outra parcela permaneceu estática (E50, E75 e E100). Apenas as leiras com altura de 100 cm foram consideradas adequadas quanto à temperatura, de acordo com a Resolução CONAMA nº 481/2017, e Instrução Normativa 25/2009 do MAPA. A falta de revolvimento não teve influência no suprimento de oxigênio para decomposição dos resíduos. Compostagem em leiras com aeração passiva é uma alternativa eficiente e com custo reduzido, em comparação com leiras revolvidas, no tratamento de resíduos sólidos urbanos.

Palavras-chave: Compostagem. Resíduos orgânicos. Composto. Aeração passiva. Podas de Árvores. Restos de alimentos.

Abstract

Among the composting techniques, the passively aerated windrow method presents the advantages of simple operation and cost reduction because there is no frequent stirring. The purpose of this paperwork is to compare the methods of windrow composting and passively aerated windrow, analyzing the following parameters: temperature, pH, C/N ratio, electrical conductivity and germination index. In order to do so, food remains and tree pruning were used to prepare 6 lines of composting pile with height of 50, 75 and 100 centimeters, in order to guarantee that half of the piles were revolved (R50, R75 and R100) and the other half weren't revolved, keeping it static (E50, E75, E100). Only the lines with 1 height were considered suitable for temperature standards in accordance to CONAMA Resolution No. 481/2017, and Normative Instruction 25/2009 of MAPA. The lack of stirring had no influence on the oxygen supply for the residues decomposition. Composting with passive aeration is an efficient alternative and reduced cost option compared to revolved lines in the urban solid waste treatment.

Keywords: Composting. Organic Waste. Compost. Passive aeration. Tree Pruning. Food waste.

¹ Universidade Federal do Ceará - Fortaleza - Ceará - Brasil.

* **Autor correspondente:** roaniveras30@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

O crescimento da geração de resíduos e da preocupação em como efetuar sua gestão de forma correta é um tema amplamente debatido mundialmente. De acordo com o relatório sobre o panorama dos resíduos sólidos no Brasil, da Associação Brasileira de Empresa de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (2016), são gerados aproximadamente 78,3 milhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), constituídos pela parcela domiciliar e de varrição pública. O relatório complementa que das 71,3 milhões de toneladas coletadas apenas 58,4% são destinadas para aterros sanitários.

Do total de resíduos urbanos gerados, a fração orgânica representa mais de 50%, embora menos de 2% sejam destinados à compostagem (BRASIL, 2017). Tais resíduos são degradados facilmente, principalmente por microrganismos, contudo ocasionam incômodos à sociedade quando dispostos de forma irregular. Segundo Inácio e Miller (2009), esses resíduos podem poluir os recursos hídricos e atrair micro e macro vetores de doenças.

Quando se trata da zona rural, há uma elevação da quantidade de resíduos orgânicos gerados. São produzidos 291,1 milhões de toneladas de resíduos no processo de plantio das 13 maiores culturas no Brasil, e na pecuária, considerando dejetos da criação e indústria primária, são geradas 1,705 bilhões de toneladas de resíduos por ano (Brasil, 2012).

Em países de baixa renda, a fração orgânica representa cerca de 64% dos resíduos domiciliares, enquanto nos países desenvolvidos esse valor é reduzido para aproximadamente 28% (HOORNWEG; BHADA-TATA, 2012). Assim, é evidente a necessidade de os países em desenvolvimento buscarem soluções de tratamento dos resíduos orgânicos, que são provenientes, entre outros: da zona urbana na manutenção de áreas verdes e

restos de alimentos das residências, feiras e restaurantes; do setor de agropecuária, com restos de produção de culturas e os esterco dos animais; e da indústria de alimentos.

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305, apresenta a seguinte ordem de prioridade na gestão dos resíduos: evitar sua produção; posteriormente reduzir o volume produzido; em seguida, reutilizar e reciclar o que for possível; destinar para disposição final o que for rejeito, ou seja, o que não for passível de recuperação (BRASIL, 2010). Os aterros sanitários são necessários no final da cadeia de destinação dos resíduos, porém devem ser buscadas outras formas de valorização destes.

A compostagem é um método de tratamento com grande possibilidade de auxiliar o gerenciamento dos resíduos orgânicos, independentemente do porte do município. Lim, Lee e Wu (2015) relatam que a compostagem é a melhor solução no gerenciamento de resíduos orgânicos, devido aos baixos custos de tratamento e menores impactos ao meio ambiente.

Para Fonseca (2012), a compostagem é um processo de oxidação biológica realizada por microrganismos que transformam um substrato heterogêneo em um composto estável, higienizado e homogêneo. Brewer et al. (2013) definem compostagem como a estabilização aeróbia de forma controlada da degradação biológica, possibilitando o retorno dos nutrientes do material original para o meio ambiente.

Em condições aeróbias, a matéria orgânica é transformada em um composto estável após sua estabilização e humificação (BELO, 2011). Dessa maneira, são formados vapor d'água, dióxido de carbono e outros gases, além da liberação de calor como produtos das reações efetuadas por microrganismos.

A compostagem é uma forma de tratamento que minimiza a quantidade de matéria orgânica encaminhada para os aterros sanitários, aumentando a vida útil destes, além de reduzir a emissão de gases de efeito estufa e concentração orgânica no lixiviado (GOMES et al., 2015). Ao longo do processo de estabilização, os resíduos orgânicos são transformados em um composto orgânico que pode ser aplicado no solo (ANDRADE et al., 2018).

Segundo Pozza, Penteado e Criscuolo (2015), há uma grande preocupação com relação às emissões de gases de efeito estufa devido à decomposição dos resíduos em aterros sanitários. Tal forma de tratamento é considerada uma fonte intensa de emissões de dióxido de carbono, metano, compostos orgânicos voláteis, entre outros poluentes (ÇENTIKAYA; BILGILI; KUZU, 2018).

Segundo Friedrich e Trois (2013), na compostagem, as emissões de gases de efeito estufa são provenientes das máquinas utilizadas no pátio de compostagem e do próprio processo de decomposição. Estudos de avaliação de ciclo de vida de resíduos orgânicos apontam que a compostagem gera menos impactos ambientais quando comparada a outras formas de tratamento e disposição final de resíduos, como aterros sanitários e incineração (SAER et al., 2013).

Na compostagem, após a mistura dos materiais e início do processo, a temperatura no interior da leira está próxima do valor encontrado no meio ambiente. Em seguida, as fontes de carbono facilmente biodegradáveis são consumidas pelos microrganismos, formando ácidos orgânicos como produto das reações e reduzindo o pH (FONSECA, 2012). Posteriormente, a biota passa a degradar as proteínas com liberação do amônio e elevação do pH. Por fim, complementa o autor, os compostos mais resistentes são parcialmente decompostos e transformados em húmus.

Barros (2012) divide a compostagem em fase de digestão, em que ocorre estabilização da matéria orgânica, e fase de maturação, em que o material é transformado em húmus. O autor complementa que a primeira etapa leva em torno de 1 a 3 meses e a segunda ocorre ao longo de 1 a 2 meses.

A compostagem é um processo biológico, e alguns fatores devem ser controlados para possibilitar o desenvolvimento dos microrganismos.

Massukado (2008) comenta que as temperaturas na faixa de 65°C contribuem para a eliminação de possíveis microrganismos patogênicos e ervas daninhas. Contudo, quando os valores ultrapassam 70°C, o excesso de calor pode restringir o desenvolvimento das bactérias e fungos e reduzir a atividade biológica.

Umidade é outro fator relevante, já que os microrganismos dependem de água para efetuar suas reações metabólicas. Segundo Pereira Neto e Lellis (1999), a água é o meio utilizado para solubilização dos substratos e eliminação dos materiais residuais digeridos. Kihel (1985) comenta que os limites adequados para o crescimento dos microrganismos variam entre 40 e 60% de umidade.

A decomposição dos resíduos pode ocorrer em meio aeróbio ou anaeróbio, a depender das condições do ambiente. Um sistema com boa aeração fornece o oxigênio necessário para que a oxidação da matéria orgânica ocorra de forma mais rápida e eficiente (KIEHL, 1985). O suprimento de oxigênio é realizado geralmente com o revolvimento das leiras ou com insuflação de ar através de sopradores. Fernandes (1999) comenta que, além do fornecimento de oxigênio, o revolvimento possibilita a remoção do excesso de umidade e calor da pilha de compostagem.

Nitrogênio e carbono são elementos fundamentais para o processo de compostagem. O carbono é uma fonte energética essencial para os micror-

ganismos, enquanto o nitrogênio é fundamental para a síntese proteica (MASSUKADO, 2008). Russo (2003) cita os valores recomendados da relação C/N no início do processo de acordo com diferentes autores (Tabela 1).

Tabela 1- Relação C/N ideais para compostagem

Relação C/N	Autor	Ano
30/1 a 35/1	Gotaas, H.B.	1959
30/1	Haug, R.T.	1980
20/1 a 30/1	Golueke, C.G.	1981
25/1	Bertoldi et al	1983
30/1 a 40/1	Pereira Neto, J.T.	1989
25/1 a 40/1	Richard, T.L.	1992

Fonte: Adaptado de Russo (2003).

Valores muito extremos de pH dos resíduos podem comprometer a compostagem. Materiais que variam o pH entre 3 e 11 podem ser utilizados, porém os microrganismos se adaptam mais facilmente com variações entre 5,5 e 8 (RUSSO, 2003). O autor complementa que é difícil controlar os valores de pH durante o processo, contudo esse fator é automaticamente regulável pelos subprodutos ácidos e básicos das reações.

Para que o tratamento dos resíduos por meio da compostagem seja sustentável, é necessário que o composto orgânico produzido tenha a qualidade esperada. Alguns parâmetros são utilizados com o intuito de analisar a possibilidade de o composto ser empregado no solo sem causar prejuízos às plantações.

De acordo com Beckett e Davis (1977), fitotoxicidade é um parâmetro que indica a existência de alguma substância potencialmente nociva que possa comprometer o desenvolvimento da planta. Belo (2011) comenta que a presença de ácidos orgânicos, metais pesados, pesticidas ou excesso de salinidade pode originar fitotoxicidade.

Condutividade elétrica é outro parâmetro que verifica o grau de qualidade de um composto e serve como um indicativo dos níveis de toxi-

cidade (MASSUKADO, 2008). Quanto maior a condutividade elétrica, maior será a quantidade de sais na solução.

Compostagem é uma técnica de tratamento que pode ser adaptada de acordo com as condições impostas. Massukado (2008) comenta que podem ser implementadas soluções mais simples, como em residências e pequenas comunidades, e formas mais complexas, que demandam maior controle operacional e tecnologia, como em indústrias e municípios.

Os métodos mais comuns são: leiras revolvidas, nas quais o revolvimento pode ser manual ou com uso de equipamentos; leiras estáticas com aeração forçada, em que não há necessidade de revolvimento, pois são usados sopradores e exaustores para insuflar ou aspirar o ar no interior das leiras; reatores fechados, em que os principais fatores que interferem no processo são controlados em ambiente fechado; e leiras estáticas com aeração passiva, de forma que o fornecimento do oxigênio ocorra com a passagem do vento pela massa de compostagem.

As leiras estáticas possuem essa denominação por não serem revolvidas regularmente. Quando há revolvimento nesse método geralmente ocorre apenas na mudança da fase de degradação ativa para a etapa de maturação. Segundo Buttenbender (2004), a compostagem em leiras com aeração passiva possui as vantagens de ser um processo que utiliza equipamentos simples, com baixo custo devido à redução de mão de obra e não gerar maus odores. Como não são usadas máquinas para o revolvimento das leiras, há uma redução na emissão de gases de efeito estufa.

Existem algumas iniciativas de aeração passiva em que são instaladas tubulações perfuradas ou estruturas de madeira dentro das leiras com o objetivo de auxiliar a passagem de ar internamente.

2 OBJETIVO

Comparar métodos de compostagem em leiras revolvidas com leiras estáticas com aeração passiva, analisando os fatores temperatura, umidade, pH, Relação C/N, condutividade elétrica e índice de germinação.

3 METODOLOGIA

O estudo foi desenvolvido com a formação de 6 leiras com proporção dos materiais de 1:1,5 em massa com base úmida de restos de alimentos dos restaurantes da Universidade Federal do Ceará localizada (UFC) no Campus do Pici e podas de árvores da cidade de Fortaleza (CE), respectivamente. Ao contrário do método com aeração passiva, que comumente utiliza estruturas para facilitar a ventilação das leiras, este trabalho propõe a não utilização de estruturas semelhantes, simplificando a técnica. Assim, é possível implementá-la mais facilmente em pequenos municípios e comunidades devido à facilidade de montagem e operação das leiras.

Os resíduos orgânicos dos restaurantes universitários são restos de comidas que ficam nos pratos dos usuários, além de alimentos que foram ofertados nas bandejas durante o almoço, mas não consumidos. O menu consiste usualmente em carnes, saladas, arroz, feijão, farofa e frutas. Já as podas, que são constituídas de galhos e folhas da arborização urbana, foram fornecidas pela empresa Cosampa, que encaminhou o material já triturado para a área de compostagem.

Foram escolhidos esses tipos de resíduos por dois motivos. O primeiro foi a proximidade da área de compostagem das fontes geradoras, facilitando a coleta e recebimento destes com a frequência desejada. O segundo motivo foi o fato de que tanto os resíduos dos restaurantes, semelhantes à fração orgânica dos resíduos domésticos, como

as podas de árvores da zona urbana são materiais presentes em grandes quantidades nas cidades e são comumente um desafio financeiro e ambiental para os gestores.

3.1 Delineamento

Foram desenvolvidas seis leiras; a metade delas não foi revolvida, e a outra metade foi revolvida com pá e enxada. O revolvimento destas ocorreu no 3º, 7º, 10º, 14º, 21º e 27º a partir da data de formação de cada leira. Para cada forma de operação foram montadas leiras com altura de 50, 75 e 100 cm. A Tabela 2 apresenta as identificações de cada leira.

Tabela 2 - Identificação das leiras

Relação C/N	Autor	Ano
E100	Estática	100 cm
E75	Estática	75 cm
E50	Estática	50 cm
R100	Revolvida	100 cm
R75	Revolvida	75 cm
R50	Revolvida	50 cm

Fonte: Elaborada pelo autor.

As leiras foram arquitetadas com 2,80 m de comprimento e 1,80 m de largura sobre uma base com poda de 15 cm de espessura, 3,50 de comprimento e 2,50 de largura. Essa base foi introduzida para absorver um possível volume de chorume que poderia percolar pela leira. Cada leira foi dividida em lados A e B para a coleta de amostras e utilização das médias dos resultados.

Antes da formação das leiras, os sacos de alimentos eram pesados para obter a proporção adequada de poda. Foi utilizada a balança da empresa Digi-Tron com capacidade de 500 kg. Em seguida, os resíduos eram homogeneizados em uma betoneira com capacidade de mistura

de 400L e dispostos nos locais preparados para a formação das leiras.

As irrigações foram realizadas com mangueiras micro perfuradas em torno das leiras (Fig. 1)

duas vezes por semana durante os 45 dias iniciais. Foram adicionados aproximadamente 480 litros em cada leira por semana durante esse período.



Figura 1 – Irrigação da leira
Fonte: Elaborada pelo autor.

3.2 Monitoramento do experimento

As coletas das amostras foram executadas com o uso de trado em dois pontos com alturas diferentes nas três laterais de cada parcela e com uma massa total de aproximadamente 250g (Fig. 2). Os critérios de coleta seguiram o padrão determinado pela NBR ISO 10007:2004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2004).

As análises de Carbono Orgânico Total (COT) e Nitrogênio Total (NT) foram realizadas nos períodos de 0, 45, 90 e 135 dias após a montagem de cada leira, enquanto as análises de pH e umidade foram realizadas duas vezes por semana nos primeiros noventa dias e uma vez por semana durante o resto do experimento. Já a temperatura foi monitorada com uma frequência de três vezes

por semana nos primeiros noventa dias e uma vez por semana no período restante. As análises de Condutividade Elétrica (CE) e Índice de Germinação (IG) foram realizadas nos 135º dia de cada parcela. Foram realizadas pesagens das leiras no início e no final do processo, com quantificação da redução das massas em base úmida.

O material coletado foi armazenado em recipiente de plástico seco com volume de 4,5 litros (Fig. 2). Após homogeneização da amostra, uma parte era separada para análise de pH *in natura* e outra parcela colocada na estufa a 65°C por 16 horas para secagem e medição de umidade. Para análises de COT, NT, CE e ÍG após a secagem as amostras foram trituradas em liquidificador e passadas em peneiras com abertura de malha de 2 mm.



Figura 2 - Coleta da amostra
Fonte: Elaborada pelo autor.

A temperatura foi monitorada em uma seção de cada parcela em profundidades diferentes de acordo com o tamanho da leira. As medições para leiras de 100 cm foram efetuadas a 20 cm, 40 cm, 60 cm e 80 cm de profundidade; leiras de 75 cm foram monitoradas temperaturas em 20 cm, 40 cm e 60 cm de profundidade e leiras com 50 cm de altura pontos com 20 cm e 40 cm de profundidade. Nas análises dos resultados foram utilizadas as médias das medições nas diferentes profundidades. A temperatura do ambiente era medida sempre que havia o monitoramento das temperaturas das leiras. Utilizou-se um termômetro modelo GUL Term 180 da marca GULTON com haste de 1 metro.

As metodologias das análises de umidade, pH, COT, NT, CE e IG são indicadas na Tabela 3.

Tabela 3 - Metodologias de análise

Análise	Metodologia
Umidade	Brasil (2007)
Ph	Brasil (2007)
Carbono Orgânico Total	Brasil (2007)
Nitrogênio Total	Silva (2009)
Condutividade Elétrica	Brasil (2007)
Índice de Germinação	Zucconi et al. (1981)

Fonte: Elaborada pelo autor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Caracterização dos resíduos

Os resultados das análises físicas e químicas dos resíduos utilizados são apresentados na Tabela 4.

Ao contrário das podas, os restos de alimentos apresentaram pH abaixo da faixa considerada ideal (5,5 a 8,0) por Russo (2003). Andrade et al. (2018) também encontraram valores ácidos de restos de alimentos com pH em torno de 4,20. Misturas com pH abaixo de 4,0 podem reduzir a atividade biológica da compostagem, já que um número limitado de microrganismos atuam ativamente em faixas muito ácidas de pH.

Os resultados da caracterização dos resíduos foram semelhantes aos encontrados por Marques et al. (2016) em pesquisa sobre compostagem de resíduos domiciliares e podas de árvores. No referido trabalho, o autor constatou relação C/N de 15,56 para restos de alimentos e 19,81 para as podas. Andrade et al. (2018) obtiveram relação C/N de 15,3 para resíduos alimentares e 21,2 para podas trituradas.

As relações C/N dos resíduos apresentaram valores considerados baixos. Dessa maneira, não houve possibilidade de iniciar o processo de compostagem com valores próximos de 30/1 amplamente defendidos como ideal.

Tabela 4 - Caracterização dos resíduos

Resíduo	Carbono orgânico	Nitrogênio Total	Relação C/N	pH	Umidade	Densidade
Alimento	42,57%	2,73%	15,59	5,11	67,90%	725 kg/m ³
Poda	43,03%	1,82%	23,64	6,86	28,00%	350 kg/m ³

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.2 Temperatura

Foram utilizadas as médias das temperaturas monitoradas nas diferentes profundidades e nos lados A e B das leiras. Ao analisar as Fig. 3, 4 e 5, é possível observar que já no segundo dia de formação das leiras as temperaturas já se encontravam na faixa termofílica (acima de 40 °C). De forma geral, as temperaturas medidas nas leiras indicam que inicialmente houve a fase de degradação ativa seguida de um decréscimo gradual para a fase de maturação.

Todas as leiras mantiveram os valores termofílicos de temperatura por no mínimo 30 dias, contudo apenas as leiras com 100 cm de altura alcançaram a determinação da Resolução nº 418 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, que estabelece como critério de higienização temperatura acima de 55 °C por pelo menos 14 dias. As leiras com maiores alturas se mantiveram na faixa termofílica durante um período mais prolongado. Tal fato pode ser explicado pelo maior volume adicionado de resíduos, e assim, com maior capacidade de retenção de calor. A relação volume/área de superfície é maior para as leiras com maiores alturas, reduzindo a perda de calor para o meio ambiente.

As duas leiras com altura de 50 cm apresentaram valores similares, independentemente da implantação ou não dos revolvimentos. A fase termofílica da leira E50 durou cerca de 36 dias com um valor máximo de 63,77 °C. A leira R50 teve redução dos valores para a fase mesofílica após 38 dias, atingindo um máximo de 56,92 °C. Na fase de maturação, ambas as leiras apresentaram comportamento semelhante.

No caso das leiras com altura de 75 cm, ocorreu o oposto, de forma que a leira operada com aeração passiva apresentou temperaturas médias reduzidas em relação à leira com revolvimento. A permanência na zona termofílica durou cerca de 36 dias na leira E75 e 48 dias na leira R75. Os valores máximos de temperatura foram de 64,1 °C e 59,66 °C para as leiras com e sem revolvimento respectivamente.

As leiras E100 e R100 se destacaram das demais por manterem temperaturas mais altas por maior tempo. A permanência de valores acima de 55 °C por mais de duas semanas aumentam a possibilidade de eliminação de ervas daninhas e microrganismos patogênicos. A leira E100 manteve as temperaturas na faixa termofílica durante aproximadamente 80 dias com máximo de 65,96 °C. Guermandi (2015) entende que a presença de oxigênio possibilita aumento das atividades metabólicas dos microrganismos com a consequente liberação de calor e aumento da temperatura. Assim, é possível afirmar que a aeração passiva para essa leira foi apropriada, já que a falta de revolvimento não inibiu a ação dos microrganismos. A leira R100 permaneceu na faixa termofílica (acima de 40°C) durante 52 dias, atingindo 61,71 °C.

Em estudo realizado por Andrade et al. (2018), percebeu-se que para leiras com controle de revolvimento a fase termofílica dura menos que para as leiras sem revolvimento, pois a aeração possibilita aumento da velocidade da estabilização. Por outro lado, sem o revolvimento, temperaturas mais altas são prolongadas, possibilitando maior higienização. Compostagem em leiras com aeração passiva necessitam de mais tempo para o composto orgânico ser considerado humificado (RASAPORR; ADL; POURAZIZI, 2016).

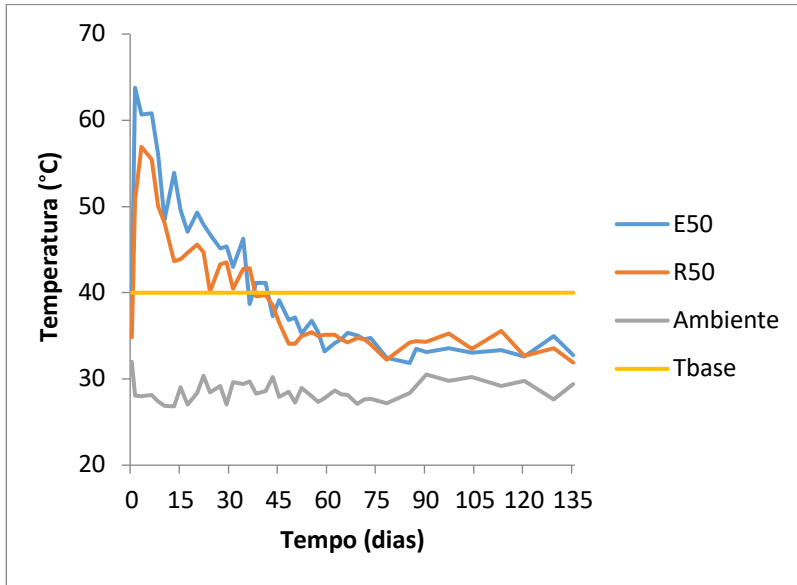


Figura 3 - Temperatura leira 50 cm
Fonte: Elaborada pelo autor.

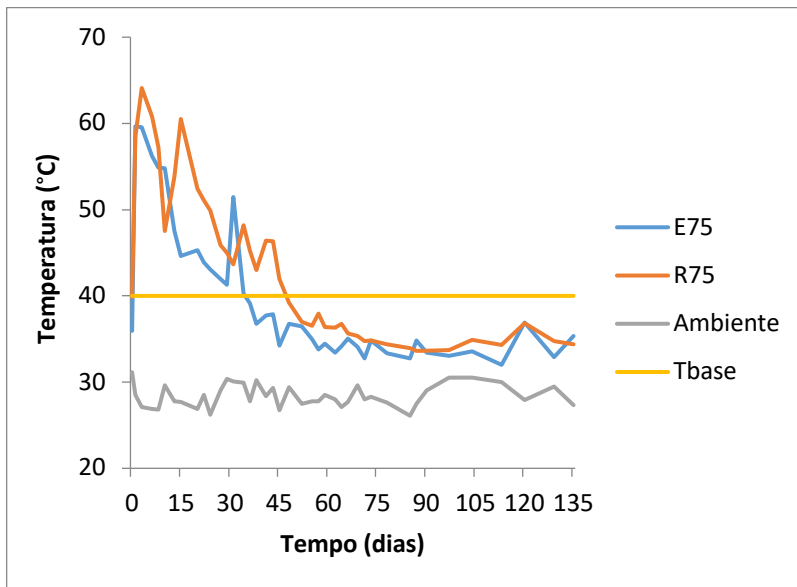


Figura 4 - Temperatura leira 75 cm
Fonte: Elaborada pelo autor.

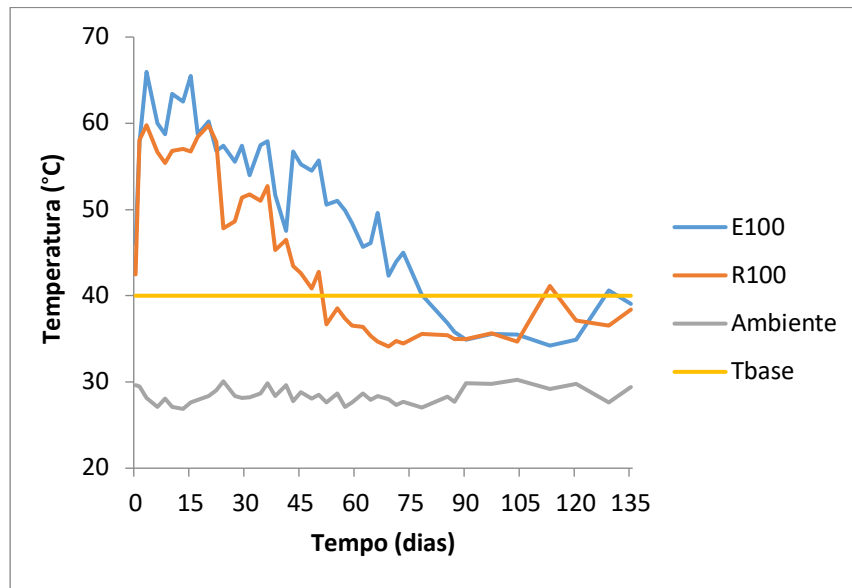


Figura 5 - Temperatura leira 100 cm

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.3 Umidade

Conforme demonstrado nas Fig. 6, 7 e 8, a forma e frequência das irrigações não foram eficientes na manutenção da umidade dentro dos valores considerados ideais entre 40% e 65% por Inácio e Miller (2009). Na faixa próxima de 90 dias, ocorreram aumentos significativos dos valores para todas as leiras. Tal fato aconteceu tanto devido ao provável aumento na capacidade de retenção de água das leiras como à grande incidência de chuvas. Dessa

maneira, ao fim do processo nenhuma das leiras obteve umidade abaixo de 50%, como é determinado pela Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA).

Em relação às leiras sem revolvimento, foram encontrados resultados dentro do indicado pela literatura em 55,17%, 82,75% e 79,31% das medições, para alturas de 50 cm, 75 cm e 100 cm respectivamente. Já para as leiras revolvidas, 62,07%, 34,48% e 41,38% para 50 cm, 75 cm e 100 cm.

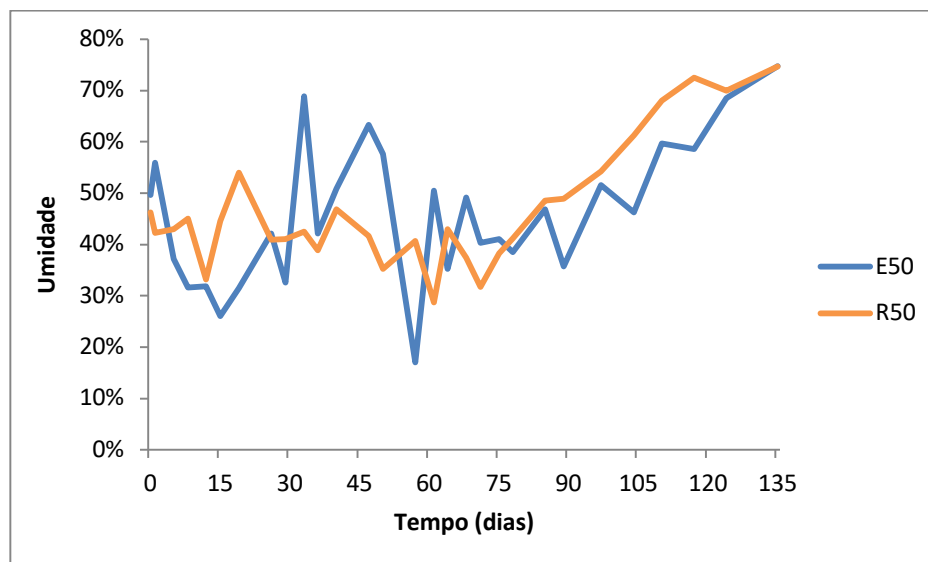


Figura 6 - Umidade Leira 50 cm

Fonte: Elaborada pelo autor.

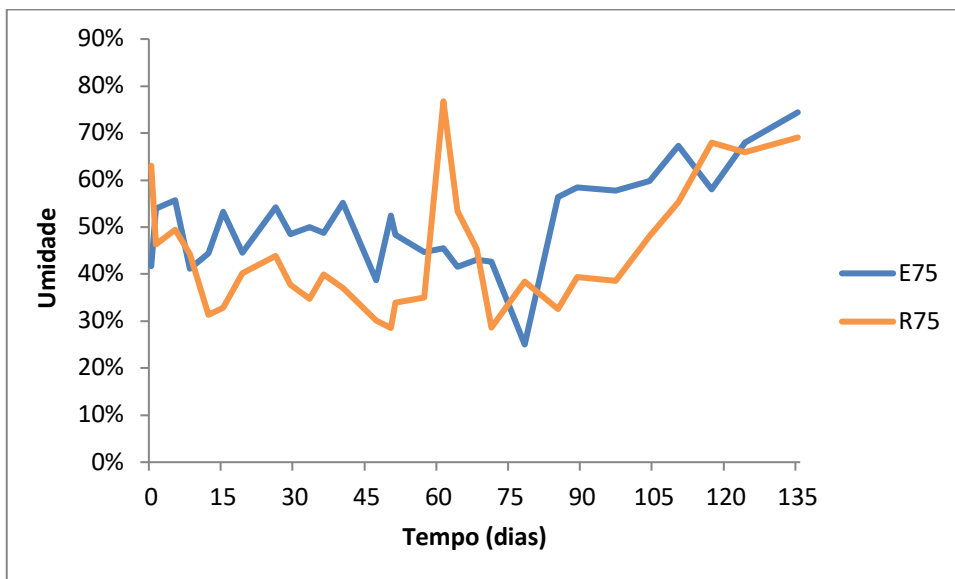


Figura 7 - Umidade leira 75 cm
 Fonte: Elaborada pelo autor.

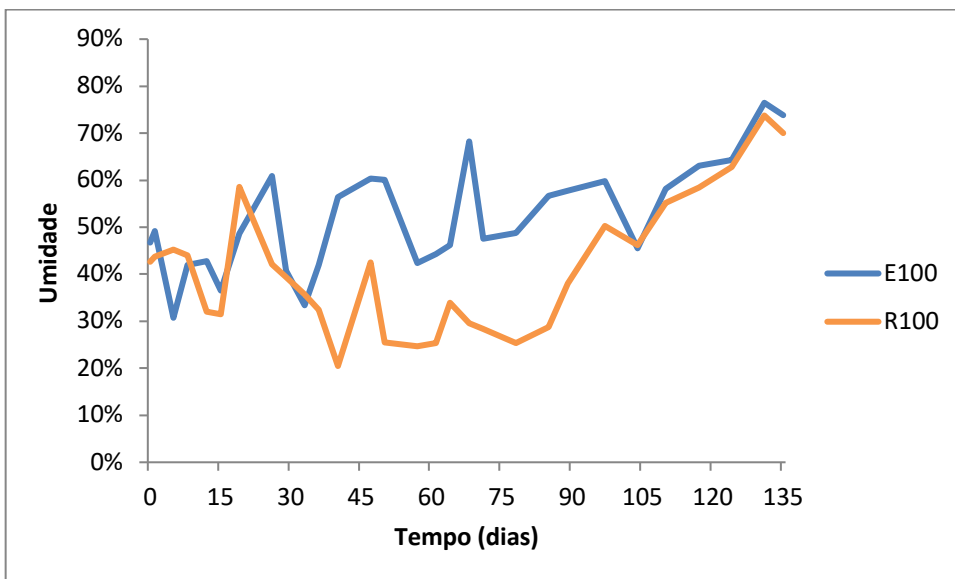


Figura 8 - Umidade leira 100 cm
 Fonte: Elaborada pelo autor.

4.4 pH

Os valores de pH durante o processo de compostagem podem ser verificados nas Fig. 9, 10 e 11. Valores iniciais de pH após a mistura dos resíduos foram ligeiramente ácidos, variando entre 4,65 e 5,51. Apesar de 4 das 6 amostras não iniciarem na faixa recomendada como ideal por Russo (2003),

de 5,5 a 8,0, após poucos dias o pH das leiras variou de acordo com o que a literatura estabelece como adequada.

Com a produção de amônia com a conversão do nitrogênio orgânico ocorreu uma elevação do pH durante a fase termofílica. Após cerca de 30 dias, o pH das amostras se manteve em uma variação

próxima de 7,00 a 8,00, demonstrando estabilidade. Todas as leiras finalizaram o processo de compostagem com valores acima do mínimo (pH

6,5) estabelecido pela Instrução Normativa nº 25/2009 do MAPA, com exceção da leira R50 com o pH 6,15.

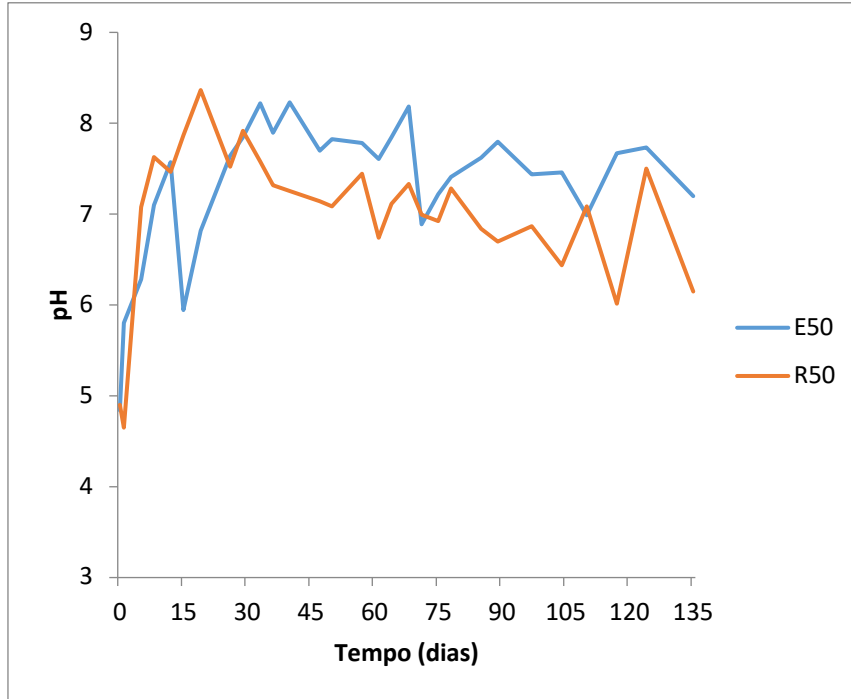


Figura 9 - pH leira 50 cm
 Fonte: Elaborada pelo autor.

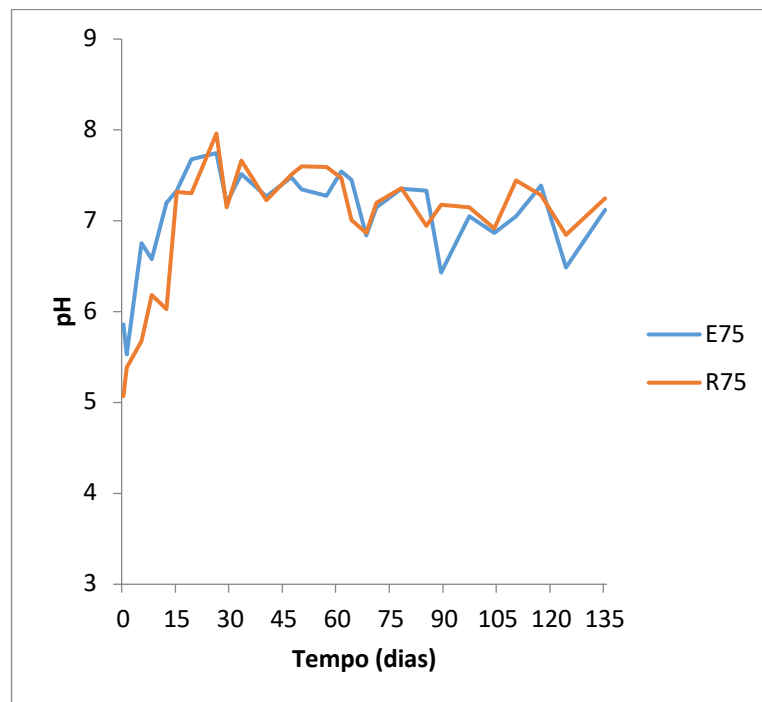


Figura 10 - pH leira 75 cm
 Fonte: Elaborada pelo autor.

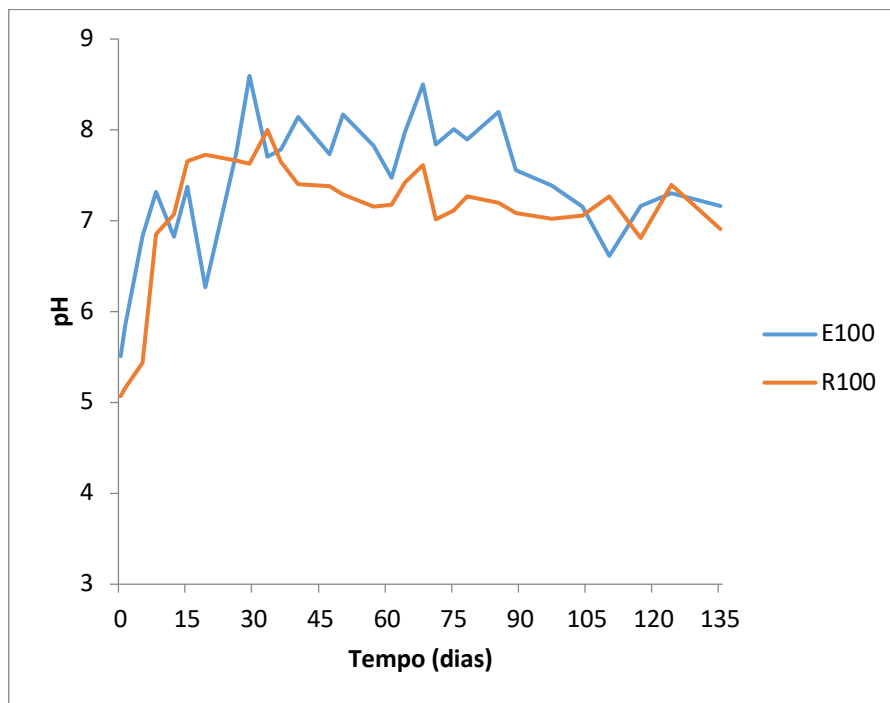


Figura 11 - pH leira 100 cm
 Fonte: Elaborada pelo autor.

4.5 Relação C/N

As relações C/N tanto dos restos de alimentos como das podas trituradas nas análises de caracterização dos resíduos apresentaram baixos valores. Dessa forma não foi possível atingir a relação inicial de 30/1 defendida por vários autores como ideal no início do processo.

Os resíduos utilizados na compostagem são bastante heterogêneos, variando sua composição de acordo com o dia de coleta. Tal fato dificulta a padronização na mesma proporção dos elementos nitrogênio e carbono na formação das leiras, pois estas foram montadas em dias diferentes. Na Fig. 12 observa-se a relação C/N das 6 leiras ao longo dos 135 dias de compostagem.

Apesar de os valores iniciais serem diferentes, é possível observar que no fim do tempo de com-

postagem todas as leiras obtiveram relações próximas a 10/1. Resultado semelhante foi verificado por Ogunwande (2010), que obteve relações C/N variando entre 11,7 e 13,6 após 112 dias em compostagem com aeração passiva. Segundo Kiehl (1985), os microrganismos consomem o carbono e o nitrogênio na proporção de 30 para 1, eliminando o excesso de carbono na forma de CO₂ e mantendo um terço do carbono no protoplasma celular, que possui uma relação de 10/1.

Assim, as reduções das relações C/N até valores próximos de 10/1 indicam um alto grau de decomposição da matéria orgânica. A IN nº 25/2009 estabelece 20 como a relação máxima para que os fertilizantes orgânicos mistos e compostos possam ser comercializados.

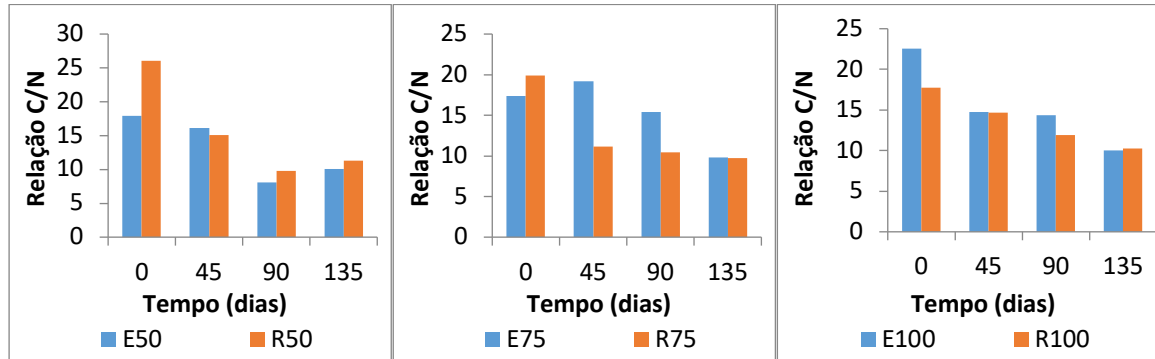


Figura 12 - Relação C/N leira 50 cm, 75 cm e 100 cm

Fonte: Elaborada pelo autor.

4.6 Condutividade elétrica e índice de germinação

A Tabela 5 apresenta os resultados das Análises de CE e IG realizadas após 135 dias da montagem das leiras. Os parâmetros citados estão relacionados à qualidade dos compostos orgânicos produzidos, e assim, à possibilidade de utilização no desenvolvimento das plantas.

Quanto à condutividade elétrica, é possível observar que as leiras estáticas apresentaram uma maior quantidade de sais dissolvidos em relação às leiras revolvidas. Contudo, todas se encontram dentro da faixa considerada tolerável para as plantas de 4 mS/cm de acordo com Kiehl (1998). Os valores ficaram abaixo das análises de CE realizadas por Ogunwande (2010) em pesquisa sobre compostagem de serragem e esterco de aves em leiras com aeração passiva, que apresentou valores acima de 2,5 mS/cm após 112 dias. As baixas concentrações de sais podem estar ligadas às elevadas umidades dos compostos no fim do período de compostagem.

Quanto menor o valor do Índice de Germinação, maior será a existência, no composto orgânico, de substâncias que possam inibir a germinação das sementes (BELO, 2011). A leira E50 se destacou das demais com o maior resultado; em contrapartida, a leira E100 apresentou a mais alta toxicidade dentre todas as leiras. Belo (2011) comenta

que não há unanimidade quanto à qualificação da fitotoxicidade em relação ao IG, porém 60 é o valor mais difundido, que considera a inibição da germinação moderada e, assim, de segura aplicação no solo. Seguindo essa determinação, todas as leiras apresentaram ao final do processo compostos seguros para uso. A IN 25/2009 do MAPA não estabelece limites para IG e CE.

Tabela 5 - Resultados Condutividade Elétrica e Índice de Germinação

Leira	CE (mS/cm)	IG
R100	1,59	77,84
R75	1,22	75,39
R50	1,10	83,71
E100	1,70	70,16
E75	1,64	98,03
E50	1,20	140,83

5 CONCLUSÕES

A compostagem é um método eficiente no tratamento de resíduos sólidos urbanos como restos de alimentos e podas das árvores. O método em leiras estáticas com aeração passiva possibilita uma maior simplicidade de operação e redução de custos devido a não necessidade de revolvimentos.

No presente trabalho, no fim do processo a relação C/N e pH esteve dentro dos valores considerados ideais para comercialização do composto conforme Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (com exceção da R50 com pH de 6,15). Os testes de condutividade elétrica e índice de germinação demonstraram que os compostos produzidos podem ser utilizados com segurança na aplicação no solo. Contudo, a frequência de irrigação deve ser elevada para a manutenção dos valores de umidade entre 40% e 65%.

As leiras com alturas de 50 cm e 75 cm, ao contrário das leiras com 100 cm de altura, não atingiram temperaturas acima de 55°C por 14 dias, fator considerado necessário para garantir a higienização do composto orgânico pela Resolução nº 481 do Conselho Nacional do Meio Ambiente. As altas temperaturas na leira E100 por tempo prolongado indicam que não houve falta de oxigênio no interior da leira, e dessa maneira a ausência de revolvimento não influenciou negativamente a decomposição dos resíduos.

Para a compostagem de restos de alimentos e podas de árvores com leiras com a largura e comprimento estabelecidos no estudo e 100 cm de altura tratamento, ficou constatado que as leiras com revolvimento apresentam duração reduzida da fase termofílica quando comparadas à leiras estáticas com aeração passiva. Contudo, com exceção da umidade, os dois métodos apresentaram características de qualidade dentro do estabelecido pela legislação e literatura quanto aos parâmetros analisados. Principalmente em cidades de pequeno porte e comunidades, que possuem maiores áreas disponíveis, a compostagem em leiras com aeração passiva é uma alternativa eficiente no tratamento dos resíduos sólidos urbanos devido à menor complexidade de operação e ausência dos custos inerentes aos revolvimentos tradicionais.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

- ANDRADE, F. C. et al. Treatment of organic solid waste generated at agricultural research corporation via composting under natural and controlled conditions. *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 40, p.1-9.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2016**. São Paulo, 2016.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007 AMOSTRAGEM DE RESÍDUOS SÓLIDOS**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BARROS, R. T. V.. **Elementos de Gestão de Resíduos Sólidos**. Belo Horizonte: Tessitura, 2012.
- BECKETT, P. H. T.; DAVIS, R. D. Upper Critical Levels of Toxic Elements in Plants. *The New Phytologist*, Oxford, v. 79, n. 1, p.95-106, jul. 1977.
- BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. 2011. 79 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia do Ambiente, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- BRASIL. Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agro-silvopastoris e a questão dos catadores**. Brasília: Comunicado do Ipea/presidência, 2012.
- BRASIL. Lei nº12.305, 2 de agosto de 2010. **Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei nº9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, 2010.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa nº 25, de 23 de julho de 2009**. Brasília, 2009.
- BRASIL. MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organominerais e corretivos**. Brasília : MAPA, 2007.
- BRASIL. MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Gestão de Resíduos Orgânicos**. 2017. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/cidades-sustentaveis/residuos-solidos/gest%C3%A3o-de-res%C3%A2duos-org%C3%A2nicos>>. Acesso em: 06 set. 2018.
- BREWER, L et al. Agricultural Composting and Water Quality. **Osu Extension**, Corvallis, p.1-29, jun. 2013
- BUTTENBENDER, S. E. **Avaliação da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos provenientes da coleta seletiva realizada no município de Angelina/SC**. 123 f. Dissertação

- (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- ÇETINKAYA, A. Y.; BILGILI, L.; KUZU, S. L. Life cycle assessment and greenhouse gas emission evaluation from Aksaray solid waste disposal facility. *Air Quality, Atmosphere & Health*, [s.l.], v. 11, n. 5, p.549-558, 15 mar. 2018. Springer Nature. <http://dx.doi.org/10.1007/s11869-018-0559-3>.
- FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para a Compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro: Prosab, 1999.
- FONSECA, J. P. Q. B. **Efeito da adição de borras de café sobre a compostagem de resíduos de Acacia dealbata L. (mimosa)**. 2012. 111 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica). Universidade de Trás-os-montes e Alto Douro, Vila Real, 2012.
- FRIEDRICH, E.; TROIS, C. GHG emission factors developed for the recycling and composting of municipal waste in South African municipalities. *Waste Management*, New York, v. 33, n. 11, p.2520-2531, jun. 2013.
- GOMES, L. P. et al. Avaliação ambiental de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos precedidos ou não por unidades de compostagem. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, São Leopoldo, v. 20, n. 3, p.449-462, jul. 2015.
- GUERMANDI, J. I. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletada em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP**. 2015. 181 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.
- HOORNWEG, D.; BHADA-TATA, P. **What a Waste: A Global Review of Solid Waste Management**. Washington: Urban Development & Local Government Unit, 2012.
- INÁCIO, C. T.; MILLER, P. R. M. **Compostagem: Ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.
- KIEHL, E. J. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda., 1985.
- KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 1998. 171 p.
- LIM, S. L.; LEE, L. H.; WU, T. Y. Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste bio-transformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal Of Cleaner Production*, New York, n. 111, p.262-278, ago. 2015
- MARQUES, V. C. et al. Compostagem de resíduos orgânicos domiciliares e poda de árvores: parâmetros físico-químicos. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDANTES DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 14., 2016, Brasília. *Anais...* Brasília, 2016.
- MASSUKADO, L. M. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental). Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.
- OGUNWANDE, G. Review Article: Feasibility study of a V-shaped pipe for passive aeration composting. *Waste Management & Research*, [s.l.], v. 29, n. 3, p.240-248, 18 maio 2010. SAGE Publications. <http://dx.doi.org/10.1177/0734242x10371493>
- PEREIRA NETO, J.T.; LELIS, M.P.N. Importância da umidade na compostagem: uma contribuição ao estado da arte. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES, 1999. p. 1691-1698.
- POZZA, S.; PENTEADO, C.; CRISCUOLO, Vinícius G. A Greenhouse Gas Inventory in the Municipal Landfill of the City of Limeira, Brazil. *Chemical Engineering Transactions*, Limeira, v. 43, p.2083-2088, nov. 2015.
- RASAPOOR, M.; ADL, M.; POURAZIZ, B. Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran. *Journal Of Environmental Management*, New York, v. 184, p.538-534, 2016.
- RUSSO, M. A. T. **Tratamento de resíduos sólidos**. 2003. 196 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Coimbra, Coimbra, 2003.
- SAER, A. et al. Life cycle assessment of a food waste composting system: environmental impact hotspots. *Journal Of Cleaner Production*, New York, v. 52, p.234-244, ago. 2013.
- SILVA, F. C. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília, Embrapa: 2009.
- ZUCCONI, F. et al. Evaluating toxicity in immature compost. *Bio-cycle*, 22, p. 54-57, 1981.