

UFFRJ

INSTITUTO DE AGRONOMIA

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
AGRICULTURA ORGÂNICA**

DISSERTAÇÃO

**Aprimoramento da Compostagem de Resíduos de Podas e
Jardins por Meio de Técnicas de Baixo Custo**

Renato Alves Ferreira

2018



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

**APRIMORAMENTO DA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS DE PODAS
E JARDINS POR MEIO DE TÉCNICAS DE BAIXO CUSTO**

RENATO ALVES FERREIRA

Sob a Orientação do Pesquisador
Dr. Marco Antônio de Almeida Leal

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura Orgânica**, no Programa de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

Seropédica, RJ
Agosto de 2018

"O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001

"This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001"

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada
com os dados fornecidos pelo autor

F383a Ferreira, Renato Alves, 1972-

Aprimoramento da compostagem de resíduos de podas e jardins por meio de técnicas de baixo custo / Renato Alves Ferreira. - 2018.

55 f.

Orientador: Marco Antônio de Almeida Leal.
Dissertação (Mestrado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-Graduação em Agricultura Orgânica, 2018.

1. Compostagem. 2. resíduos orgânicos. 3. adubo orgânico. I. Leal, Marco Antônio, 1966-, orient. II Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós-Graduação em Agricultura Orgânica III. Título.

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRICULTURA ORGÂNICA**

RENATO ALVES FERREIRA

Dissertação submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Mestre em Agricultura Orgânica**, no Curso de Pós-Graduação em Agricultura Orgânica.

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 31/08/2018.

Marco Antônio de Almeida Leal. (Dr.)
Embrapa Agrobiologia
(Orientador)

Érika Flávia Machado Pinheiro. (Dra.)
UFRRJ

Wederson Marcos Alves. (Dr.)
UFVJM

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Manuel Jerônimo Ferreira (*In memoriam*) e Hermínia Alves Ferreira que me ajudaram a chegar até este ponto da caminhada da vida.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus, e depois a minha família, em especial a minha esposa Luciana Barbosa Ferreira que me apoiou em todo este trajeto com muita paciência e carinho.

Ao meu orientador Dr. Marco Antônio de Almeida Leal por sua dedicação e verdadeira vocação para a docência.

Ao Dr. Wederson Marcos pela disponibilidade em poder participar da banca de defesa da minha dissertação.

À Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca de Rio das Ostras/RJ pela liberação para poder fazer este mestrado profissional. E em especial aos colegas Fabrício e Edemir por me ajudarem a montar o meu experimento.

Ao amigo Wilmar pela ajuda na formatação deste trabalho e pelos bons momentos de conversa.

Aos funcionários do laboratório de agricultura orgânica da Embrapa Agrobiologia e a estudante de graduação Milena no auxílio das análises do composto orgânico.

Também agradeço aos colegas de curso e aos professores pelo conhecimento compartilhado e as boas horas de convivência.

BIOGRAFIA

RENATO ALVES FERREIRA, filho de Manuel Jerônimo Ferreira e Hermínia Alves Ferreira, nasceu em 27 de junho de 1972 na cidade do Rio de Janeiro/RJ. Coursou o 1º grau no Colégio Nossa Senhora da Piedade, no bairro do Encantado, e fez o 2º grau no Colégio Estadual Visconde de Cairu, no bairro do Méier. Passou no vestibular de 1994 para o curso de Agronomia na Universidade Federal de Viçosa - UFV, o qual concluiu em março de 2001. Participou do Programa de Residência em Agronomia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro no período de junho de 2002 a dezembro de 2003. E desde de junho de 2004 é funcionário concursado da Prefeitura Municipal de Rio das Ostras.

RESUMO

FERREIRA, Renato Alves. **Aprimoramento da compostagem de resíduos de podas e jardins por meio de técnicas de baixo custo**. 2018. 55p. Dissertação (Mestrado em Agricultura Orgânica). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2018.

Neste século, mais da metade da população mundial já vive em áreas urbanas, o que tem acarretado o aumento da geração de resíduos e o desafio de dar um destino ambientalmente correto a estes resíduos. O Brasil também se enquadra neste cenário de uma população majoritariamente urbana e com aumento da geração de resíduos. Dentro deste contexto o Brasil criou a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que foi estabelecida pela Lei nº 12.305 de 2010. A PNRS obriga os municípios a depositar os seus resíduos sólidos em aterros sanitários, extinguir os lixões, implantar a coleta seletiva, reciclagem, reúso, compostagem e tratamento do lixo. O município de Rio das Ostras produz um grande volume de resíduos de podas e jardins, que é recolhido para a usina de compostagem. Atualmente, este material é apenas triturado e armazenado, sendo disponibilizado para os agricultores interessados, que geralmente o utilizam sem realizar qualquer outro processamento. O objetivo deste trabalho foi determinar a viabilidade técnica da implantação de técnicas de baixo custo no processamento dos resíduos de podas e jardins realizado na usina de compostagem. Para tanto, foi montado um experimento com os seguintes tratamentos: T1- Leira com resíduo de poda e jardins sem manutenção da umidade (Controle); T2- Leira com resíduo de poda e jardins com manutenção da umidade (Irrigação); T3- Leira com resíduo de poda e jardins com manutenção da umidade + 1,0% (v/v) de torta de mamona (Irrigação + TM); T4- Leira com resíduo de poda e jardins com manutenção da umidade + aplicação de EM (Embionic®) (Irrigação + Inoculante). Foram realizadas avaliações de pH, condutividade elétrica, densidade, relação C:N, teores de C e de N, e emissões potenciais de CO₂ e de NH₃ ao longo dos 120 dias de compostagem. Ao final do processo também foram avaliados os teores totais e disponíveis de N, Ca, Mg, P e K, e perdas proporcionais de massa e volume. De acordo com os resultados obtidos, ficou demonstrada a viabilidade técnica da implantação de melhorias de baixo custo no processamento de compostagem do resíduo de podas e jardins, sendo que o tratamento com adição de torta de mamona foi o que apresentou os resultados mais positivos. Os compostos obtidos a partir dos quatro tratamentos se enquadram dentro das normas do MAPA para fertilizantes orgânicos, mas os processos de compostagem não se enquadram dentro da Resolução N° 481 do CONAMA (CONAMA, 2017) quanto à temperatura necessária para a higienização dos compostos.

Palavras-chaves: Compostagem, resíduos orgânicos, adubo orgânico.

ABSTRACT

FERREIRA, Renato Alves. **Improvement of composting of pruning waste and gardens by means of low cost techniques.** 2018. 55p. Dissertation (Master`s Degree in Organic Agriculture). Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica-RJ, 2018.

In this century, more than half of the world's population already lives in urban areas, which has led to increased waste generation and the challenge of giving an environmentally correct destination for this waste. Brazil also fits into this scenario of a mostly urban population and with increased generation of waste. Within this context the Brazil created the Policy National Solid Waste (PNRS), which was established by Law n° 12.305 of 2010. The PNRS obliges the municipalities to deposit their solid waste in landfills, extinguish the dumps, and implement the selective collection, recycling, reuse, composting and waste treatment. The municipality of Rio das Ostras produces a large volume of pruning waste and gardens, which is collected for the composting plant. Currently, this material is only crushed and stored, available to interested farmers, which generally uses it without performing any other processing. The objective of this work is to determine the technical viability of the implementation of low cost techniques in the processing of pruning and garden waste at the composting plant. For this purpose, an experiment was set up with the following treatments: T1- Stack with pruning residue and gardens without maintenance of humidity (Control); T2- Stack with pruning residue and gardens with maintenance of humidity (Irrigation); T3- Stack with pruning residue and gardens with maintenance of humidity + 1.0% (v / v) of castor cake (Irrigation + CC); T4- Stack with pruning residue and gardens with maintenance of humidity + application of EM (Embiotic®) (Irrigation + Inoculant). Evolutions of pH, electrical conductivity, density, C / N ratio, C and N contents, and potential CO₂ and NH₃ emissions were made during the 120 days of composting. At the end of the process were also evaluated the total and available N, Ca, Mg, P and K contents and proportional losses of mass and volume. According to the results obtained, it was demonstrated the technical viability of the implementation of improvements in the composting processing of the pruning residue and gardens, and the treatment with addition of castor cake was the one that presented the most positive results. The compounds obtained from the four treatments fit within the MAPA standards as organic fertilization, they do not fit within the CONAMA Resolution N° 481 (CONAMA, 2017) as the temperature required for the hygienization of the composts.

Key words: composting, organic waste, organic fertilizers.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Teores totais de C, N, relação C:N e teores de Ca, Mg, P e K e dos materiais utilizados na compostagem.....	11
Tabela 2 – Resultados da análise de variância do experimento realizado em esquema parcela dividida, com tratamento na parcela e tempo de compostagem na subparcela, apresentado os níveis de significância de cada fator e da interação entre os fatores, e os coeficientes de variação das parcelas e das sub-parcelas.	14
Tabela 3 - Características observadas após 120 dias de incubação de leiras de composto resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação.	25

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Valores de umidade observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 15
- Figura 2 - Valores de precipitação pluviométrica observados no período de compostagem. Fonte: Dados da Rede do INMET – Estação Macaé (Latitude: 22°22'34.57"S e Longitude: 41°48'43.40"O)..... 16
- Figura 3 – Temperaturas observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão. As linhas verticais indicam a realização de revolvimentos. 17
- Figura 4 – Valores de pH observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 18
- Figura 5 – Valores de condutividade elétrica observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 19
- Figura 6 – Valores de densidade em base seca observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 19
- Figura 7 – Teores de C observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 20
- Figura 8 – Teores de N observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 21
- Figura 9 – Relações C:N observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão..... 21
- Figura 10 – Emissões potenciais de CO₂ observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão. 23
- Figura 11 – Emissões potenciais de NH₃ observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão. 24

LISTA DE ABREVIACOES

CE	Condutividade Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
CRA	Capacidade de Retenção de gua
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
pH	potencial Hidrogeniônico
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
SDA	Secretaria de Defesa Agropecuária
SEMAP	Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca
TM	Torta de Mamona

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1 Resíduos Sólidos	3
2.2 Resíduos de Poda e Remoção da Arborização Urbana.....	3
2.3 Torta de Mamona.....	4
2.4 Compostagem	4
2.5 Fatores Importantes no Processo de Compostagem	5
2.5.1 Aeração.....	5
2.5.2 pH	5
2.5.3 Umidade	6
2.5.4 Temperatura.....	6
2.5.5 Relação C:N.....	7
2.5.6 Legislação brasileira que regulamenta os processos de compostagem	7
2.6 Utilização do Composto na Agricultura	8
2.6.1 Utilização do composto como fertilizante orgânico	8
2.6.2 Utilização do composto como substrato	9
2.6.3 Legislação brasileira que regulamenta a utilização agrícola do composto orgânico.....	9
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
3.1 Experimento de Compostagem.....	11
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	14
4.1 Avaliação do Processo de Compostagem.....	14
5 CONCLUSÕES	28
6 SUGESTÕES	29
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	30
ANEXOS	36

1 INTRODUÇÃO

Neste século, mais da metade da população mundial já vive em áreas urbanas e com um consumo elevado de bens e alimentos. Este novo perfil da população mundial provoca o aumento da geração de resíduos, por conta do modo de vida do meio urbano ser diferente do rural. É uma sociedade industrializada com necessidades de consumo que não se baseiam mais nas necessidades elementares como alimentos e roupas. No meio rural, a parte orgânica do resíduo gerado pelas populações fica no local, existindo uma ciclagem destes nutrientes contidos no resíduo orgânico para a produção agropecuária.

Este novo contexto da população mundial traz um enorme desafio neste século; que é dar um destino ambientalmente correto à grande quantidade de resíduos gerados. Este desafio passa pela consciência da população em rever seus hábitos de consumo e dos governos em gerir o destino destes resíduos, bem como investir em soluções tecnológicas para aumentar a sua reutilização e reciclagem.

O Brasil já tem mais da metade de sua população vivendo nas cidades e convive com a questão do aumento da geração de resíduos sólidos. Sendo que o governo brasileiro já discute há algumas décadas a questão dos resíduos sólidos preconizando a redução e a reutilização dos resíduos. Esta discussão culminou na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) estabelecida pela Lei nº 12.305 de 2010 que preconiza a não geração de resíduos e a responsabilidades de todos os setores da sociedade para com a questão dos resíduos sólidos.

No âmbito da PNRS, os municípios são obrigados a depositar os seus resíduos sólidos em aterros sanitários, extinguir os lixões, implantar a coleta seletiva, reciclagem, reúso, compostagem e tratamento do lixo. Dentre estas exigências, o Município de Rio das Ostras tem, desde 2004, um aterro sanitário no qual deposita e trata do lixo. Este aterro foi construído para substituir o lixão do bairro Âncora, extinto de acordo com as normas técnicas..

Desde 2006, a Secretaria Municipal de Meio Ambiente, Agricultura e Pesca (SEMAP) do Município de Rio das Ostras mantém uma usina de compostagem numa área conhecida como Parque Municipal. Esta usina recebe resíduos provenientes da poda da arborização urbana, bem como do recolhimento de resíduos de jardins particulares, para trituração e compostagem. Segundo informações transmitidas verbalmente por funcionários da SEMAP, ela já chegou a receber 8 caminhões por dia do recolhimento de resíduos de jardins agendados pelos munícipes e 2 caminhões com poda e remoção da arborização urbana. Para dar conta do volume gerado eram necessários dois trituradores, mas desde o início da crise financeira pela qual o país passa, o serviço foi diminuindo em número de caminhões até ser extinto. Atualmente é utilizado um triturador que processa o resíduo de poda da arborização, material depositado por munícipes e a poda realizada pela empresa distribuidora de energia. Os resíduos recebidos são constituídos de galhos da poda da arborização urbana, folhas de palmeiras e aparas de grama e capins oriundos da manutenção da roçada e capina do acostamento da rodovia estadual Amaral Peixoto (RJ-106). A predominância maior é de galhadas e folhas de palmeiras, sendo que gramas e capins só são depositados na usina de compostagem quando existe uma segregação destes resíduos orgânicos em relação a outros resíduos recicláveis e rejeitos.

A agricultura no município de Rio das Ostras está localizada em uma área conhecida como Cantagalo, sendo que a maioria dos produtores rurais são assentados da reforma agrária e possuem propriedades de cerca de 5,0 hectares.

O município, por estar na bacia petrolífera de Campos, sofreu com os impactos que a indústria do petróleo trouxe. Um destes impactos foi o rápido crescimento da população e a

consequente especulação imobiliária, que afetou a área rural, promovendo a fragmentação de muitas das propriedades rurais e a troca, por parte do agricultor, do trabalho rural pela construção civil ou pelas empresas ligadas à indústria do petróleo.

Por um período aproximado de dez anos, houve um incentivo por parte da SEMAP ao cultivo de feijão, com a entrega de sementes, calcário e fertilizantes, além da patrulha agrícola, que atendia desde o preparo do solo até o momento da colheita. Após o cultivo de feijão, alguns produtores aproveitavam o resíduo da adubação química para cultivar quiabo ou mandioca. Com a crise econômica, desde meados de 2014, a prefeitura reduziu os seus gastos aos serviços considerados essenciais. O mesmo aconteceu com a usina de compostagem, onde é realizado o processo de trituração do resíduo vegetal, sem a utilização de nenhuma técnica de compostagem para este material.

Apesar da SEMAP não poder mais custear a compra de sementes e insumos aos produtores rurais, ela ainda continua ofertando-lhes o resíduo vegetal triturado, pois este proporciona muitos benefícios a eles. O material recebido pelos agricultores muitas vezes é apenas deixado em um canto da propriedade sem a utilização de qualquer técnica para compostá-lo, por um longo período de tempo (cerca de um ano) até que não apresente mais elevação de temperatura ou emissão de odores. Além da longa espera para o seu uso, eles provavelmente produzem um adubo de qualidade inferior ao que poderia ser gerado com o emprego de técnicas adequadas de compostagem.

Visando melhorar a qualidade do composto obtido a partir deste resíduo triturado de podas de árvores e de jardins, e aumentar a eficiência do seu processo de produção, foram realizados estudos para verificar alternativas de baixo custo ao atual processamento, realizado tanto pelos produtores quanto na usina de compostagem da SEMAP. Isto pode favorecer a qualidade dos produtos e a produtividade das culturas, além de trazer melhoras às condições físicas, químicas e biológicas de seus solos, resultando em melhoras qualitativas e quantitativas na produção agrícola do município. Além disso, a utilização agrícola deste material proporciona ganhos ambientais, como o aumento da sustentabilidade da atividade agropecuária, pois promove o retorno de nutrientes do meio urbano para o meio rural, e a redução dos custos de transporte e disposição de resíduos orgânicos, junto com o aumento da vida útil do aterro sanitário.

A escassez de recursos financeiros impossibilita a realização da compostagem de acordo com todos os procedimentos recomendados para se otimizar este processo, mas existe a possibilidade de que a adoção de alguns procedimentos de baixo custo, factíveis de serem realizados atualmente, possam melhorar a qualidade da compostagem e dos produtos obtidos. Entre estas alternativas, destacam-se a manutenção da umidade por meio da irrigação das leiras, e a adição de pequenas quantidades de fontes de nutrientes e de inoculantes.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a implantação de técnicas de baixo custo na compostagem dos resíduos de podas e jardins, monitorando diversas características químicas e físicas ao longo de 120 dias, determinando a qualidade dos compostos orgânicos obtidos e os coeficientes técnicos ao final do processo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Resíduos Sólidos

A população brasileira em 1950 ainda era de maioria rural, representando 63,8% do total. E nesta última década representa cerca de 15,6%, reflexo do processo de industrialização e urbanização iniciado a partir da Segunda Guerra Mundial (IBGE, 2011). Com o crescimento da população urbana houve um aumento na geração de resíduos que se não tratados e dispostos adequadamente podem impactar ambientalmente os solos e as águas.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) que veio para disciplinar a geração, destino e tratamento destes resíduos, que segundo o seu artigo 4º: “reúne o conjunto de princípios, objetivos, instrumentos, diretrizes, metas e ações adotados pelo governo federal, isoladamente ou em regime de cooperação com estados, Distrito Federal, municípios ou particulares, com vistas à gestão integrada e ao gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos sólidos” (BRASIL, 2010).

O resíduo de poda da arborização urbana e de jardins particulares dentro da Lei nº 12.305 de 2010 é classificado como resíduo sólido urbano. Segundo a versão preliminar do Plano Nacional de Resíduos Sólidos, em sua caracterização física dos resíduos sólidos urbanos coletados no Brasil, mais de 50% é composto por resíduo orgânico.

É previsto na PNRS, em seu artigo 36º, que cabe ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e de manejo de resíduos sólidos instalar sistema de compostagem e articular com os agentes econômicos e sociais formas de utilização do composto produzido. Mas menos de 2% dos resíduos orgânicos coletados são encaminhados para tratamento via compostagem (BRASIL, 2012).

2.2 Resíduos de Poda e Remoção da Arborização Urbana

O resíduo de poda e remoção de árvores gerado pelo município de Rio das Ostras é formado por galhos de árvores, troncos, folhas de palmeiras, aparas de grama e restos de plantas ornamentais. Segundo Baratta Júnior (2007) é um material que pode ser aproveitado com um baixo custo na substituição de recursos naturais na confecção de substratos, além de economizar no manejo destes rejeitos pelas prefeituras.

Os resíduos de poda de árvores em áreas urbanas são exemplos de resíduos orgânicos que são mal aproveitados, podendo parar nos aterros sanitários encurtando a vida útil destes e causando problemas ambientais (COSTA et al., 2013).

Em estudo realizado por Meira (2010) com o objetivo de quantificar, caracterizar e elaborar um modelo de gestão para os resíduos da arborização urbana no município de Piracicaba – SP, que trabalhou com dez espécies de maior ocorrência na arborização, concluiu que a maior parte da biomassa gerada teria maior potencial para ser transformada em composto orgânico. Isso porque foi quantificado que 69% do resíduo gerado pela manutenção da arborização urbana era composto por ramos e galhos finos com até 8 cm de diâmetro.

Segundo Zanello e Cardoso (2016) resíduos gerados tanto na indústria, como na agropecuária e no meio urbano, quando são transformados adequadamente e destinados para a horticultura, reduzem o potencial poluidor, reduzem custos e geram renda para o produtor rural.

2.3 Torta de Mamona

A torta de mamona é o subproduto da extração de óleo da semente de mamoneira (*Ricinus comunis L.*). Para cada tonelada de semente de mamona processada, são gerados 620 kg de casca e 530 kg de torta de mamona (SILVA et al., 2012).

Por conter altos teores de nitrogênio, além de ser excelente fonte de potássio e fósforo, a torta de mamona tem uso agrícola como adubo orgânico (FERNANDES et al., 2011).

Segundo Lima et al. (2008) em avaliação de casca e torta de mamona como fertilizante orgânico analisado no laboratório de solos da Embrapa Algodão, obteve-se os seguintes teores de nutrientes na torta de mamona: 7,54% de nitrogênio, 3,11% de fósforo, 0,66% de potássio, 0,75% de cálcio e 0,51% de magnésio.

Severino (2004) observou que a mineralização da torta de mamona é mais rápida que a do esterco bovino e bagaço de cana. Esta rápida decomposição ocorre devido aos altos teores de nitrogênio, fósforo e potássio presentes na torta, além de se ter submetido o material a condições ótimas para a atividade microbiana.

Rezende (2010) concluiu que a adição de torta de mamona à massa de composto resulta em produtos finais nutricionalmente mais ricos, além de aumentar a biomassa fresca e a biomassa seca.

2.4 Compostagem

O processo de decomposição biológica da matéria orgânica morta tanto vegetal como animal ocorre de forma espontânea na natureza. A decomposição ocorre devido à ação de microrganismos existentes no ar e da mesofauna presente no solo, degradando a matéria orgânica até a formação de um composto estável.

Peigné & Girardin (2004, apud SILVA, 2008) descrevem que: “A compostagem é um processo aeróbico de decomposição controlada de materiais orgânicos que resulta na produção de substâncias similares em composição ao húmus do solo e de minerais, por meio da atuação de microrganismos e de reações químicas e físicas”.

Para Inácio e Miller (2009): “A definição de compostagem pode variar de acordo com o enfoque microbiológico, agrônômico ou de engenharia ambiental. Mas todas ressaltam o caráter aeróbico e termofílico, o que exclui processos anaeróbicos. [...]”

A compostagem é um processo no qual o homem usando a decomposição que ocorre espontaneamente na natureza trata resíduos orgânicos. Mas de forma mais acelerada do que ocorre na natureza através do controle da umidade e da aeração. Fazendo com que este resíduo retorne a natureza como importante fonte de nutrientes aos solos cultivados.

Quando se pensa na engenharia do processo de compostagem tem que se pensar na eliminação de odores, no controle da umidade para evitar a contaminação do solo por chorume e evitar a falta de aeração através do revolvimento do material e do formato da leira.

“Dentro dos métodos existentes para compostagem nós podemos dividi-los pelo tipo de aeração, pelo grau de revolvimento das leiras, ou se o sistema é em leiras ou forma confinada. [...] Podemos classificar os seguintes grupos em: leiras estáticas com aeração natural, leiras estáticas com aeração forçada, compostagem com revolvimento de leiras e compostagem em reatores (confinada)” (INÁCIO; MILLER, 2009).

Quando da escolha do método de compostagem deve ser analisado o tipo de resíduo existente a ser compostado. Verificar o método mais adequado para a não proliferação de moscas e emissão de odor, a necessidade do tamanho da área, os custos de implantação e manutenção, a mão-de-obra e as condições climáticas.

O produto final da compostagem é um material, composto de matéria orgânica parcialmente estabilizada, elementos minerais e substâncias húmicas, que pode ser utilizado no solo promovendo condições favoráveis ao plantio (INÁCIO; MILLER, 2009).

2.5 Fatores Importantes no Processo de Compostagem

Segundo Souza (2014) para que ocorra um bom processo de compostagem é importante monitorar alguns parâmetros físico-químicos a fim de permitir que os microrganismos encontrem condições favoráveis para se desenvolverem e transformarem a matéria orgânica.

Ainda segundo Souza (2014) a compostagem por ser um processo biológico os fatores mais importantes são: aeração, pH, umidade, temperatura e a relação dos nutrientes carbono/nitrogênio (relação C:N).

2.5.1 Aeração

A compostagem é um processo aeróbico e, portanto, precisa de oxigênio para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela degradação da matéria orgânica.

A aeração segundo Barata Junior (2007) é afetada por vários fatores tais como a granulometria dos resíduos, tamanho das leiras de composto, natureza do material orgânico, teor de umidade e a quantidade de revolvimentos a ser realizados.

Silva et al. (2001) escrevem que a aeração é importante na fase inicial de estabilização e menos necessária na maturação, devido à redução da atividade microbiana. A aeração na massa do composto influencia no tempo e na eficiência do processo; dependendo da estrutura e umidade da massa e da tecnologia utilizada.

Segundo Kiehl (2001), para garantir uma boa aeração, evitando o acúmulo de CO₂ no interior da leira de compostagem são necessários revolvimentos frequentes. O número ideal de revolvimentos depende do volume e forma da leira, da temperatura, da umidade e a presença de mau cheiro e de moscas.

2.5.2 pH

O pH do composto pode ser indicativo do estado de compostagem dos resíduos orgânicos (BERTICELLI et al., 2016).

Segundo Valente et al. (2009), os principais materiais de origem orgânica, utilizados como matéria prima na compostagem, são de natureza ácida, como sucos vegetais, sangue, urina, fezes, dentre outros. Dessa forma, em geral, uma leira de matéria orgânica tem inicialmente reação ácida. Ainda, no início da decomposição ocorre à formação de ácidos orgânicos e a incorporação de carbono orgânico ao protoplasma celular microbiano, o que torna o meio mais ácido em relação ao inicial.

A utilização de misturas com pH próximo da neutralidade é o início da compostagem (fase mesófila), que é marcado por uma queda sensível de pH, variando de 5,5 a 6,0, devido à produção de ácidos orgânicos. (FERNANDES; SILVA,1999)

A passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente o pH se mantém alcalino (7,5-9,0), durante a fase termófila. (FERNANDES; SILVA,1999)

De forma prática uma matéria prima crua tem reação ácida, e quando neutra ou quase neutra, indica que o composto está bioestabilizado. Já um composto humificado apresentará

reação alcalina. Valores de pH muito baixos ou muito elevados podem reduzir ou até inibir a atividade microbiana. (BERTICELLI et al., 2016).

Segundo Silva et al. (2001) no início do processo de compostagem ocorre uma queda sensível do pH, que chega a 5 ou 6. Quando passa da fase mesófila inicial para a termófila, o pH eleva-se para 7,5 a 9. Se a relação C:N da mistura for bem controlada, o pH geralmente deixa de ser um fator crítico da compostagem. (FERNANDES; SILVA,1999).

2.5.3 Umidade

Segundo Gadelha (2005) a água possibilita a solubilização dos substratos e dos nutrientes requeridos pelos microrganismos bem como sua rápida propagação no meio sólido.

Para Fernandes e Silva (1999) a criteriosa mistura de resíduos pode ajustar a umidade do composto, ou ainda pela adição de água, situando o teor de umidade entre 50% e 60%.

Segundo Kiehl (2001) a umidade ótima deve estar entre 40% e 60%. Abaixo de 40% a atividade microbiana diminui, praticamente cessando quando inferior a 12%. Acima de 60% a umidade torna-se excessiva, pois passa a ocupar o espaço do ar e gera um ambiente anaeróbico.

As variações de umidade podem ser provocadas tanto pela fermentação e pelo sistema adotado, como pelas condições climáticas. Devem ser feitos o monitoramento da umidade e a adoção de medidas corretivas sempre que necessárias (SILVA et al., 2001).

O teor de umidade, na prática, é determinado pela eficácia da aeração e também pela estrutura e porosidade dos resíduos (FERNANDES; SILVA,1999).

2.5.4 Temperatura

O aumento de temperatura no processo de compostagem advém de reações com liberações de energia em forma de calor (QUEIROZ, 2007), que acontecem a partir da decomposição microbiana da maioria dos compostos orgânicos presentes nos resíduos que compõem o composto (KIEHL, 2001).

A temperatura é um fator indicativo do equilíbrio biológico, de fácil monitoramento e que reflete a eficiência do processo de compostagem (FERNANDES; SILVA,1999).

No processo de compostagem bem sucedido podem ser encontrados três tipos diferentes de bactérias, classificadas de acordo com suas suscetibilidades a temperaturas maiores ou menores. Estas bactérias são classificadas em intervalos de temperatura como: Psicrófilas (0-20°C), Mesófilas (15-43°C) e Termófilas (40-85°C) (QUEIROZ, 2007).

Após o início do processo de compostagem a temperatura deve ficar na faixa de 40°C a 60°C até o quarto dia. Se não chegar a esta faixa, um ou mais parâmetros físico-químicos não devem estar adequados, exigindo, portanto, a correção no teor de umidade ou na aeração (SILVA et al., 2001).

Com o início da fase termófila, que ocorre em torno de 45°C, deve-se controlar a temperatura mantendo-a no intervalo entre 55°C a 65°C. Do contrário, a atividade microbiológica cai e o ciclo de compostagem fica mais longo (SILVA et al., 2001).

Caso a temperatura atinja níveis superiores a 65°C, faz-se necessário a introdução de mecanismos de controle para diminuir a temperatura. As medidas de controle mais comuns são a irrigação, a aeração ou a combinação das duas medidas (SOUZA, 2014).

Nos solos os resíduos se decompõem em pequenas quantidades, não há elevação perceptível da temperatura, devido à rápida dissipação do calor; mesmo em pequenas leiras, o aquecimento não chega a ser elevado (KIEHL, 2001).

A elevação da temperatura é um indicativo do equilíbrio microbiológico, porém não pode ser utilizada como parâmetro de maturidade do composto. A avaliação da maturidade de compostos orgânicos deve ser realizada, associando-se vários parâmetros já que a degradação das frações orgânicas depende da origem e da composição da mistura inicial compostada. A temperatura é afetada por fatores como a umidade do substrato, a disponibilidade de nutrientes, bem como o tamanho das leiras, entre outros. Quando da diminuição da temperatura da biomassa a valores próximos a do ambiente, poderá ocorrer em função da umidade e/ ou de uma menor concentração de nutrientes no substrato e/ ou, ainda, devido a um menor tamanho das leiras (VALENTE et al., 2009).

2.5.5 Relação C:N

A relação C:N de um material orgânico vem a ser a razão entre os seus teores de carbono e de nitrogênio totais. (KIEHL, 2001)

Segundo Fernandes e Silva (1999) os microrganismos que realizam a decomposição dos substratos, necessitam de carbono, como fonte de energia, e de nitrogênio para síntese de proteínas. Por esta razão a relação C:N é considerada como fator que melhor caracteriza o equilíbrio dos substratos.

Os microrganismos utilizam o C orgânico dos resíduos da seguinte forma: no máximo 1/3 é assimilado pelas células e vai compor o húmus ao final do processo, enquanto no mínimo 2/3 são transformados em CO₂ e eliminados. Se a relação C:N do resíduo for 30/1, 10 partes do C (1/3 do existente) seriam associados a parte única do nitrogênio, assimilados e posteriormente convertidos em húmus com relação 10/1, enquanto as vinte partes restantes seriam perdidas, como CO₂. (KIEHL, 2001)

Teoricamente, a relação C:N inicial ótima do processo de compostagem do substrato deve se situar em torno de 30. Mas segundo Fernandes e Silva (1999), na realidade, constata-se que ela pode variar de 20 a 70 de acordo com a maior ou menor biodegradabilidade do substrato.

Tanto a falta de nitrogênio quanto a de carbono limitam a atividade microbiológica. Se a relação C:N for muito baixa, pode ocorrer grande perda de nitrogênio pela volatilização da amônia. Se for muito elevada, os microrganismos não encontrarão N suficiente para a síntese de proteínas e terão seu desenvolvimento limitado. Como resultado, o processo de compostagem será mais lento (FERNANDES; SILVA, 1999).

Ao final da compostagem, a relação C:N deve situar-se entre 10 e 20. Se for superior a 20, os microrganismos podem reter o N do solo, necessário às plantas. Já para a relação inferior a 12, o composto está curado. Para análise química de C e N devem ser retiradas periodicamente amostras do substrato. Os seus resultados podem indicar a necessidade de correções (SILVA et al., 2001).

A C:N final está sempre próxima de 10/1, porque tende a se aproximar da C:N das bactérias (5/1 a 6/1) e dos fungos (8/1 a 10/1). Nesse ponto, dizemos que o composto está curado, ou convertido em húmus. (KIEHL, 2001).

2.5.6 Legislação brasileira que regulamenta os processos de compostagem

Dentro do âmbito da legislação brasileira, a Resolução N° 481 do CONAMA (CONAMA, 2017) estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e para a proteção do meio ambiente e o reestabelecimento do ciclo natural da matéria orgânica e seu papel natural de fertilizar os solos.

Esta resolução não é aplicada aos processos de compostagem de baixo impacto ambiental, que têm limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente. A definição destes limites leva em consideração parâmetros mínimos como origem dos resíduos, segregação prévia, quantidade de resíduos compostados por dia, tipo de processo, dentre outros. O composto resultante de processos de compostagem de baixo impacto ambiental pode ser para uso próprio ou comercializado apenas diretamente com o consumidor final, mesmo sem o cumprimento da legislação específica quanto às exigências relativas ao uso e à aplicação segura.

Os artigos 3 e 4 estabelecem que podem passar pelo processo de compostagem resíduos orgânicos in natura ou após passarem por algum tratamento. Os lodos de estações de tratamento de esgoto sanitário e resíduos orgânicos industriais podem ser utilizados mediante autorização prévia do órgão ambiental competente que estabelecerá critérios de admissão e restrição destes resíduos.

Quanto à qualidade ambiental do processo de compostagem, fica estabelecido que deve ser garantido no composto final uma relação C:N menor ou igual a 20/01. Além de passar por um período termofílico igual ou maior do que 55°C por 14 dias, ou por 3 dias com temperatura igual ou maior do que 65°C, em sistemas abertos. E em sistemas fechados as temperaturas devem alcançar 60°C ou mais por 3 dias. Ainda dentro da qualidade ambiental do processo, com relação a garantia da relação C:N, ela não é aplicada quando o composto é destinado à fabricação de substrato para plantas, condicionadores de solos e como matéria-prima à fabricação de fertilizantes organominerais.

As unidades de compostagem devem adotar medidas para minimizar lixiviados e emissão de odores e evitar a geração de chorumes. Além de proteger o solo da unidade de compostagem com uma impermeabilização de base e sistemas de coleta, manejo e tratamento de lixiviados e águas pluviais. Como também realizar a organização e controle da unidade quanto à recepção, volume de resíduos e controle de parâmetros físico-químicos, para haver um controle ambiental.

Esta legislação também se aplica às unidades de compostagem geridas pelo poder público que devem priorizar a inclusão de associações ou cooperativas de catadores de materiais recicláveis. Tendo que nos Planos Municipais de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, ou instrumento equivalente, poderão prever metas progressivas de aumento da reciclagem da fração orgânica dos resíduos sólidos.

2.6 Utilização do Composto na Agricultura

2.6.1 Utilização do composto como fertilizante orgânico

Segundo Silva (2008) a utilização de composto orgânico pode ajudar no controle da erosão dos solos e na economia de fertilizantes minerais. O composto orgânico pode ser fonte de macro e micronutrientes; elevar a capacidade de troca de cátions do solo; aumentar o pH do solo; melhorar o aproveitamento de fertilizantes minerais; e aumento da biodiversidade do solo com a supressão de fitopatógenos (INÁCIO; MILLER, 2009).

O esterco bovino e a cama de aviário, que são materiais tradicionalmente utilizados como fertilizantes orgânicos na produção de hortaliças, estão apresentando uma elevação no custo de obtenção nos últimos anos. Isto ocorre devido ao aumento da demanda de fertilizantes orgânicos, principalmente nas áreas produtoras de hortaliças próximas aos grandes centros urbanos das regiões Sul e Sudeste do Brasil. E ao deslocamento da produção animal para a região central do país, que vai atrás de custos menores na produção (LEAL, 2006).

O fertilizante orgânico pode ter origem vegetal, animal ou agro-industrial que aplicado ao solo proporciona a melhoria de sua fertilidade e contribui para o aumento da produtividade e qualidade das culturas (TRANI et al., 2013).

E ainda segundo Trani et al. (2013) os fertilizantes orgânicos podem ser classificados como:

- Fertilizante orgânico simples – adubo obtido a partir de uma única fonte de origem animal ou vegetal. Tendo como exemplos os esterco animais, a torta de filtro de cana, a torta de filtro de mamona, cascas de pinus, farinha de ossos, etc. Variando a sua disponibilidade de acordo com a região.
- Fertilizante orgânico composto – produto obtido por processo bioquímico natural ou controlado com mistura de resíduos orgânicos de origem animal, vegetal, industrial ou urbano. Sendo o processo aeróbico com a obtenção de adubo humificado ao final de 90 a 120 dias pronto para uso.

2.6.2 Utilização do composto como substrato

Segundo Andriolo et al. (1999), um substrato que guarda uma proporção correta entre as fases sólida e líquida favorece, portanto, a atividade fisiológica das raízes e ao mesmo tempo evita as condições favoráveis ao aparecimento de moléstias radiculares, especialmente as podridões fúngicas e bacterianas. Qualquer material, orgânico ou mineral, que preencha estas condições, sem ser fitotóxico, apresenta potencial de uso como substrato agrícola.

Atualmente, a utilização de substratos em sistemas de produção de plantas comparativamente aos cultivos em solo, apresenta algumas vantagens, como o fornecimento de nutrientes em doses e épocas mais adequadas, a diminuição do risco de salinização do meio radicular, a possibilidade de manejar a água mais adequadamente, além da redução da ocorrência de problemas fitossanitários, os quais influenciam diretamente no rendimento e na qualidade final dos produtos (ANDRIOLO et al., 1999).

Além do interesse na utilização de substratos apropriados para o desenvolvimento das plantas, cada vez mais existe a preocupação de aproveitar resíduos agroindustriais, visando a redução dos custos de produção e da poluição ambiental (STEFFEN et al., 2010).

Freitas e Melo (2013) avaliaram o uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato na produção de mudas de tomate, realizando avaliações morfológicas aos 15, 30 e 45 dias após o plantio. Utilizaram como tratamentos: 1 – Mistura de solo + Esterco bovino curtido (proporção 3:1); 2 – Mistura de solo + composto (proporção 3:1); 3 – Mistura de solo + composto (proporção 2:2); 4 - composto puro; 5 – substrato comercial Plantimax® puro. Ao final do experimento concluíram que o composto produzido a partir do lodo de esgoto demonstrou ser um bom substrato para produção de mudas. Apesar do bom desempenho do composto como substrato para produção de mudas, deve-se atentar para as concentrações máximas de metais em solos agrícolas e as cargas cumulativas máximas de metais em solos pela aplicação de compostos que contenham lodo de esgoto, a fim de concluir que há ou não impacto da sua utilização (ABREU JÚNIOR et al, 2005, apud FREITAS; MELO, 2013).

2.6.3 Legislação brasileira que regulamenta a utilização agrícola do composto orgânico

A Instrução Normativa SDA/MAPA N° 25 do MAPA (MAPA, 2009) estabelece normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizante destinados à agricultura.

No anexo I, capítulo II, o artigo 2º desta normativa diz que os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais serão classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção em quatro classes conforme descrito no anexo I ao final da dissertação.

No capítulo III, seção II, artigo 4º descreve que os fertilizantes sólidos ou fluidos para aplicação no solo terão a forma e solubilidade dos nutrientes indicadas como percentagem mássica, tal como é vendido, como segue, exceto nos casos em que se preveja expressamente a sua indicação de outro modo como é descrito no anexo II.

No artigo 6º do capítulo III, seção III, diz que nos produtos com macronutrientes secundários, micronutrientes ou ambos, estes serão indicados na sua forma elementar, com as garantias expressas em percentagem mássica, quando se tratar de produto sólido, e em percentagem mássica e em massa/volume (gramas por litro), no caso de produto fluido, devendo a indicação da garantia em massa/volume ser feita entre parênteses, mantendo-se a mesma dimensão gráfica da garantia expressa em percentagem mássica, sendo que, para os produtos com macronutrientes secundários e/ou micronutrientes para aplicação no solo e para aplicação via foliar, fertirrigação e hidroponia, as garantias mínimas não poderão ser inferiores conforme o anexo III.

Esta norma traz as especificações dos fertilizantes orgânicos simples numa tabela descrita no anexo IV.

Quanto aos fertilizantes orgânicos mistos e compostos, esta norma traz as especificações em forma de tabela colocada no anexo V.

Estes itens vistos acima são os principais pontos para a rotulagem dos fertilizantes como orgânicos simples, mistos e compostos para uso na agricultura.

A Instrução Normativa N° 5 do MAPA (MAPA, 2016) estabelece as regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura.

No artigo 3º os substratos para plantas são classificados quanto à origem e tipo de matérias-primas utilizadas na sua fabricação em seis classes, conforme o anexo VI.

O artigo 5º estabelece que os substratos para plantas devem apresentar as garantias de condutividade elétrica (CE), potencial Hidrogeniônico (pH), umidade máxima, densidade e capacidade de retenção de água (CRA) expressas conforme colocado no anexo VII ao final da dissertação.

O artigo 10 indica que para registrar substrato para plantas é concedido com base nas garantias informadas pelo estabelecimento requerente, observando o artigo 5º desta Instrução Normativa, podendo ser declaradas outras propriedades do produto, desde que possam ser medidas quantitativamente, sejam indicadas as metodologias de determinação e garantidas as quantidades declaradas.

Os artigos da Instrução Normativa N° 5 do MAPA (MAPA, 2016a) citados acima contém as principais informações que devem ser observados para a classificação do composto orgânico como substrato.

Já a Instrução Normativa SDA/MAPA N° 27 do MAPA (MAPA, 2016b) trata dos limites dos contaminantes, com suas concentrações máximas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas para a produção, importação ou comercialização de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes.

Esta norma estabelece os limites máximos de contaminantes admitidos em substratos para plantas, fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo com as informações dispostas em forma de tabelas nos anexos VIII e IX ao final da dissertação.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Experimento de Compostagem

O experimento de compostagem foi conduzido no Parque Municipal de Rio das Ostras na latitude de 22°27'20.60" S e longitude de 41°52'49.43" O (fonte: Google Earth Pro), no período compreendido entre os dias em 11/08/2016 e 08/12/2016.

Utilizou-se resíduos recolhidos em área urbana procedentes de poda da arborização, material depositado por munícipes e de poda realizada pela empresa distribuidora de energia. Os resíduos recebidos foram constituídos de galhos da poda da arborização urbana, folhas de palmeiras e aparas de grama e capins oriundos da manutenção da roçada e capina da rodovia estadual Amaral Peixoto (RJ-106), com a predominância de galhadas. Este material foi triturado pela trituradora modelo Charger 35.0 G da Menxon Máquinas Agrícolas, que pica e tritura galhos de até 10,0 cm de diâmetro, obtendo lascas de madeira de até 15,0 cm de comprimento com espessura até 2,0 cm, e depois depositado, sem peneiramento, em espaço ao ar livre em montes sem qualquer tipo de processamento, permanecendo nesta condição por até 3 meses de acordo com a demanda de uso da SEMAP e dos produtores rurais.

Foram avaliados os seguintes tratamentos:

- T1 – Leira com resíduo de poda e jardins sem manutenção da umidade (Controle);
- T2 – Leira com resíduo de poda e jardins com manutenção da umidade (Irrigação);
- T3 – Leira com resíduo de poda e jardins com manutenção da umidade + 1,0% (v/v) de torta de mamona (Irrigação + TM);
- T4 – Leira com resíduo de poda e jardins com manutenção da umidade + aplicação de EM (Embiotic®) (Irrigação + Inoculante).

Os tratamentos foram definidos visando avaliar a possibilidade de que a adoção de alguns procedimentos de baixo custo, factíveis de serem realizados atualmente, possam melhorar a qualidade da compostagem e dos produtos obtidos. O T1 representa a realidade atual da usina, em que não há manutenção da umidade, apenas no período chuvoso. O T2 representa a compostagem com controle de umidade. No T3 procurou-se melhorar a eficiência do processo e a qualidade do produto reduzindo-se um pouco a relação C:N do material por meio da adição de torta de mamona. E o T4 foi para verificar se a utilização de inoculante acelerador de compostagem traz algum benefício ao processo. Foi utilizado o inoculante comercial Embiotic, produto que é tradicionalmente utilizado na inoculação de compostagens. A Tabela 1 apresenta a caracterização dos teores de C e de macronutrientes dos materiais utilizados nos compostos avaliados.

Tabela 1 – Teores totais de C, N, relação C:N e teores de Ca, Mg, P e K e dos materiais utilizados na compostagem.

	C	N	C:N	Ca	Mg	P	K
	----- g kg ⁻¹ -----			----- g kg ⁻¹ -----			
Resíduos de poda	415,6	12,4	33,5	16,1	1,9	1,2	5,8
Torta de mamona	364,0	66,3	5,5	7,5	4,3	4,2	7,9

As leiras foram instaladas em local coberto e arejado, dispostas em cima de lona plástica para evitar a sua mistura com solo. Após a montagem, as leiras ficaram com as seguintes dimensões: 1,0 m de largura; 2,0 m de comprimento e 0,5 m de altura, totalizando um volume inicial de 1,0 m³. Nas leiras com manutenção da umidade, foi realizada irrigação sempre que as amostragens semanais revelaram umidade abaixo de 40%. A aplicação de torta de mamona (tratamento T3) ocorreu no início do processo (0 dias).

No tratamento T4, o Embiotic foi aplicado no início do processo de compostagem (0 dias) e também após se observar a redução da temperatura da leira para valores próximos a temperatura ambiente, que ocorreu aos 45 dias. Esta aplicação foi realizada de acordo com as recomendações do fabricante, que indica a ativação deste acelerador do processo de compostagem antes de sua aplicação, utilizando misturas na seguinte proporção: 1 quilo de açúcar (mascavo, demerara ou cristal) ou 1,0 litro de melão, 8,0 litros de água desclorada e 1,0 litro de acelerador de compostagem, para obtenção de 10 litros de solução ativada. Estes ingredientes devem ser colocados em um recipiente com tampa de fechamento hermético, sendo primeiro dissolvido o açúcar ou melão na água e em seguida adicionado o acelerador e homogeneizada a solução. Depois destes passos, o recipiente deve ficar lacrado hermeticamente em local protegido do sol por cerca de 5 a 7 dias para ativação da solução. Neste período, deve ser observada a formação de gases e quando o recipiente estiver estufado a tampa deve ser aberta para saída dos gases e rapidamente fechada. A aplicação deve seguir a seguinte proporção: para cada tonelada de material a ser compostado diluir de 20,0 a 40,0 litros de solução ativada em água desclorada até atingir os 40% de umidade, pulverizando de maneira uniforme sobre a camada de matéria orgânica na montagem da leira. Caso a umidade do material exceda o limite de 40% de umidade, deve-se aplicar a solução ativada sem prévia diluição.

O período total de incubação foi de 120 dias. Amostragens foram realizadas semanalmente para avaliação da temperatura das leiras. Aos 0, 14, 30, 45, 60, 90 e 120 dias foram avaliados pH, condutividade elétrica (CE), densidade e emissões potenciais de CO₂ e de NH₄. Aos 0, 14, 30, 60, 90 e 120 dias foram realizadas avaliações de teores de C e N e relação C:N, e revolvimentos das leiras. Aos 120 dias foram avaliados os teores totais e disponíveis de N, Ca, Mg, P e K.

A avaliação de temperatura foi realizada utilizando-se um termômetro de bulbo de mercúrio, inserido em três posições na metade da altura da leira. As amostragens foram realizadas com três repetições, que foram coletadas em diferentes posições nas leiras. A leira foi dividida em três partes, no sentido do comprimento, fazendo-se um buraco no centro da leira (sentido da largura) e coletando-se amostras simples no meio da altura da leira. Foram coletadas várias amostras simples, que foram colocadas em um balde de 10 litros, desmanchando qualquer aglomerado de material que possa estar presente e misturando muito bem todo o material antes de se coletar a amostra composta.

As amostras dos compostos foram acondicionadas em potes de 500 ml, feitos de plástico de boa qualidade (resistente ao micro-ondas), vedados com rolopack e armazenados em freezer até o momento de seu preparo para as análises. As amostras dos compostos foram divididas em duas sub amostras. Uma foi acondicionada em saco plástico e armazenada em freezer, para análise de pH e da CE. A outra, para análise dos teores de nutrientes, foi acondicionada em saco de papel, seca em estufa (> 72 h, 65°C), e moída em moinho tipo Willey.

As análises de pH foram realizadas em solução de água destilada (5:1 v/v) e a condutividade elétrica foi determinada no mesmo extrato aquoso obtido para a medição do pH, de acordo com o método descrito por MAPA (2007). A densidade em base seca foi determinada por meio de sua autocompactação em proveta de 500 ml, conforme método

descrito por MAPA (2007). As emissões potenciais de CO₂ e de NH₃ foram quantificadas conforme metodologia descrita por Oliveira et al. (2014), modificada alterando-se a temperatura de incubação para 30°C, ao invés dos 25°do método original.

Os teores totais de C e de N foram determinados por meio de analisador elementar. Os teores totais de Ca, Mg, K e P foram avaliados por meio de digestão da amostra, conforme o método descrito por Silva (2009). Os teores disponíveis de N, Ca, Mg, K e P foram avaliados por meios de extração. Para Ca e Mg utilizou-se solução extratora de KCl 1,0 M e para K e P utilizou-se solução extratora Mehlich 1, conforme descrito por Silva et al. (2009). A extração do N foi realizada por meio de solução de KCl 1,0 M e a digestão foi realizada com adição de Liga de Devarda, conforme metodologia descrita por Liao (1981). A proporção da fração disponível dos nutrientes (em %) foi calculada dividindo-se o teor disponível pelo teor total do nutriente, e multiplicando-se este resultado por 100.

A variação da massa das leiras em relação à massa inicial foi calculada por meio da quantidade de massa seca presente em cada leira de composto após um determinado período de tempo, comparado com a quantidade de massa seca presente na mesma leira no início da compostagem. A massa seca de cada leira de composto foi calculada em função da sua massa úmida e do teor de matéria seca, determinado com base em três amostras/repetições para cada leira. O volume foi calculado da mesma forma.

A análise estatística foi realizada utilizando o programa SISVAR, por meio da aplicação inicial de teste de normalidade, sendo que os dados considerados não normais sofreram transformação de Log(x). Em seguida, foi realizada a análise de variância do esquema parcela subdividida, com tratamento na parcela e tempo de compostagem na subparcela, em delineamento inteiramente casualizado com três repetições, sendo apresentados os níveis de significância de cada fator e da interação entre os fatores. As características avaliadas ao longo do processo de compostagem foram apresentadas por meio de gráficos contendo os valores médios e o erro padrão. Os valores observados somente no final do processo foram apresentados por meio de tabela, sendo comparados por meio do teste de Scott-Knott.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Avaliação do Processo de Compostagem

Na tabela 2 estão apresentados os resultados da análise de variância, contendo os efeitos dos tratamentos, do tempo de compostagem e da interação entre estes dois fatores. Observa-se efeito significativo de tratamentos em quase todas as características avaliadas, com exceção do teor de C, demonstrando que os tratamentos avaliados proporcionaram diferenças altamente significativas. Em relação ao fator tempo de compostagem, houve efeito significativo em todas as características avaliadas, demonstrando que estas características se modificam ao longo do período de compostagem. E observou-se interação significativa entre tratamentos e tempo nas características umidade, temperatura, pH, condutividade elétrica (CE), relação C:N e emissões potenciais de CO₂ e de NH₃.

Tabela 2 – Resultados da análise de variância do experimento realizado em esquema parcela dividida, com tratamento na parcela e tempo de compostagem na subparcela, apresentado os níveis de significância de cada fator e da interação entre os fatores, e os coeficientes de variação das parcelas e das sub-parcelas.

	Nível de significância			CV%	
	Tratamentos	Tempo	Interação	Parc.	Sub-parc.
Umidade	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	3,41	4,13
Temperatura	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	11,70	4,39
pH	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	1,77	1,22
Condutividade elétrica	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	9,32	8,53
Densidade	<0,001 **	<0,001 **	0,495 ns	5,78	7,06
Teor total de C	0,131 ns	<0,001 **	0,556 ns	4,94	5,03
Teor total de N	<0,001 **	<0,001 **	0,121 ns	5,12	7,03
Relação C:N	<0,001 **	<0,001 **	0,012 *	9,74	9,34
Emissão de CO ₂	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	9,27	8,51
Emissão de NH ₃	<0,001 **	<0,001 **	<0,001 **	45,95	52,37

** : significativo ao nível de 1,0%; * : significativo ao nível de 5,0%; ns: não significativo.

Observa-se na Figura 1 que no início da compostagem o tratamento sem irrigação (Controle) apresentou umidade abaixo de 40%, que é o valor mínimo apontado por diversos autores (KIEHL, 2010; FERREIRA; BORBA; WIZNIEWSKY, 2013; INÁCIO, 2015) para uma compostagem eficiente. Aos 30 dias o tratamento controle apresentou umidade próxima deste valor, com queda em seguida até os 45 dias, quando novamente apresentou elevação da umidade. Sendo este aumento constante até o fim do período de compostagem quando alcançou valor próximo a 65% de umidade.

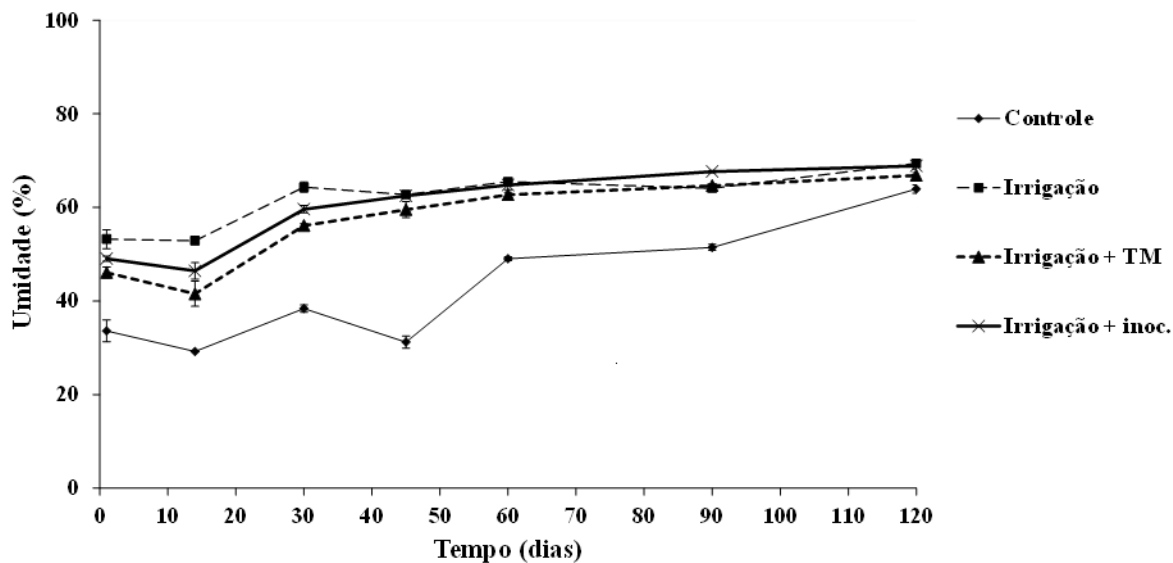


Figura 1 – Valores de umidade observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

Isto pode ser explicado em função dos dados de precipitação pluviométrica ocorrida durante o período de compostagem (Figura 2), pois houve pouca ocorrência de chuvas nos primeiros 45 dias, e maior intensidade das chuvas após este período, quando os valores de umidade dos compostos obtidos a partir de todos os tratamentos ficaram próximos de 65%.

A realização de irrigação foi suficiente para manter a umidade das leiras acima do valor mínimo recomendado, mesmo no período com menor intensidade de chuva, o que demonstra que a irrigação é um procedimento de baixo custo que contribui para o aprimoramento da compostagem de resíduos de podas e jardins.

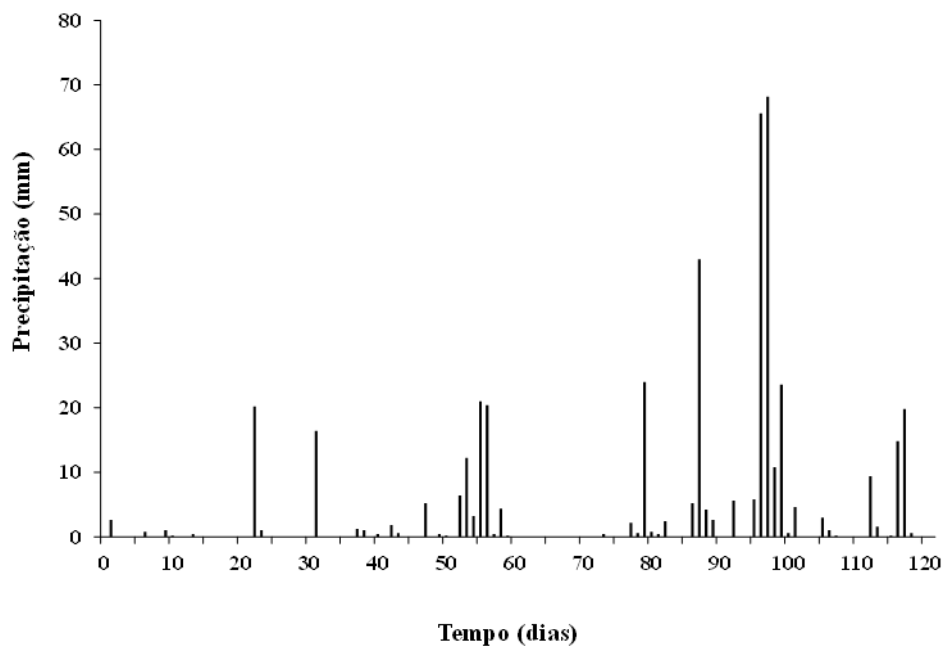


Figura 2 - Valores de precipitação pluviométrica observados no período de compostagem. Fonte: Dados da Rede do INMET – Estação Macaé (Latitude: 22°22'34.57"S e Longitude: 41°48'43.40"O).

Em relação à temperatura média das leiras, considerando todo o período de compostagem, o tratamento Irrigação + TM apresentou temperatura média de 40,4°C, que é significativamente superior aos demais tratamentos, enquanto que os tratamentos Irrigação e Irrigação + Inoculante apresentaram temperaturas médias de 37,8 e 38,6°C, respectivamente, que são significativamente superior ao tratamento controle, com temperatura média de 33,6°C. Estes resultados indicam que a realização de irrigações e, principalmente, a adição de torta de mamona, proporcionam aumento da atividade dos microrganismos decompositores presentes na compostagem. Segundo Li et al. (2013), a evolução da temperatura é um indicador da atividade microbiana durante o processo de compostagem.

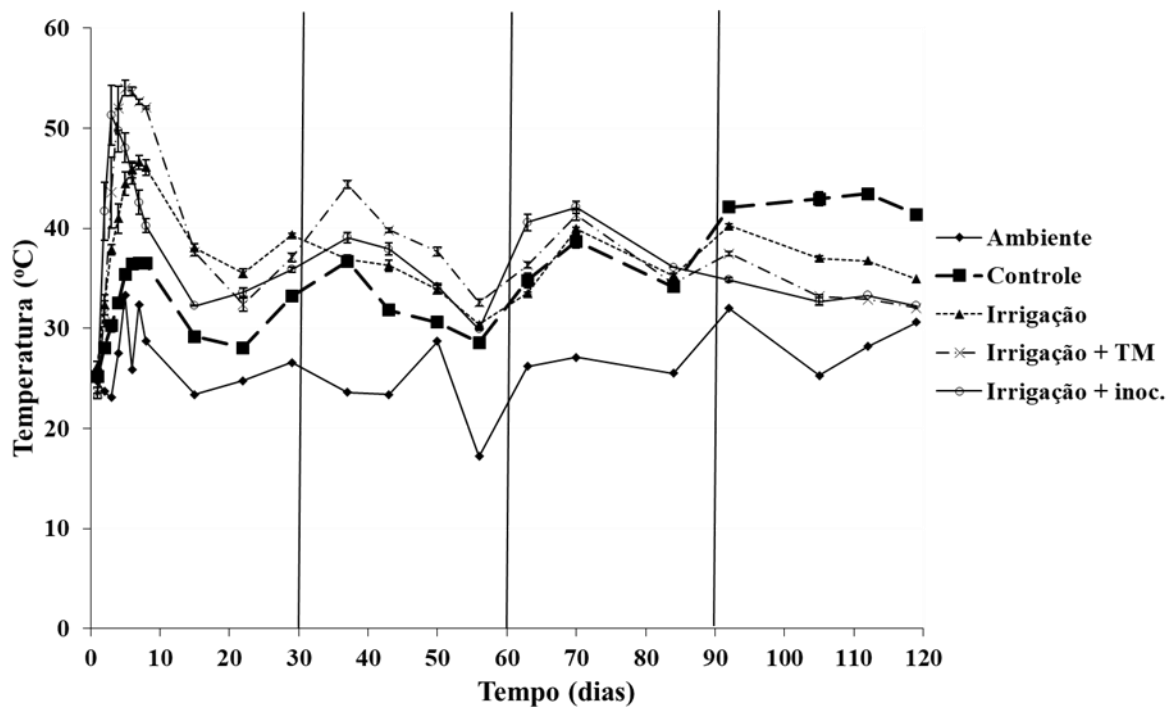


Figura 3 – Temperaturas observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão. As linhas verticais indicam a realização de revolvimentos.

A Figura 3 apresenta as variações das temperaturas durante os 120 dias do processo de compostagem. Todos os tratamentos apresentaram os maiores valores de temperaturas na primeira semana de compostagem, sendo que a maior temperatura foi alcançada pelo tratamento Irrigação + TM, que chegou aos 54,0°C. Nas duas semanas seguintes foi verificada a queda da temperatura em todos os tratamentos, sendo que no restante do período de compostagem ocorreram novas elevações de temperatura, com amplitude menor, com os seus ápices aos 35, 70 e 92 dias, devido à realização de revolvimentos. É comum ocorrerem elevações na temperatura das leiras após o seu revolvimento, conforme observado por autores como Van Heerden et al. (2002) e Jeong e Kim (2001).

A Figura 4 apresenta os valores de pH ao longo do processo de compostagem. Observa-se que todos os tratamentos apresentaram valores e comportamento muito semelhantes, sem grandes variações ao longo do tempo, com pH inicial entre 7,1 e 7,7 e final entre 8,0 a 8,6.

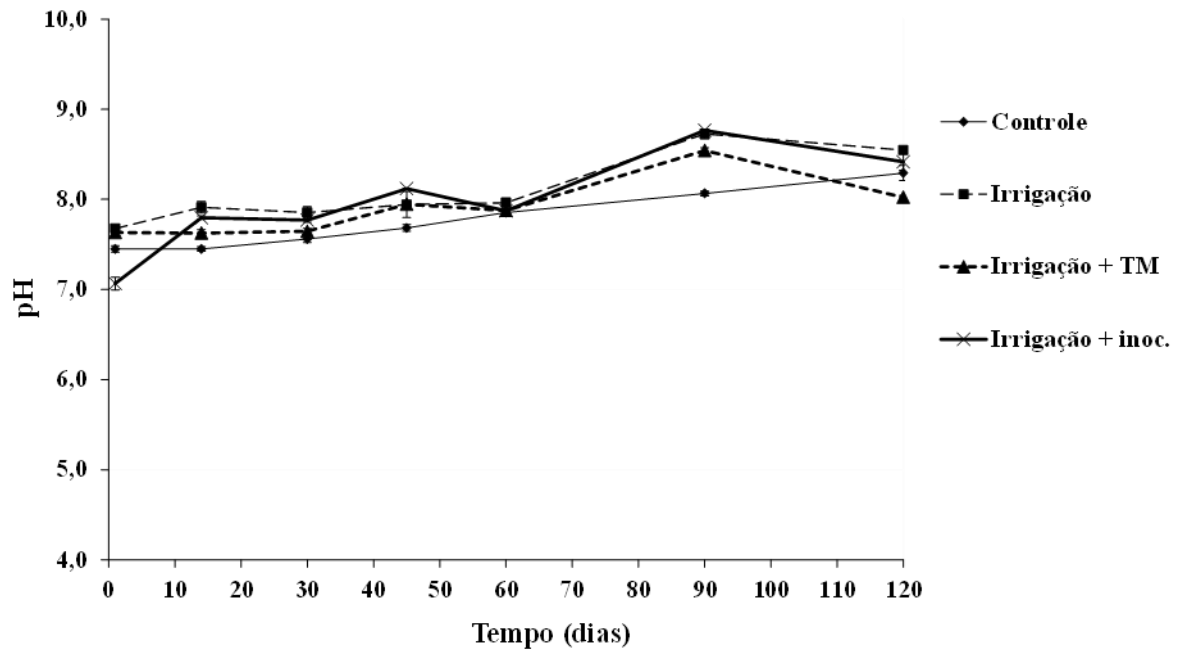


Figura 4 – Valores de pH observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

Este comportamento provavelmente está associado à elevada relação C:N inicial de todos os tratamentos, que apresentavam valores entre 29,0 e 39,1. Compostos com reduzida relação C:N inicial geralmente apresentam maiores variações de pH, que estão relacionadas às transformações do N presente. Segundo Leal et al. (2011), a transformação do N da forma proteica, onde se encontra predominantemente como amidas ($R-NH_2$), para a forma amoniacal (NH_3 ou NH_4^+) promove a elevação do pH ($NH_2 + H_2O \leftrightarrow NH_3 + OH^-$; $NH_3 + H_2O \leftrightarrow NH_4^+ + OH^-$); e após a estabilização da compostagem, o amônio (NH_4^+) se transforma em nitrato (NO_3^-), resultando em redução do pH ($NH_4^+ + 2O_2 \leftrightarrow NO_3^- + H_2O + 2H^+$).

A Figura 5 apresenta os valores de condutividade elétrica (CE), que é um indicativo da presença de nutrientes e outros elementos em formas solúveis (sais). Observa-se que o tratamento com adição de torta de mamona apresentou os maiores valores de CE durante quase todo o processo de compostagem, provavelmente devido ao elevado conteúdo de nutrientes presentes neste material e à sua rápida mineralização. A acentuada queda da CE observada em todos os tratamentos ao longo da compostagem pode estar associada a processos de imobilização e/ou de perdas de sais por lixiviação.

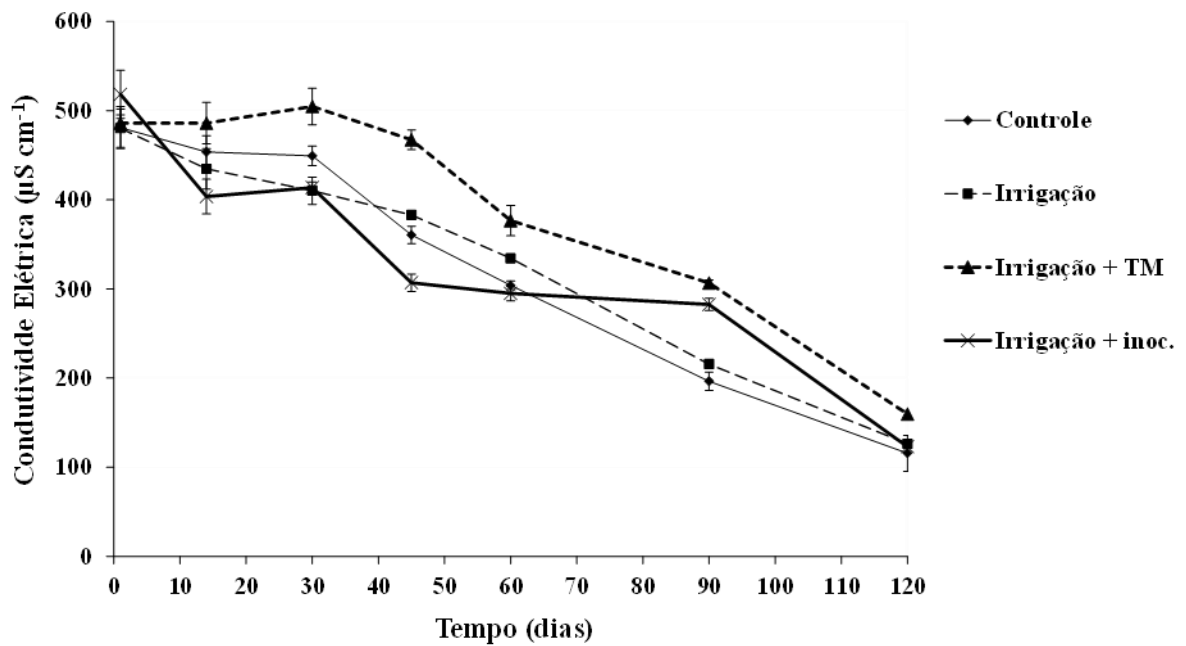


Figura 5 – Valores de condutividade elétrica observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

A densidade dos compostos apresentou pequeno aumento ao longo da compostagem (Figura 6). Isto ocorreu devido ao processo de humificação, que está associado ao aumento da polimerização das substâncias orgânicas (HARRISON, 2008), e também devido à ação fragmentadora da macrofauna, que promove diminuição do tamanho das partículas, com a diminuição dos macroporos e aumento dos microporos.

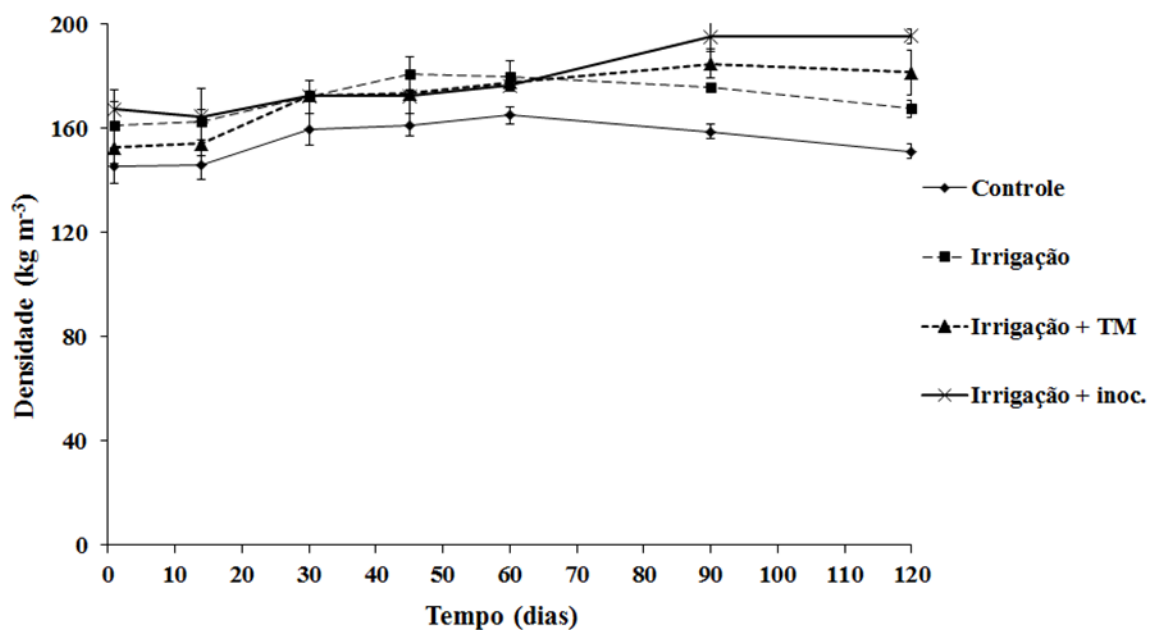


Figura 6 – Valores de densidade em base seca observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

Os valores e as variações dos teores de C (figura 7) de todos os tratamentos foram estatisticamente iguais, o que era esperado, pois todos utilizaram o resíduo de poda como matéria-prima predominante. Observou-se maior redução nos primeiros 30 dias de compostagem, seguida da manutenção dos teores de C em valores próximos a 370 g kg^{-1} até o final do processo. Este comportamento indica que o processo de decomposição das matérias-primas foi mais intenso nos primeiros 30 dias de compostagem.

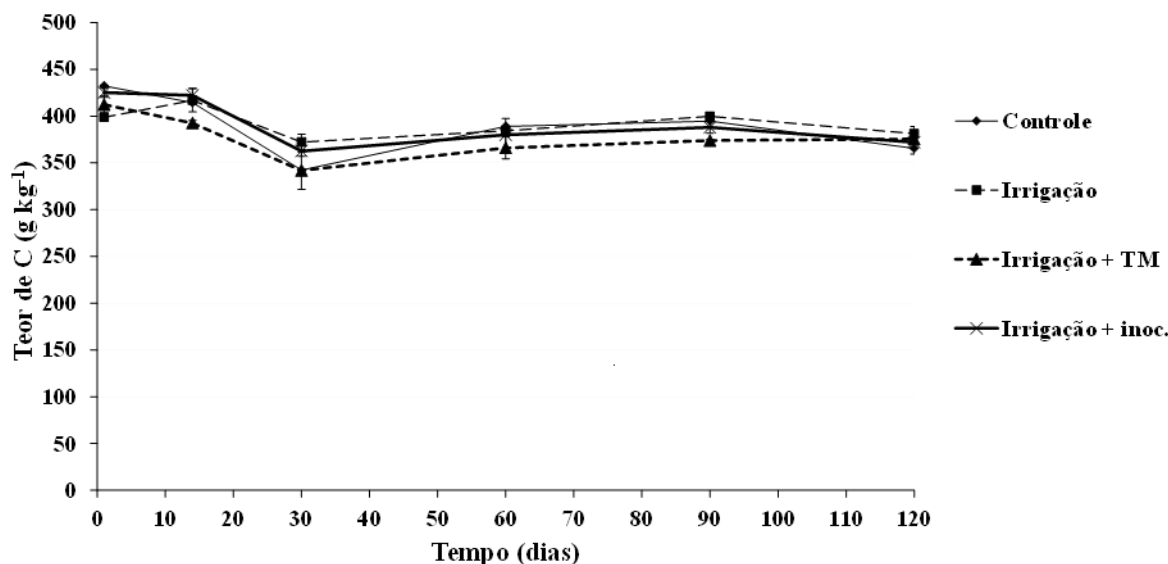


Figura 7 – Teores de C observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

Os teores de N ao longo da compostagem estão apresentados na Figura 8. Observa-se que o tratamento com adição de torta de mamona apresentou os maiores valores, o que já era esperado, devido ao elevado teor de N deste fertilizante orgânico. Todos os tratamentos apresentaram aumentos dos seus teores de N ao longo de quase toda a compostagem, provavelmente devido ao efeito de concentração proporcionado pela perda de C por emissão de CO_2 e à reduzida perda de N por volatilização e lixiviação. Lima et al. (2009), avaliando a compostagem de resíduos da produção de biodiesel, também observaram aumento dos teores de N e diminuição dos teores de C ao longo da compostagem.

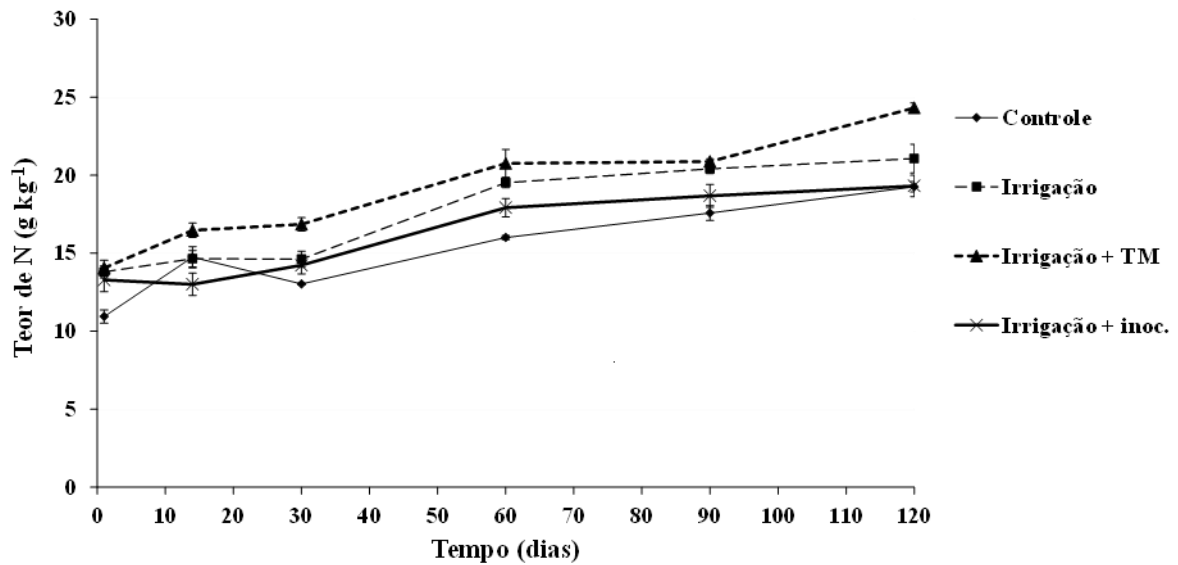


Figura 8 – Teores de N observados durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

A relação C:N de todos os tratamentos apresentaram queda constante ao longo da compostagem, conforme se observa na figura 9. Este é um comportamento normal, conforme descrito por diversos autores (ÂGREN et al., 2013; GUO et al., 2012; JIANG et al., 2011; KIEHL, 2010). O tratamento irrigação + torta de mamona apresentou os menores valores de relações C:N durante todo o processo, sendo que seu valor médio (20,8) foi significativamente inferior aos valores médios dos demais tratamentos.

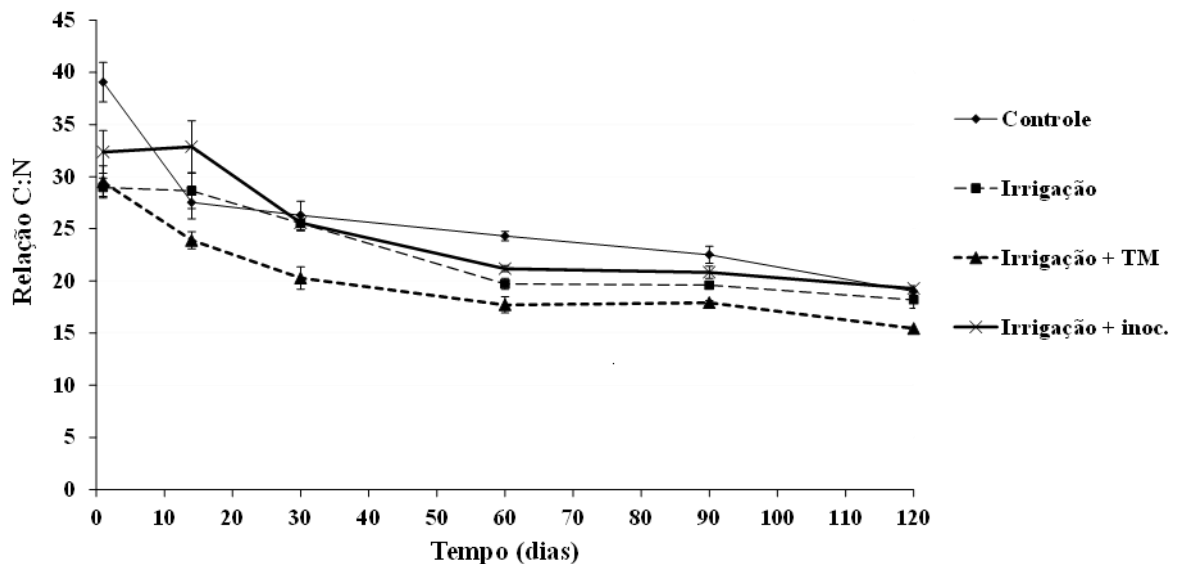


Figura 9 – Relações C:N observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

Conforme se observa na Figura 10, as emissões de CO₂ de todos os tratamentos permaneceram com valores entre 2,58 e 5,55 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia durante toda a compostagem, o que revela que todos os tratamentos apresentavam moderada

estabilidade desde o início do processo. Bernal et al. (2009), consideram estáveis materiais com emissão de CO₂ inferiores a 4,0 mg por grama de matéria seca por dia.

O tratamento Irrigação + TM apresentou, ao longo do processo de compostagem, emissão de CO₂ média significativamente superior aos demais tratamentos (4,51 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia), revelando maior atividade biológica. Os tratamentos Irrigação + inoc. e Irrigação apresentaram emissões de CO₂ médias de 3,84 e 3,78 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia, respectivamente, que foram significativamente superiores ao tratamento Controle, com emissão média de 3,53 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia.

Em compostos com base em cama de cavalo, Santos (2016) observou que os valores de emissão de CO₂ no início da compostagem foram elevados, com redução gradual até aproximadamente 20 dias, quando a emissão de CO₂ alcançou o patamar, que se manteve até o final da incubação. Isto demonstrou elevada atividade biológica no início do processo de compostagem, com posterior estabilização.

Enquanto Leite (2017) observou em compostos a base de braquiária e gliricídia o decréscimo nas emissões de CO₂ de forma gradual durante o período do processo de compostagem, atingindo ao final dos 120 dias valor médio de 4,38 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia, revelando o processo de estabilização dos compostos.

Os valores de emissão de CO₂ dos compostos de resíduos de poda urbana diferem dos resultados apresentados por Santos (2016) e Leite (2017) porque desde o início da compostagem todos os tratamentos, com exceção do tratamento Irrigação + TM, apresentaram emissões inferiores a 4,0 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia até os 45 dias, quando até os 60 dias houve um aumento gradual das emissões de CO₂ até valores acima de 4,0 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia. Sendo que o tratamento Controle alcançou esta elevação acima de 4,0 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia apenas aos 90 dias, de forma mais lenta. Estes valores mantiveram-se neste patamar até os 120 dias de incubação, quando ficaram mais próximos dos 4,0 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia. Estas emissões de CO₂ baixas demonstram a reduzida atividade biológica durante todo o período de incubação dos tratamentos, com exceção do tratamento Irrigação + TM que teve emissão média de 4,0 mg de CO₂ por grama de matéria seca por dia.

De acordo com Oliveira et al. (2014), a emissão de CO₂ está relacionada, principalmente, com o auto aquecimento e consumo de O₂. Afirmação que corrobora com o fato de que os momentos de elevação da emissão de CO₂ dos compostos com resíduo de poda urbana coincidem com as épocas de revolvimento das leiras.

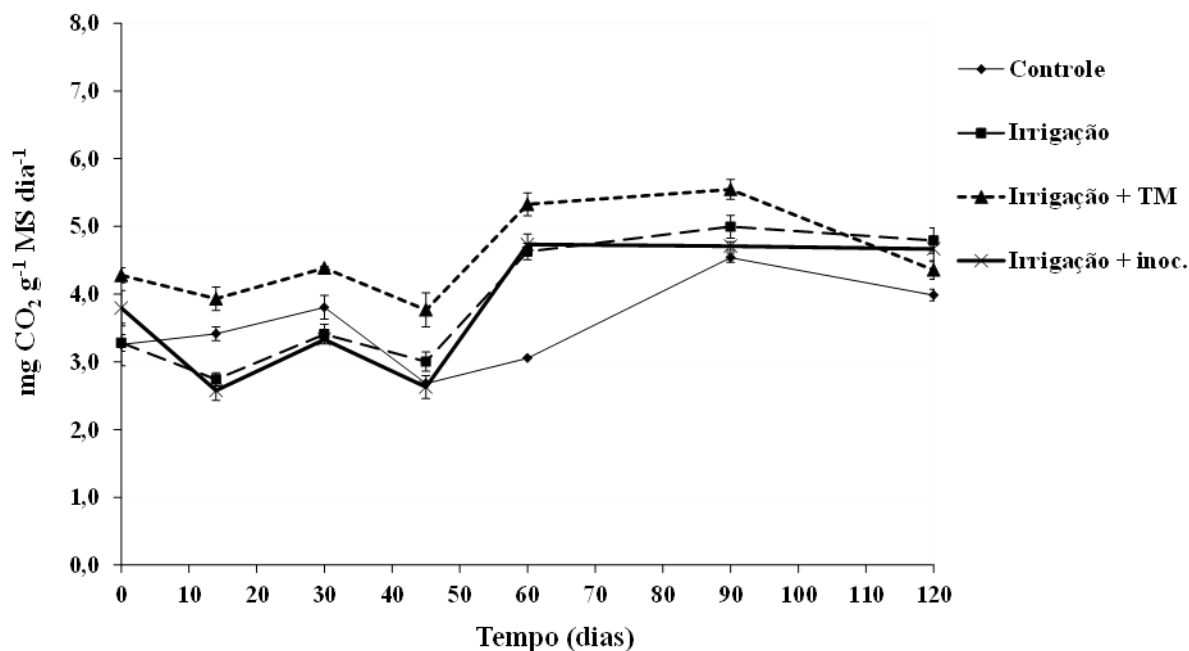


Figura 10 – Emissões potenciais de CO₂ observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

Comportamento semelhante foi observado para a emissão de NH₃, com os tratamentos Irrigação + TM e Irrigação apresentando os maiores valores médios de 0,004487 e 0,004083 mg de NH₃ por grama de matéria seca por dia, respectivamente, significativamente superiores aos valores médios de emissão de NH₃ observados nos tratamentos Irrigação + inoc. e no tratamento Controle, com emissões de 0,002661 e 0,000269 mg de NH₃ por grama de matéria seca por dia, respectivamente.

Santos (2016) observou em compostos a base de cama de cavalo uma elevada emissão de NH₃ no início da compostagem, com posterior redução até valores próximos de zero, aos 30 dias de incubação. Este comportamento é comum em compostagem, devido aos elevados valores de pH, acima de 8,0, e à maior proporção de N na forma de NH₃ que geralmente ocorre no início do processo, uma vez que a volatilização de NH₃ é maior em pH alcalino.

Leite (2017) em compostos baseados em braquiária + gliricídia constatou acréscimo considerável de NH₃ até os 14 dias do início do processo de compostagem, em contrapartida, a partir desse ponto, houve uma queda acentuada dessa variável. Sendo que aos 90 dias todos os compostos emitiram teores semelhantes de NH₃ se tornando praticamente nula ao final de 120 dia, sendo este um indicativo da estabilização dos materiais.

Comparando as emissões de NH₃ dos compostos de resíduo de poda urbana com os resultados obtidos por Santos (2016) e Leite (2017) eles diferem destes nesta variável. Tendo os tratamentos com resíduo de poda urbana apresentando emissões muito reduzidas próximas a zero desde a montagem das leiras de compostagem até o fim dos 120 dias de incubação. Com os tratamentos Controle e Irrigação + inoculante apresentando emissão praticamente zero desde o início do processo, com elevação gradual da emissão de NH₃ aos 90 e 14 dias respectivamente. Aos 90 dias de compostagem os tratamentos Irrigação + inoculante + TM apresentaram redução acentuada dos valores até os 120 dias de incubação, e os outros tratamentos continuaram apresentando elevação da emissão de NH₃.

Em experimento para estimar a emissão de NH₃ em compostagem de dejetos de suínos, Lourenço et al. (2011) constataram que quando há revolvimento da leira a emissão de amônia é aproximadamente 3 vezes superior à quando não há o revolvimento. Segundo Brito

et al. (2008) o revolvimento das leiras de composto, com demasiada frequência, pode aumentar as emissões de NH_3 e reduzir o valor agrônômico do produto final, por diminuir o teor de N.

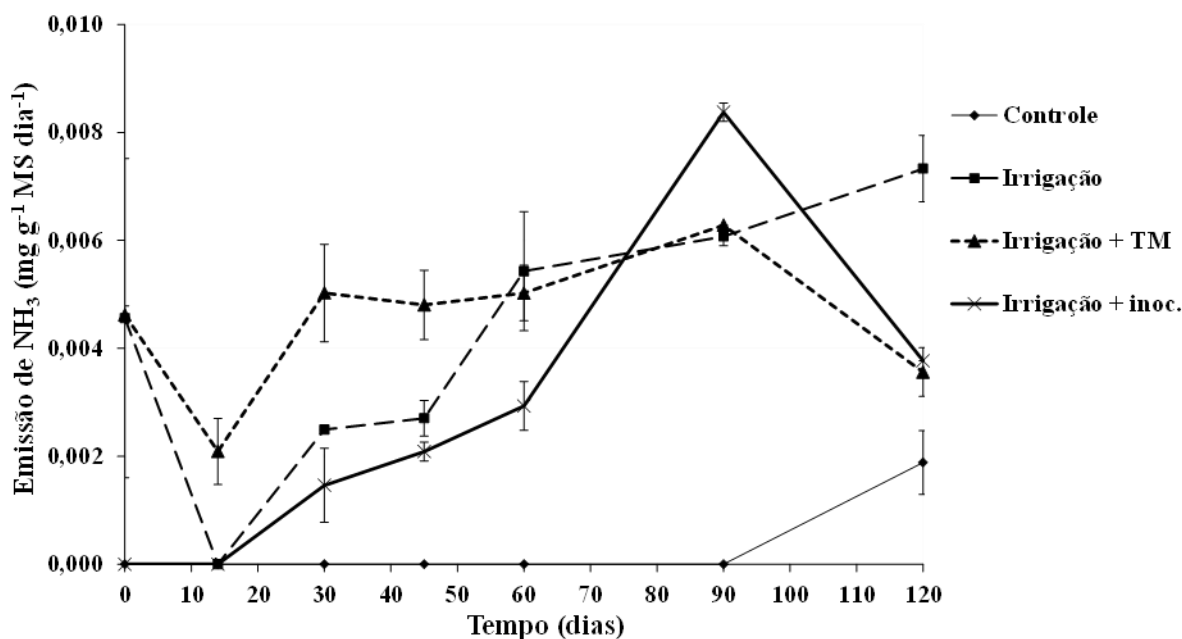


Figura 11 – Emissões potenciais de NH_3 observadas durante a compostagem de resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação. Média de três repetições + erro padrão.

As características dos compostos obtidos a partir dos diferentes tratamentos e coeficientes técnicos do processo após 120 dias de compostagem estão apresentadas na Tabela 3.

O pH diferiu significativamente entre os quatro tratamentos, tendo o tratamento Irrigação + TM o menor pH, embora a condutividade elétrica não apresentasse diferenças significativas entre os quatro tratamentos, e os valores observados fossem muito baixos quando comparados com valores encontrados na literatura. Segundo Berticelli et al. (2016) um composto humificado apresenta reação alcalina.

A condutividade elétrica ficou com valores entre 115,8 e 159,4 $\mu\text{S cm}^{-1}$, que de acordo com Ballester-Olmos (1992) podem ser considerados muito baixos, pois este autor coloca como faixa de condutividade elétrica apropriada para as plantas entre 2000 e 3500 $\mu\text{S cm}^{-1}$.

Morokawa (2017) em trabalho com compostagem de capim elefante e torta de mamona obteve um produto final aos 120 dias de incubação com pH 6,69, levemente ácido e próximo da neutralidade. E valor de condutividade elétrica de 367,3 $\mu\text{S cm}^{-1}$, que pode ter sido devido à ocorrência de expressivas perdas de sais por lixiviação, principalmente o K, pois no final do período ocorreu muita chuva e o composto estava em local aberto. O valor de condutividade elétrica obtido por Morokawa (2017) corrobora com os resultados obtidos neste trabalho.

As densidades entre os quatro tratamentos diferiram estatisticamente, sendo que os tratamentos Irrigação + TM e Irrigação + Inoculante apresentaram valores significativamente superiores aos observados nos tratamentos Controle e Irrigação. Trabalhando com compostos a base de bagaço de cana e torta de mamona, Lima (2014) obteve compostos finais que não diferiram estatisticamente, mas com expressivo aumento da densidade. Pois, segundo o autor

o fato de o bagaço de cana ser um material de baixa densidade contribui para este resultado. Santos (2016), em experimento com compostagem de cama de cavalo e torta de mamona, obteve ao final de 120 dias de incubação pequeno incremento dos valores de densidade. Isso porque a densidade inicial do resíduo de cama de cavalo é alta.

Os resultados de densidade obtidos por Lima (2014) diferem dos resultados deste trabalho. Enquanto os resultados obtidos por Santos (2016) corroboram com os resultados de densidade deste trabalho, pois usou o resíduo de poda que tem uma elevada densidade inicial assim como a cama de cavalo.

Tabela 3 - Características observadas após 120 dias de incubação de leiras de composto resíduo de poda urbana puro e sem irrigação (Controle), com irrigação, com irrigação + torta de mamona (TM) e com irrigação + inoculação.

	Controle	Irrigação	Irrigação + TM	Irrigação + Inoc.
Umidade (%)	63,9 b	69,4 a	66,8 a	68,9 a
pH	8,29 b	8,55 a	8,02 c	8,42 b
Condutividade Elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	115,8 a	126,4 a	159,7 a	123,1 a
Densidade (g massa seca dm^{-3})	151,2 b	167,5 b	181,5 a	195,5 a
C total (g kg^{-1})	365,5 a	381,3 a	375,4 a	371,9 a
N total (g kg^{-1})	19,3 b	21,1 b	24,3 a	19,3 b
Relação C:N	19,0 a	18,2 a	15,4 a	19,3 a
N disponível (g kg^{-1}) CV = 10,67%	0,75 a	0,68 a	0,74 a	0,71 a
Proporção entre N disponível e N total (%) CV = 14,92%	3,91 a	3,25 a	3,04 a	3,71 a
Ca total (g kg^{-1}) CV = 11,14%	25,03 a	30,61 a	32,32 a	27,56 a
Ca disponível (g kg^{-1}) CV = 9,05%	10,35 a	10,12 a	11,45 a	10,35 a
Proporção entre Ca disponível e Ca total (%) CV = 14,79%	41,43 a	34,26 a	35,46 a	37,50 a
Mg total (g kg^{-1}) CV = 7,92%	2,45 b	3,27 a	3,49 a	2,87 b
Mg disponível (g kg^{-1}) CV = 10,20%	1,73 a	1,67 a	2,04 a	1,73 a
Proporção entre Mg disponível e Mg total (%) CV = 11,42%	70,91 a	51,50 a	58,29 a	60,18 a
P total (g kg^{-1}) CV = 5,73%	1,62 c	2,00 b	2,34 a	1,79 c
P disponível (g kg^{-1}) CV = 13,46b%	0,81 b	1,06 a	1,20 a	1,11 a
Proporção entre P disponível e P total (%) CV = 18,77%	50,96 a	53,07 a	51,20 a	62,23 a
K total (g kg^{-1}) CV = 22,72%	2,86 a	2,42 a	2,70 a	2,29 a
K disponível (g kg^{-1}) CV = 25,37%	1,63 a	1,89 a	2,15 a	2,24 a
Proporção entre K disponível e K total (%) CV = 18,77%	64,46 a	79,53 a	78,96 a	96,31 a
Proporção da massa inicial (%)	77,1	97,4	86,7	92,4
Proporção do volume inicial (%)	68,8	62,0	60,0	60,0

Média seguidas da mesma letra não diferem entre si ao nível de 5,0% de probabilidade pelo teste de Scott-Knott.

Os compostos obtidos a partir dos quatro tratamentos não apresentaram diferenças estatísticas de teores de C e de relação C:N, mas o tratamento Irrigação + TM apresentou teor total de N (24,3 g kg⁻¹) significativamente superior aos observados nos demais tratamentos, que não diferiram entre si, com valores entre 19,3 e 21,1 g kg⁻¹. Comparando estes valores com os verificados por Melo, Silva e Dias (2008), em esterco de suínos, bovinos e de aves variando de 11 a 46 g kg⁻¹ de teor total de N, demonstra-se que os teores alcançados pelos compostos de poda urbana estão dentro de uma faixa ideal.

Nos resultados de teores totais e disponíveis de Ca e de K não houve diferenças estatísticas entre os quatro tratamentos. Sendo que os valores de teor total de Ca dos compostos finais foram maiores que os teores iniciais do resíduo de poda, enquanto o K apresentou redução dos valores ao final da incubação. O potássio apresentou valores menores devido a possível lixiviação causada por chuvas ao final do período de incubação. Os teores totais de Mg dos tratamentos Irrigação e Irrigação + TM foram significativamente superiores aos observados nos tratamentos Controle e Irrigação + Inoculante. Em relação ao P, o tratamento Irrigação + TM apresentou valores significativamente superiores aos observados nos outros três tratamentos. Estes resultados em comparação com os teores totais de Mg e P nos materiais iniciais indicam que o uso de torta de mamona ajudou a enriquecer em nutrientes o composto final, tendo que este resíduo é mais rico em nutrientes do que o resíduo de poda.

Os teores disponíveis de N, Ca, Mg e K não tiveram diferenças estatísticas entre os quatro tratamentos. Porém, houve diferença significativa do P no tratamento Controle, pois apresentou valor menor que os demais tratamentos.

Aos 120 dias de compostagem, a proporção de massa seca em relação à massa inicial foi de 77,1% para o tratamento Controle, inferior aos demais tratamentos, que apresentaram valores próximos a 90%. Os valores proporcionais de volume, aos 120 dias, em relação ao volume inicial foi de 68% para o tratamento Controle e próximos a 60% para os demais tratamentos. Estes valores não condizem com o que é apresentado na literatura, e a principal hipótese para explicá-los é um eventual erro na avaliação dos valores de massa seca no início do processo de compostagem.

De acordo com a IN 25 do SDA/MAPA (MAPA, 2009) os fertilizantes obtidos a partir dos diferentes tratamentos avaliados neste trabalho se enquadram na Classe “A” (fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos), pois os compostos utilizaram como matérias-primas apenas resíduo de poda triturado e a torta de mamona, ou seja, materiais de origem vegetal. E ainda de acordo com a IN 25 do SDA/MAPA (MAPA, 2009), fertilizantes orgânicos compostos devem apresentar as seguintes especificações: carbono orgânico mínimo de 15%, N total mínimo de 0,5%, pH mínimo de 6,0, relação C:N máxima de 20 e umidade máxima de 50%. Quase todas as características dos compostos obtidos estão dentro destes limites, atendendo as especificações do MAPA. Apenas a umidade está acima do limite máximo, mas isto pode ser corrigido facilmente, por meio da secagem do material por alguns dias em local protegido das chuvas.

A Resolução N° 481 do CONAMA (CONAMA, 2017) estabelece a obrigatoriedade de se alcançar temperaturas mínimas, visando a redução de agentes patogênicos, que no caso dos compostos avaliados, devem ser maiores que 55°C por 14 dias, ou maiores que 65°C por 3 dias. Nenhum dos compostos obtidos alcançou as temperaturas exigidas, provavelmente devido à elevada granulometria dos resíduos e ao reduzido volume das leiras, que favoreceram a sua aeração, abaixando as suas temperaturas. Uma solução para a aeração excessiva seria a utilização de material menos poroso em composição com o resíduo de poda, ou até cobrir a leira com material menos poroso na hora de sua montagem.

A realização de irrigações quando a umidade do composto está abaixo de 40% é uma prática de baixo custo que proporcionou melhorias no processo, cujo principal indicador foi o aumento da temperatura das leiras no início da compostagem. A adição de 1,0% (v/v) de torta de mamona também é outra prática de baixo custo, que associada com a realização de irrigações, proporcionou maior atividade biológica durante a compostagem, comprovada pela maior temperatura alcançada e pela maior emissão potencial de CO₂. Estas práticas associadas também melhoraram a qualidade do composto obtido, proporcionando maiores teores totais de N e de P do que foi observado nos compostos obtidos a partir dos demais tratamentos. A utilização de inoculante, aplicado no início do processo e aos 45 dias de compostagem, associado com irrigação, não apresentou diferenças consistentes em relação ao tratamento em que foi realizada apenas a irrigação, demonstrando que esta prática de baixo custo não proporciona melhoria significativa do processo ou do produto da compostagem de resíduos de poda urbana.

5 CONCLUSÕES

- É possível obter compostos orgânicos que atendem as especificações estabelecidas na IN 25 do MAPA a partir de resíduos triturados de poda urbana, sendo que a adição de torta de mamona em pequena proporção (1,0% v/v) eleva significativamente o teor de nitrogênio dos compostos obtidos.
- As temperaturas necessárias para higienização não foram alcançadas durante o processo de compostagem, provavelmente devido à granulometria grosseira dos resíduos e ao reduzido volume das leiras.
- A realização de procedimentos de baixo custo pode aprimorar a compostagem de resíduos triturados de poda urbana, sendo que melhorias significativas nos parâmetros físico e químicos dos compostos produzidos podem ser obtidas apenas com manutenção da umidade em níveis adequados durante o processo de compostagem.

6 SUGESTÕES

- Para corroborar com os resultados deste trabalho, que demonstrou a viabilidade de se obter compostos orgânicos de boa qualidade a partir de resíduos triturados de poda urbana, recomenda-se a realização de experimentos que testem o desempenho deste composto como substrato para produção de mudas de olerícolas e como fertilizante orgânico para adubação de olerícolas.
- O resíduo triturado de poda urbana é um material que apresenta granulometria grosseira, que promove intensa aeração na leira, e conseqüentemente, acarreta elevada perda de umidade. Como alternativa para solucionar esta dificuldade no processo de compostagem, sugere-se a utilização de restos de frutas e hortaliças, que é outro resíduo urbano abundante. Por se tratar de um material com bastante umidade, a sua mistura com o resíduo triturado de poda urbana poderá reduzir a aeração na leira e talvez mantê-la úmida por mais tempo, além de elevar os teores de nitrogênio e de outros nutrientes.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÅGREN, G. I. et al. Estimating the critical N: C from litter decomposition data and its relation to soil organic matter stoichiometry. **Soil Biology And Biochemistry**, [s.l.], v. 67, p.312-318, dez. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.09.010>.

ANDRIOLO, Jerônimo L. et al. Caracterização e avaliação de substratos para o cultivo do tomateiro fora do solo. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 3, p.215-219, nov. 1999.

BALLESTER-OLMOS, J. F. **Substratos para el cultivo de plantas ornamentales**. Madrid: Saijen, 1992. 44 p.

BARATTA JUNIOR, Almir Punaro. **Utilização do composto de resíduos da poda da arborização urbana em substratos para produção de mudas**. 2007. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2007.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R.. Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment. A review. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 100, n. 22, p.5444-5453, nov. 2009. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2008.11.027>.

BERTICELLI, Ritielli et al. Compostagem como alternativa de biorremediação de áreas contaminadas. **Revista Ciatec-UPF**, [s.l.], v. 8, n. 1, p.12-28, 10 jun. 2016. UPF Editora. <http://dx.doi.org/10.5335/ciatec.v1i8.4143>.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <<http://www2.camara.leg.br/documentos-e-pesquisa/edicoes/paginas-individuais-dos-livros/politica-nacional-de-residuos-solidos>>. Acesso em: 02 maio 2016.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente - MMA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. 2012. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/12308/PNRS_Revisao_Decreto_280812.pdf/e183f0e7-5255-4544-b9fd-15fc779a3657>. Acesso em: 01 maio 2018.

BRITO, Luis Miguel et al. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 5, p.1959-1968, out. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000500017>.

Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. **Resolução nº 481**, de 3 de outubro de 2017. Estabelece critérios e procedimentos para garantir o controle e a qualidade ambiental do processo de compostagem de resíduos orgânicos, e dá outras providências. Brasília.

COSTA, Luiz Antonio de Mendonça et al. Avaliação de substratos para a produção de mudas de tomate e pepino. **Revista Ceres**, [s.l.], v. 60, n. 5, p.675-682, out. 2013. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0034-737x2013000500011>.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Programa de pesquisa em saneamento básico. Manual prático para a compostagem de biossólidos**. Londrina: Prosab, 1999. 84 p.

FERNANDES, Lucimara Batista et al. Influência da torta de mamona nas características químicas do solo. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, Mossoró, v. 6, n. 3, p.156-159, jul. 2011.

FERREIRA, A. G.; BORBA, S. N. S.; WIZNIEWSKY, J. G.. A prática da compostagem para adubação orgânica pelos agricultores familiares de Santa Rosa/RS. **Revista Eletrônica do Curso de Direito da UFSM**, Santa Maria, v. 8, p.307-3017, 2013.

FREITAS, Renata Xavier Alberico; MELO, Geraldo Aclécio. Avaliação do uso de biocomposto de lodo de esgoto como substrato para produção de mudas. **Revista Monografias Ambientais**, Santa Maria, v. 12, n. 12, p.2665-2673, maio 2013.

GADELHA, Edmundo Pacheco. **Avaliação de inóculos metanogênicos na aceleração do processo de degradação da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos**. 2005. 126 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, 2005.

GUO, Rui et al. Effect of aeration rate, C:N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 112, p.171-178, maio 2012. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2012.02.099>.

HARRISON, R.b.. Composting and Formation of Humic Substances. **Encyclopedia Of Ecology**, [s.l.], p.713-719, 2008. Elsevier. <http://dx.doi.org/10.1016/b978-008045405-4.00262-7>.

INÁCIO, Caio de Teves. **Compostagem: Curso Prático e Teórico**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2015. 8 p. (Circular Técnica, 48).

INÁCIO, Caio de Teves; MILLER, Paul Richard Momsen. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 156 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Censo demográfico 2010: Características da população e dos domicílios**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. 270 p.

JEONG, Yeon-koo; KIM, Jin-soo. A new method for conservation of nitrogen in aerobic composting processes. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 79, n. 2, p.129-133, set. 2001. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00062-1](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00062-1).

JIANG, Tao et al. Effect of C:N ratio, aeration rate and moisture content on ammonia and greenhouse gas emission during the composting. **Journal Of Environmental Sciences**, [s.l.], v. 23, n. 10, p.1754-1760, out. 2011. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742\(10\)60591-8](http://dx.doi.org/10.1016/s1001-0742(10)60591-8).

KIEHL, Edmar José. **Novos fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Degaspari, 2010. 248 p.

KIEHL, Jorge de Castro. Produção de composto orgânico e vermicomposto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 212, p.40-47, set. 2001.

LEAL, Marco Antonio de Almeida et al. **Processo de compostagem a partir da mistura entre capim elefante e crotalária**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2011. 23 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 77).

LEAL, Marco Antonio de Almeida. **Produção e eficiência agrônômica de compostos obtidos com a palhada de gramínea e leguminosa para o cultivo de hortaliças orgânicas**. 2006. 143 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2006.

LEITE, Paulo Sergio da Silva. **Efeito da adição de cinza e de pó de granito na compostagem de braquiária com gliricídia visando a produção de substrato e fertilizante orgânicos**. 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

LI, Zhentong et al. Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. **Chemosphere**, [s.l.], v. 93, n. 7, p.1247-1257, out. 2013. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.06.064>.

LIAO, Christina F. H.. Devarda's Alloy Method for Total Nitrogen Determination1. **Soil Science Society Of America Journal**, [s.l.], v. 45, n. 5, p.852-855, 1981. Soil Science Society of America. <http://dx.doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500050005x>.

LIMA, Claudivan C. et al. Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, [s.l.], v. 13, n. 3, p.334-340, jun. 2009. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1415-43662009000300016>.

LIMA, Jonas Torres. **Obtenção de fertilizantes e substratos orgânicos a partir da compostagem de bagaço de cana mais torta de mamona e seu uso na produção de algumas hortaliças**. 2014. 61 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2014.

LIMA, Rosiane de Lourdes Silva de et al. Casca e torta de mamona avaliados em vasos como fertilizantes orgânicos. **Revista Caatinga**, Mossoró, v. 21, n. 5, p.102-106, dez. 2008.

LOURENÇO, Kesia S. et al. Otimização de metodologia para estimar a emissão de amônia no processo de compostagem de dejetos de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, **Anais...** . 2011. p. 1 - 4.

MEIRA, Ana Maria de. **Gestão de resíduos da arborização urbana**. 2010. 178 f. Tese (Doutorado) – Curso de Ciências, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 17**, de 21 de maio de 2007. Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. Brasília.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 25**, de 28 de julho de 2009. Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. Brasília.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 27**, de 12 de abril de 2016b. Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas. Brasília.

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento - MAPA. **Instrução Normativa nº 5**, de 10 de maio de 2016a. Regras sobre definições, classificação, especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem, rotulagem e propaganda dos remineralizadores e substratos para plantas, destinados à agricultura. Brasília.

MELO, Leônidas Carrijo Azevedo; SILVA, Carlos Alberto; DIAS, Bruno de Oliveira. Caracterização da matriz orgânica de resíduos de origens diversificadas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, [s.l.], v. 32, n. 1, p.101-110, fev. 2008. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-06832008000100010>.

MOROKAWA, Maíra Jardineiro. **Obtenção de substratos orgânicos para mudas de espécies florestais a partir da compostagem de capim elefante e torta de mamona**. 2017. 42 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Orgânica, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2017.

OLIVEIRA, Eva Adriana G. de et al. **Avaliação da estabilidade de materiais orgânicos por meio de incubação e da captura conjunta das emissões de CO₂ e de NH₃**. Seropédica: Embrapa Agrobiologia, 2014. 26 p. (Boletim de pesquisa e desenvolvimento, 97).

QUEIROZ, Fausto Fonseca de. **Avaliação do aproveitamento de resíduos vegetais por meio da compostagem em leiras revolvidas. Estudo de caso de Londrina**. 2007. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Edificações e Saneamento, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2007.

REZENDE, Fabiana Abreu de. **Aproveitamento da casca de café e borra da purificação de gorduras e óleos residuários em compostagem**. 2010. 74 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Agronomia/fitotecnia, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010.

RODRIGUES, Mario S. et al. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, Claudio Aparecido; RIBEIRO, Wagner Costa (Ed.). **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: Fepaf, 2006. Cap. 3. p. 63-94.

SANTOS, Marcelo Roberto Gomes dos. **Produção de substratos e fertilizantes orgânicos a partir da compostagem de cama de cavalo**. 2016. 48 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-graduação em Agricultura Orgânica, Instituto de Agronomia, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, 2016.

SEVERINO, Liv Soares et al. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v. 5, n. 1, p.1-6, 2004.

SILVA, C. A.. Uso de resíduos orgânicos na agricultura. In: SANTOS, Gabriel de A. et al (Ed.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais & subtropicais**. 2. ed. Porto Alegre: Metrópole, 2008. Cap. 32. p. 597-624.

SILVA, Eduardo Teixeira da et al. Compostagem como alternativa para o tratamento de lixo orgânico domiciliar e recuperação de áreas degradadas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 22, n. 210, p.77-84, maio 2001.

SILVA, Fábio Cesar da (Ed.). **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. 2. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2009. 627 p.

SILVA, Samuel de Deus da et al. Uso de torta de mamona como fertilizante orgânico. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, [s.l.], v. 42, n. 1, p.19-27, mar. 2012. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s1983-40632012000100003>.

SOUZA, Caroline Lobato de Lima. **Compostagem para tratamento da parcela facilmente degradável dos resíduos sólidos domésticos rejeitada nos processos de triagem de inertes**. 2014. 124 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2014.

STEFFEN, Gerusa Pauli Kist et al. Húmus de esterco bovino e casca de arroz carbonizada como substrato para a produção de mudas de boca-de-leão. **Acta Zoológica Mexicana**, [s.l.], v. 26, n. 2, p.345-357, 2010.

TRANI, Paulo E. et al. **Adubação Orgânica de Hortaliças e Frutíferas**. 2013. Disponível em: <http://www.iac.sp.gov.br/imagem_informacoestecnologicas/83.pdf>. Acesso em: 01 jul. 2018.

VALENTE, B. S. et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, [s.l.], v. 58, p.59-85, 2009.

VAN HEERDEN, I. et al. Microbial, chemical and physical aspects of citrus waste composting. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 81, n. 1, p.71-76, jan. 2002. Elsevier BV. [http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524\(01\)00058-x](http://dx.doi.org/10.1016/s0960-8524(01)00058-x).

ZANELLO, Cesar Augusto; CARDOSO, Jean Carlos. Resíduos Compostados como Substrato para Produção de Petunia X Hybrida. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, Araras, v. 6, n. 3, p.46-53, set. 2016.

Anexo I

I - Classe "A": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados, no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

II - Classe "B": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

III - Classe "C": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

IV - Classe "D": fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Anexo II

I - em Nitrogênio (N), o teor total;

II - Em Pentóxido de Fósforo (P_2O_5):

a) para os fertilizantes orgânicos simples, mistos e compostos: teor total;

III - em óxido de potássio (K_2O), o teor solúvel em água.

Parágrafo único. Fará parte do índice N-P-K, N-P, N-K ou PK a percentagem de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico a 2% (dois por cento), relação 1:100 (um para cem) ou solúvel em citrato neutro de amônio mais água, conforme o caso.

Anexo III

Nutriente	Tipo do fertilizante orgânico			
	Teor total mínimo - %		Teor Solúvel em H ₂ O	
	Aplicação no solo		Via foliar, fertirrigação e hidroponia	
	Sólido	Fluído	Sólido	Fluído
Cálcio (Ca)	1	0,5	0,5	0,3
Magnésio (Mg)	1	0,5	0,5	0,3
Enxofre (S)	1	0,5	0,5	0,3
Boro (Bo)	0,03	0,01	0,02	0,01
Cloro (Cl)	0,1	0,1	0,1	0,1
Cobalto (Co)	0,005	0,005	0,005	0,005
Cobre (Cu)	0,05	0,05	0,05	0,05
Ferro (Fe)	0,2	0,1	0,1	0,02
Manganês (Mn)	0,05	0,05	0,1	0,02
Molibdênio (Mo)	0,005	0,005	0,02	0,005
Níquel (Ni)	0,005	0,005	0,005	0,005
Silício (Si)	1,0	0,5	0,5	0,05
Zinco (Zn)	0,1	0,05	0,1	0,05

Anexo IV

Orgânico simples processado	U% máx.	pH	*C org% mín.	N% mín.	*CTC mínimo	*CTC/C mínimo
Estercos e camas	40	Conforme Declarado ¹	20	1	Conforme Declarado ¹	Conforme Declarado ¹
Tortas vegetais	40		35	5		
Turfa	40		15	0,5		
Linhita	40		20	0,5		
Leonardita	40		25	0,5		
Vinhaça ²	-		3	-		
Parâmetros de referência para outros fertilizantes orgânicos simples	40		15	0,5		

*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C).

(1) É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

(2) Deverá ser declarado o teor de potássio.

Anexo V

Garantia	Misto/ composto				Vermicomposto
Classes	A	B	C	D	A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
*Carbono orgânico (mín.)	15	15	15	10	10
*CTC ¹	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C:N (máx.)	20	20	20	20	14
*Relação CTC/C ¹	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

*(valores expressos em base seca, umidade determinada a 65°C)

(1) É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Anexo VI

I - Classe "A": produto que utiliza, em sua produção, matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria isentos de despejos sanitários, onde não sejam utilizados no processo metais pesados tóxicos, elementos ou compostos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

II - Classe "B": produto que utiliza, em sua produção, matéria-prima oriunda de processamento da atividade industrial ou da agroindústria isentos de despejos sanitários, onde metais pesados tóxicos, elementos ou compostos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

III - Classe "C": produto que utiliza, em sua produção, qualquer quantidade de matéria-prima oriunda de lixo domiciliar isentos de despejos sanitários ou materiais potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

IV - Classe "D": produto que utiliza, em sua produção, qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do tratamento de despejos sanitários e industriais, resultando em produto de utilização segura na agricultura;

V - Classe "E": produto que utiliza, em sua produção, exclusivamente matéria-prima de origem mineral ou sintética, resultando em produto de utilização segura na agricultura; e

VI - Classe "F": produto que utiliza, em sua produção, em qualquer proporção, a mistura de matérias-primas oriunda dos produtos das Classes "A" e "E", respectivamente, dos incisos I e V deste artigo.

Anexo VII

I - condutividade elétrica (CE) Máxima em miliSiemens por centímetro (mS.cm^{-1});

II - densidade em kg.m^{-3} (em base seca);

III - potencial hidrogeniônico (pH) em água, em valor absoluto;

IV - umidade máxima em percentual, em peso/peso; e

V - capacidade de retenção de água (CRA) em percentual, em peso/peso.

§ 1º Facultativamente, pode ser oferecida garantia para capacidade de troca catiônica (CTC), expressa em mmolc.dm^{-3} ou mmolc.kg^{-1} .

§ 2º Os valores para potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (CE) devem ser expressos com a indicação do seu valor absoluto.

Anexo VIII

Contaminante	Valor máximo admitido
Sementes ou qualquer material de propagação de ervas daninhas	0,5 plantas por litro, avaliado em teste de germinação
As espécies fitopatogênicas dos Fungos do gênero Fusarium, Phytophthora, Pythium, Rhizoctonia e Sclerotinia	Ausência
Arsênio (mg/Kg)	20,00
Cádmio (mg/Kg)	8,00
Chumbo (mg/Kg)	300,00
Cromo (mg/Kg)	500,00
Mercúrio (mg/Kg)	2,50
Níquel (mg/Kg)	175,00
Selênio (mg/Kg)	80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)	1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (nº em 4g ST)	1,00
Salmonella sp	Ausência em 10g de matéria seca

Anexo IX

Contaminante		Valor máximo admitido
Arsênio (mg/Kg)		20,00
Cádmio (mg/Kg)		3,00
Chumbo (mg/Kg)		150,00
Cromo (mg/Kg)		2,00
Mercúrio (mg/Kg)		1,00
Níquel (mg/Kg)		70,00
Selênio (mg/Kg)		80,00
Coliformes termotolerantes - número mais provável por grama de matéria seca (NMP/g de MS)		1.000,00
Ovos viáveis de helmintos - número por quatro gramas de sólidos totais (n° em 4g ST)		1,00
Salmonella sp		Ausência em 10g de matéria seca
Materiais inertes	Vidros, plásticos, metais > 2mm	0,5 % na massa seca
	Pedras > 5 mm	0,5 % na massa seca