



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA HIDRÁULICA E AMBIENTAL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL (RECURSOS
HÍDRICOS)

LUCIANE MARA CARDOSO FREITAS

ANÁLISE DE MATERIAIS ESTRUTURANTES E DE RECIPIENTES USADOS
PARA A COMPOSTAGEM DOMÉSTICA

Fortaleza

2016

LUCIANE MARA CARDOSO FREITAS

**ANÁLISE DE MATERIAIS ESTRUTURANTES E DE RECIPIENTES USADOS
PARA A COMPOSTAGEM DOMÉSTICA**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil. Área de Concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti

Fortaleza

2016

LUCIANE MARA CARDOSO FREITAS

**ANÁLISE DE MATERIAIS ESTRUTURANTES E DE RECIPIENTES USADOS
PARA A COMPOSTAGEM DOMÉSTICA**

Dissertação submetida à Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (Recursos Hídricos) da Universidade Federal do Ceará como requisito parcial para obtenção do título de Mestra em Engenharia Civil. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Aprovada em: 27/10/2016

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti (Orientador)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Francisco Suetônio Bastos Mota
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Raphael Tobias de Vasconcelos Barros
Universidade Federal do Ceará (UFMG)

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- F936a Freitas, Luciane Mara Cardoso.
Análise de materiais estruturantes e recipientes utilizados para a compostagem doméstica / Luciane Mara Cardoso Freitas. – 2016.
91 f. : il. color.
- Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Fortaleza, 2016.
Orientação: Prof. Dr. Ronaldo Stefanutti.
1. Resíduos sólidos orgânicos. 2. Compostagem doméstica. 3. Recipientes. 4. Materiais estruturantes. I.
Título.

CDD 628

A Deus, a minha mãe Lucia, ao meu esposo
David e a toda a sociedade.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me oferecido a luz divina nos momentos de tomadas de decisões, dificuldades financeiras e desânimo.

À minha família, especialmente à minha mãe Lucia que com todo seu amor, vigor e empenho proporcionou-me condições de conseguir ter a formação que possuo hoje.

Ao meu esposo David que esteve ao meu lado em todos os momentos, oferecendo amor, amizade, companheirismo, solicitude em todos os aspectos, até mesmo nos experimentos.

Aos meus amores, Vitória, Holy e Tripa que me encham de alegria todos os dias.

À minha grande amiga Pollyana que além da amizade, forneceu-me grande ajuda na execução desse trabalho. Ao amigo Cristiano e ao colega Ari, que também deram contribuições importantes.

Aos amigos do LABOSAN que foram grandes companhias e proporcionaram momentos de trabalho mais felizes, em especial, João Paulo, Diego, Gilmar, Vivian, Geísa, Cícero, Renata e Simone.

Aos colegas de mestrado do DEHA e de outros programas que compartilharam as conquistas e dificuldades em comum durante esse período, em especial, Vitória, Geísa, Andreza, Samylla, Diego, Herivanda e Virgínia.

Aos bolsistas Renata, Cícero, Virgínia, Wângela, Claudia, Paulo, Pedrinho, Paulinha e Vitor que contribuíram na execução experimental desse trabalho cada um em sua época.

Ao professor André Bezerra, coordenador do LABOSAN que proporcionou espaço físico e equipamentos para execução das análises laboratoriais, além de sua solicitude quando necessária.

Ao professor Marcelo Guimarães por oferecer o espaço físico para a realização da compostagem e aos funcionários Raul, David, Gabriel, Sr. Bezerra e Mauro que contribuíram com o trabalho braçal durante o experimento.

Ao meu orientador Ronaldo Stefanutti pela confiança, dedicação, disponibilidade, carinho, atenção e orientação nesse trabalho.

Aos professores Suetônio Mota e Raphael Tobias pela disponibilidade e contribuições na avaliação desse trabalho.

Aos Governos Estadual e Federal que, através dos órgãos de fomento CAPES, CNPq, FUNCAP e FINEP, concederam recursos e bolsas para desenvolvimento dessa

pesquisa. Ao longo da minha carreira acadêmica, auxílios com bolsas de pesquisa proporcionaram o alcance desse objetivo.

A todos que de alguma forma contribuíram com amizade, palavras de incentivo, companhia, orientação e inspiração o meu muito obrigada. Além do crescimento intelectual, tornei-me muito mais humana no sentido real da palavra.

“Ninguém se beneficia quando uma pessoa intelectual tem títulos e mais títulos, são interesses pessoais. Já a sabedoria, ela se expande, se demonstra criando laços entre o homem e a humanidade.”

Lúcia Helena Galvão

RESUMO

A compostagem doméstica desenvolvida neste trabalho tem como objetivo propor um método de simples operação, recipientes e materiais estruturantes adequados para tratar resíduos orgânicos domésticos de forma prática, de baixo custo e com produto final de qualidade. Escolheu-se testar 3 tipos de recipientes R1 (70L), R2 (45L) e R3 (135L), 3 diferentes materiais estruturantes (ME): grama (G), poda de árvore (P) e serragem (S). Foram montadas 36 composteiras, sendo realizadas combinações entre ME e recipientes em triplicata, além de incluir testes-controle (C) onde não foram utilizados ME. A adição de resíduos orgânicos oriundos de restaurante ocorreu diariamente em camadas, à medida que eram gerados. Foram executadas análises de amostras coletadas na região inferior dos recipientes e, após o encerramento do período da adição de resíduos, na região superior. Essa diferença de amostragem se deu por não ser realizada a mistura do material. Os parâmetros monitorados foram temperatura, umidade, pH (potencial hidrogeniônico), relação carbono/nitrogênio, condutividade elétrica (CE), índice de germinação (IG) e grau de polimerização (GP). Percebeu-se que o tipo de recipiente influenciou mais na temperatura desenvolvida. O R3 destacou-se por desenvolver temperaturas altas por maior período, entretanto o R1 atingiu temperaturas máximas altas e seu formato se sobressaiu devido à sua facilidade de operação. G se destacou em relação à temperatura e ao GP, registrando-se valores próximos ao ideal em menor tempo, porém o sistema apresentou menor IG devido à maior CE, além de apresentar indícios de anaerobiose, sem reversão. P e S foram semelhantes, porém S proporcionou valores ainda mais satisfatórios. C demonstrou características negativas na maioria dos fatores. Em termos de qualidade final, concluiu-se que foram necessários 300 dias, contados do início do processo para se atingir os melhores resultados. Quanto ao atendimento à IN MAPA nº 25 de 2009, o produto da região inferior dos recipientes já atendia aos valores normatizados em 90 dias. A respeito da redução final da massa de resíduos, atingiram-se valores de 83 a 98%, demonstrando a potencialidade do processo no que se refere ao tratamento de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: Resíduos Orgânicos. Compostagem Doméstica. Recipientes. Materiais Estruturantes.

ABSTRACT

The home composting developed in this paper aims to propose a simple operation method, bins and bulking agents (BA) appropriate for organic domestic waste in a practical way, resulting in a quality end product. In this experiment, we chose to test three kinds of bins: R1 (70L), R2 (45L) and R3 (135L), using as BA in process: grass (G), tree pruning (P) and sawdust (S). In all, 36 composters were mounted with combinations between BA and bins in triplicate, besides include control tests (C) which were used only household organic waste. The waste was daily added in layers, while they were generated. Samples analyzes were performed collecting in the lower region of the bins and, after that, in the upper region. This sampling was performed because the materials don't mixed up. The monitored parameters were temperature, moisture content, pH (hydrogen potential), carbon/nitrogen ratio, electrical conductivity (EC), germination index (GI) and degree of polymerization (DP). It was possible to see that the kind of bin influenced the developed temperature. R3 stood out for developing high temperatures for a longer period; however, R1 achieved high maximum temperatures and its format overlap due to its ease operation. G stood out in relation to temperature and GP, registering values close to ideal in less time, but the system showed lower GI due to higher EC and presents anaerobic evidence without reversal. P and S were similar, although S values gave more satisfactory results. C showed negative characteristics with the most part of analysed parameters. In terms of final quality, were necessary 300 days, starting from the beginning of the process, to achieve the best results. About IN MAPA n. 25 in 2009, the products generated in lower region of bins were in accordance to the regulation in 90 days. Regarding the waste mass final reduction, it reached values around 83-98%, demonstrating the process capability in relation to the organic waste treatment.

Key words: Organic Waste. Home Composting. Bins. Bulking Agents.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Variação de pH durante o processo de compostagem.....	27
Figura 2 - Ilustração do formato de pilha e leira.....	33
Figura 3 - Estruturas de compostagem em <i>bins</i>	33
Figura 4 - Tambor rotativo.....	34
Figura 5 - "Camas" agitadas.....	35
Figura 6 - Silo de compostagem.....	35
Figura 7 - Local de montagem das composteiras.....	38
Figura 8 - Detalhe dos recipientes utilizados na compostagem: (a) cesto de 45L (b) cesto de 70L (c) bag de 135L com zoom para os furos.....	39
Figura 9 - Esquema demonstrando as combinações entre resíduos estruturantes e recipientes utilizados formando as 36 composteiras do experimento.....	40
Figura 10 - Mistura dos resíduos orgânicos oriundos do restaurante universitário do Campus do Pici, utilizados para a alimentação das composteiras.....	42
Figura 11 - Pesagem do resíduo orgânico utilizado nas composteiras.....	42
Figura 12 - Coleta de amostra das composteiras instaladas na horta didática da UFC.....	44
Figura 13 - Recipiente utilizado para o teste com impedimento à proliferação de moscas.....	81

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Variação média de temperatura na região inferior do recipiente R1.....	49
Gráfico 2 - Variação média da temperatura na região inferior do recipiente R2.....	49
Gráfico 3 - Variação média da temperatura na região inferior do recipiente R3.....	50
Gráfico 4 - Percentual médio de umidade na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3.....	56
Gráfico 5 - Percentual médio de umidade na região superior dos recipientes R1, R2 e R3.....	57
Gráfico 6 - Variação média do pH na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3.....	58
Gráfico 7 - Variação média de pH na região superior dos recipientes R1, R2 e R3.....	59
Gráfico 8 - Variação média da relação C/N na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3.....	60
Gráfico 9 - Variação média da relação C/N na região superior dos recipientes R1, R2 e R3.....	61
Gráfico 10 - Variação média da condutividade elétrica na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3.....	62
Gráfico 11 - Variação média da condutividade elétrica na região superior dos recipientes R1, R2 e R3.....	64
Gráfico 12 - Índice de germinação na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3.....	65
Gráfico 13 - Índice de germinação na região superior dos recipientes R1, R2 e R3.....	67
Gráfico 14 - Grau de polimerização na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3.....	69
Gráfico 15 - Grau de polimerização na região superior dos recipientes R1, R2 e R3 referente aos tempos de 120 e 150 dias após o fim da alimentação.....	70
Gráfico 16 - Grau de polimerização na região superior dos recipientes R1, R2 e R3 referente ao tempo de 180 após o fim da alimentação.....	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Período de alimentação das composteiras.....	41
Tabela 2 - Caracterização dos resíduos utilizados na compostagem.....	43
Tabela 3 - Médias de temperatura da fase termofílica com diferenças significativas entre estruturantes.....	52
Tabela 4 - Médias de temperaturas da fase termofílica com diferenças significativas entre recipientes.....	53
Tabela 5 - Valores finais obtidos nos recipientes R1, R2 e R3 com o respectivo material estruturante.....	72
Tabela 6 - Valores das médias finais comparando-se os estruturantes.....	73
Tabela 7 - Médias de pH e umidade com diferenças significativas entre os recipientes.....	74
Tabela 8 - Valores médios de pH com diferença significativa na interação entre recipientes e estruturantes.....	74
Tabela 9 - Valores dos parâmetros obtidos em 90 dias de compostagem na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3 com o respectivo material estruturante.....	75
Tabela 10 - Valores médios de pH comparando-se os estruturantes.....	75
Tabela 11 - Massas iniciais, finais e redução total das massas inseridas nos recipientes R1, R2 e R3 com respectivos materiais estruturantes.....	76
Tabela 12 - Valores médios da redução total de massa comparando-se os estruturantes.....	77
Tabela 13 - Valores médios da redução total de massa comparando-se os recipientes.....	77
Tabela 14 - Período de preenchimento do volume dos recipientes.....	78

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE	Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais
C	Comida
C/N	Carbono/Nitrogênio
CCQC	California Compost Quality Council
CE	Condutividade elétrica
CR	Crescimento radicular
G	Grama
GP	Grau de polimerização
IG	Índice de germinação
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
MAPA	Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento
ME	Material estruturante
NRCS	Natural Resources Conservation Service
P	Poda
PGRS	Porcentagem de germinação de sementes relativa
pH	Potencial hidrogeniônico
PP	Polipropileno
PROSAB	Programa de Pesquisa em Saneamento Básico
R1	Recipiente de 70L
R2	Recipiente de 45L
R3	Recipiente de 135L
RSU	Resíduos sólidos urbanos
S	Serragem
UFC	Universidade Federal do Ceará

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	17
2	OBJETIVOS.....	19
2.1	Objetivo geral.....	19
2.2	Objetivos específicos.....	19
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
3.1	Problemática dos resíduos sólidos.....	20
3.2	Compostagem: conceito e histórico.....	22
3.3	Benefícios da compostagem.....	23
3.4	Etapas da compostagem.....	24
3.5	Fatores que influenciam a compostagem.....	25
3.5.1	<i>Temperatura</i>	25
3.5.2	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	27
3.5.3	<i>Relação Carbono/Nitrogênio</i>	28
3.5.4	<i>Umidade</i>	29
3.5.5	<i>Aeração</i>	30
3.6	Organismos envolvidos na compostagem.....	32
3.7	Métodos de compostagem.....	35
3.8	Compostagem doméstica.....	35
4	MATERIAL E MÉTODOS.....	37
4.1	Generalidades.....	37
4.2	Montagem e operação do experimento.....	37
4.3	Monitoramento do processo de compostagem.....	43
4.3.1	<i>Monitoramento da temperatura</i>	44
4.3.2	<i>Determinação do pH e condutividade elétrica</i>	45
4.3.3	<i>Determinação de umidade</i>	45
4.3.4	<i>Determinação de carbono orgânico, nitrogênio total e relação C/N</i>	45
4.3.5	<i>Índice de germinação (IG)</i>	46
4.3.6	<i>Determinação de ácidos húmicos e fúlvicos/grau de polimerização (GP)</i>	47
4.4	Tratamento estatístico.....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	Parâmetros de monitoramento da compostagem.....	49

5.1.1	<i>Temperatura</i>	49
5.1.2	<i>Umidade</i>	55
5.1.3	<i>Potencial hidrogeniônico (pH)</i>	57
5.2	Parâmetros indicadores de maturidade do composto	59
5.2.1	<i>Relação Carbono/Nitrogênio</i>	59
5.2.2	<i>Condutividade elétrica</i>	62
5.2.3	<i>Índice de germinação</i>	65
5.2.4	<i>Grau de polimerização</i>	68
5.3	Características finais do composto produzido	71
5.3.1	<i>pH, umidade, nitrogênio total, carbono orgânico, relação C/N, condutividade elétrica, índice de germinação e grau de polimerização</i>	71
5.3.2	<i>Balanço de massa total</i>	76
5.4	Operação do sistema de compostagem doméstica proposto	78
6	CONCLUSÃO	81
7	RECOMENDAÇÕES	83
	REFERÊNCIAS	84

1 INTRODUÇÃO

O problema da destinação dos resíduos sólidos no Brasil tem sido uma das maiores questões discutidas atualmente, apesar de pouca atuação política no que tange a cobrança aos municípios pelo atendimento à legislação vigente representada pela Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305 de 2010. O maior foco dado a tais discussões se refere à extinção dos lixões em todo o País sendo substituídos por aterros sanitários. A PNRS determinou essa extinção com prazo máximo para 2010, mas o mesmo foi prorrogado para 2018 pela Lei nº 13.043 de 2014.

Apesar dessa substituição dos lixões por aterros sanitários ser um grande avanço para a sociedade brasileira, a necessidade da implantação de meios alternativos de destinação adequada dos resíduos sólidos deve ganhar maior ênfase devido a questões tanto ambientais, quando se referem às emissões de gases poluentes, quanto àquelas relativas à disposição de grandes áreas e custo de operação dos aterros sanitários.

De acordo com a ABRELPE (2015), os resíduos sólidos urbanos, que correspondem aos domiciliares e de varrição pública, atingem uma produção anual de 79,9 milhões de toneladas no País, com cobertura de coleta de 90,8%, resultando em 7,3 milhões de toneladas de resíduos sem coleta. Esses números são ainda mais preocupantes quando se distingue áreas urbanas de rurais. Segundo o IPEA (2012), em 2009, enquanto 98,5% do espaço urbano era atendido pela coleta, apenas 32,7% do meio rural dispunha deste serviço.

A compostagem vem nesse contexto no intuito de proporcionar tratamento de resíduos sólidos orgânicos, gerar produto com valor agregado e baixo custo de operação do sistema, aumentar a vida útil de aterros, atingir áreas de baixa densidade populacional, reduzir vetores de doenças resultantes da falta de saneamento, proporcionar melhorias na qualidade de alimentação, elevar a consciência ambiental, entre outros benefícios.

Esse tratamento constitui-se na decomposição aeróbia de resíduos orgânicos por meio de condições controladas e monitoramento de fatores físicos, físico-químicos e biológicos necessários para obtenção da qualidade de um produto final que pode ser rico em húmus utilizado como condicionador de solo ou até como fertilizantes orgânico (MASSUKADO e SCHALCH, 2010).

A compostagem doméstica é uma vertente indicada para soluções individuais que se baseia na geração da própria residência. Para Illmer e Schinner (1997), ela difere do processo realizado em grande porte, pois as fases de temperatura, o decréscimo da relação entre carbono e nitrogênio, teores de matéria orgânica e propriedades semelhantes não

acompanham cursos de desenvolvimento típicos. Ao invés disso, tem-se uma decomposição mais lenta, propriedades físicas e químicas que se diferenciam quando há adição contínua de material fresco, por isso a necessidade de estudos desses sistemas.

Existe uma gama de materiais dentre guias, *folders* e trabalhos científicos que orientam os usuários do sistema em sua utilização, entretanto muitas vezes o processo não é prático e não acompanha a geração diária dos resíduos, causando repulsão, provocando a desistência daqueles que adotam a ideia.

O presente trabalho apresenta a proposta de um método eficaz, que dispensa o trabalho braçal do revolvimento, possui baixo custo de instalação e operação, podendo colaborar com a redução de material orgânico destinado a aterros sanitários. Desse modo, objetiva-se testar recipientes e materiais estruturantes que melhor se adéquem ao método proposto realizando o monitoramento do material em compostagem por meio de análises físicas e químicas para se medir a qualidade do produto final gerado.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Analisar recipientes e materiais estruturantes em metodologia simplificada e de baixo custo de compostagem doméstica, usada como método de tratamento de resíduos orgânicos domiciliares.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar o comportamento da poda de árvore, serragem e grama como agentes estruturantes na compostagem doméstica com resíduos orgânicos gerados em um Restaurante Universitário;
- Testar 3 tipos de recipientes com volumes diferentes, de baixo custo, no desenvolvimento da compostagem doméstica;
- Monitor o processo de tratamento e analisar quantidade de material produzido através de análises físicas e químicas;
- Escolher o material estruturante/ recipiente que melhor se adéqua no âmbito da compostagem doméstica;
- Verificar indícios da presença de pragas domésticas invasoras do processo de tratamento dos resíduos e buscar soluções em caso positivo;
- Propor método de operação simplificado para composteiras domésticas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Problemática dos resíduos sólidos

Atualmente, a geração de grandes quantidades de resíduos sólidos representa um grave problema ambiental que requer uma gestão adequada, de modo a minimizar os impactos ambientais negativos ao nível da qualidade do ar, dos recursos hídricos e do solo (BELO, 2011).

A Política Nacional de Resíduos Sólidos, instituída em 2010 pela Lei Federal 12.305, define rejeitos e resíduos sólidos como:

XV - rejeitos: resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada;

XVI - resíduos sólidos: material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível (BRASIL, 2010).

Essa lei também classifica os resíduos sólidos urbanos como aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas juntamente com os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas; e outros serviços de limpeza urbana.

A eliminação de resíduos sólidos urbanos (RSU) é uma situação global que continua a crescer com o desenvolvimento das nações industrializadas e do crescimento da população. A destinação segura e confiável de RSU tornou-se um componente importante da gestão integrada de resíduos sólidos urbanos (SNYMAN; VORSTER, 2011).

A geração de RSU no Brasil é expressiva. Segundo a ABRELPE (2015) tem-se uma geração anual de 79,9 milhões de toneladas. A quantidade desses resíduos gerada vem aumentando progressivamente. Isso pode ser associado, entre outros fatores, ao aumento do grau de industrialização, à alteração qualitativa da composição dos RSU (com a incorporação de novos produtos e a intensificação na produção de descartáveis) e à falta de política específica para o setor que vise estimular a minimização na geração, o reaproveitamento e a reciclagem dos resíduos (PARANÁ, 2012). Apesar de já existir a Política Nacional de Resíduos Sólidos, como foi citada, a sua concretização torna-se fundamental.

A disposição dos RSU sem nenhum controle, formando os lixões, possibilita uma série de transtornos como a contaminação do solo, do ar, das águas superficiais e

subterrâneas, bem como propicia a criação de focos de proliferação de vetores transmissores de uma série de doenças e de micro-organismos patogênicos, causando riscos à saúde pública (PARANÁ, 2013).

De acordo Snyman e Vorster (2011), o aterro sanitário é a forma de disposição mais barata para se destinar essa classe de resíduo. Entretanto, devido à crescente urbanização, as áreas adequadas para a disposição final tornam-se cada vez menos disponíveis.

Para dispor resíduos sólidos no solo, deve-se levar em consideração uma série de fatores sobre o local, tais como: a topografia, as características do solo, os corpos d'água e a distância do centro gerador. Devido a esses requisitos e aos impactos que a área receberá, não é simples determiná-la e encontrá-la (SOUSA, 2012). Além disso, outro problema referente aos aterros sanitários é a emissão dos gases do efeito estufa, que devem ser captados para serem tratados ou serem destinados ao aproveitamento energético e isso nem sempre está ao alcance dos governos, pois requer investimento em pesquisas, tecnologias e articulação política.

O desenvolvimento de métodos de tratamento de RSU torna-se necessário para se reduzir a quantidade de resíduos que é encaminhada aos aterros sanitários, a fim de reduzir os custos de infraestrutura, áreas para disposição dos resíduos e emissão de gases, quando não há meios viáveis e disponíveis para o aproveitamento energético.

O aquecimento global é um dos mais sérios desafios para a sociedade de hoje e intervenção drástica é necessária para reduzir as emissões dos gases do efeito estufa, pesquisando novas tecnologias e propondo soluções práticas para a prevenção. A crescente sensibilização para o ambiente tem contribuído para preocupações sobre estilos de vida atuais e a eliminação indiscriminada de resíduos (SNYMAN; VORSTER, 2011).

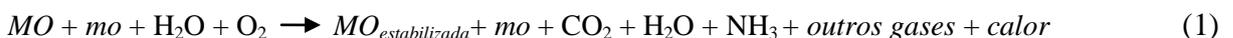
3.2 Compostagem: conceito e histórico

Brewer *et al.* (2013) definem a compostagem como um processo controlado com o intuito de se promover a estabilização da matéria orgânica, transformando rejeitos orgânicos em um valioso produto para correção do solo. De acordo com os autores, a produção de composto a partir de resíduos sólidos constitui uma oportunidade para retornar nutrientes e matéria orgânica ao solo, uma prática comprovada para a melhoria da qualidade do mesmo.

Esse processo de estabilização da matéria orgânica, realizado por micro-organismos aeróbios, ocorre naturalmente sem a interferência humana, entretanto pode-se planejar, montar e gerenciar sistemas capazes de acelerar e torná-lo mais eficiente. Um processo de compostagem bem gerido pode destruir sementes de ervas daninhas, patógenos de plantas e de humanos presentes nos resíduos sólidos utilizados (NRCS, 2010).

Segundo Bruni (2005), a produção do composto sendo realizada atendendo as técnicas e condições de compostagem, possuirá excelentes qualidades nutricionais, físicas, químicas e biológicas, importantes para a preservação, adubação e manutenção dos solos, bem como para a recuperação de áreas degradadas.

Sobre os produtos da compostagem, Belo (2011) afirmou que pela ação dos micro-organismos (mo) na decomposição da matéria orgânica (MO), forma-se um composto húmico estável, bem como vapor de água, dióxido de carbono, amônia, entre outros gases. O processo de compostagem é globalmente uma reação exotérmica, que pode ser traduzida pela Equação 1:



A produção de composto a partir da decomposição de resíduos orgânicos já vem sendo feita há cerca de 4500 anos atrás. Um dos primeiros registros da aplicação desta técnica na agricultura data do período do Império de Akkad, na Mesopotâmia. Em períodos seguintes, várias civilizações, incluindo chineses, egípcios, gregos e romanos, amontoavam em pilhas a matéria vegetal, estrume, restos de comida e outros tipos de resíduos orgânicos deixando-os se decomporem e estabilizarem até o momento em que poderiam ser inseridos no solo (DOS SANTOS, 2007; OLIVEIRA, 2010).

Entretanto, a partir da II Guerra Mundial, como consequência da produção bélica, os fertilizantes foram desenvolvidos aumentando sua crescente utilização devido aos

benefícios da produção agrícola em larga escala. Foi a partir desse período que os métodos tradicionais de fertilização caíram em desuso (OLIVEIRA, 2010).

De acordo com Belo (2011), no final da década de 60, o processo de compostagem de resíduos orgânicos urbanos era um método bem estabelecido e considerado atrativo para estabilizar a fração orgânica desses resíduos. Após esta data, este processo perdeu importância como método de corretivo de solo, uma vez que a qualidade dos resíduos se tornou inadequada para o processo de compostagem, deixando de haver mercado para o produto final. Já a partir de 1990 até a atualidade, a produção de composto voltou a ganhar um novo interesse devido ao seu baixo impacto ambiental e aos novos desenvolvimentos da tecnologia.

3.3 Benefícios da compostagem

Segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA), entre os principais benefícios da compostagem, são incluídos a redução da necessidade de fertilizantes químicos e água, emissão de metano e produção de chorume em aterros sanitários, obtenção de rendimentos agrícolas mais elevados e extensão da vida útil do aterro sanitário (USEPA, 2016).

Para Adelunke *et al.* (2010), o aumento de emissões de gases do efeito estufa aliado à crescente demanda por recuperação de recursos a partir de materiais de resíduos sólidos estão entre os vários fatores que contribuem para a aceitação global de compostagem. Além disso, custos potencialmente mais baixos e uso benéfico dos produtos finais fazem a compostagem ainda mais atraente para os países em desenvolvimento.

Entre os benefícios desses produtos finais, Sartori *et al.* (2012) e Risse; Faucette (2012) citam a regeneração de solos pobres pela adição de matéria orgânica e húmus, fatores que aumentam a capacidade de troca catiônica; e a supressão de certas doenças de plantas, parasitas e sementes de ervas daninhas, devido ao aumento da população de minhocas, insetos e micro-organismos desejáveis que favorecem o equilíbrio entre as populações e a planta hospedeira. Incluem-se também o aumento do tamanho de algumas culturas, comprimento e concentração de raízes, teor de nutrientes do solo, capacidade de retenção de água de solos arenosos e infiltração de água de solos argilosos.

Philippi Júnior (2005) acrescenta que dentre as vantagens do uso do composto orgânico, tem-se a melhoria das propriedades biológicas do solo e o aumento da

permeabilidade favorecendo o estabelecimento de minhocas e besouros com a função de fornecer de macro e micronutrientes.

O cultivo de plantas com adubo orgânico requer menos uso de fertilizantes, restaura a estrutura do solo após a redução dos micro-organismos nativos pelo uso de fertilizantes químicos, reduz a necessidade de irrigação e fornece uma oportunidade de renda adicional - compostos de alta qualidade possuem valor considerável em mercados bem estabelecidos (RISSE e FAUCETTE, 2012).

Sartori *et al.* (2012) incluem a economia de tratamento de água residuária da produção agrícola entre os benefícios do uso do composto, devido a sua composição ser de solubilização lenta e por ser absorvido pelas plantas não sendo carregado para o lençol freático, evitando sua contaminação.

Oberlin e Szántó (2011) salientam que os processos de compostagem podem ser ajustados para uma grande variedade de matérias primas orgânicas, tornando-se potencialmente aplicáveis a diferentes escalas operacionais. Podem reduzir significativamente o volume de resíduos: cerca de 50 a 60%. Além disso, esses processos devidamente executados apresentam taxas de remoção de patógenos suficientes para permitir que o composto possa ser considerado seguro para aplicação em culturas alimentares.

3.4 Etapas da compostagem

Ao entrar em processo de compostagem, a massa encontra-se à temperatura ambiente, ligeiramente ácida. Os monossacarídeos, amido e lipídios, começam a ser utilizados pelos micro-organismos. O pH decresce devido à formação de ácidos orgânicos resultantes da degradação dos compostos citados. Após essa fase, ocorre o aumento do pH haja vista que os micro-organismos iniciaram a degradação das proteínas, resultando numa liberação de amônio. Após serem consumidas as fontes de carbono citadas inicialmente, os compostos mais resistentes como a celulose e hemicelulose são degradados e parcialmente transformados em húmus (FONSECA, 2012).

Segundo utilizados (NRCS, 2010), todo esse processo pode ser dividido em dois períodos principais: decomposição ativa e a cura. A decomposição ativa é o período em que a atividade microbiana encontra-se vigorosa, o material prontamente degradável é decomposto, bem como alguns dos materiais de deterioração mais resistente. A cura é caracterizada por um nível mais baixo de atividade microbiana e ocorre a decomposição adicional dos produtos da

fase de decomposição ativa. Quando a cura atinge a sua fase final, o composto é dito estabilizado.

A partir de uma classificação mais específica, Kiehl (1998) divide a compostagem em três fases. A primeira, fitotóxica, caracteriza-se pela formação de ácidos orgânicos e toxinas de curta duração, desprendimento de calor, vapor d'água e CO₂. Nessa fase, as temperaturas variam de 45°C a 70°C e inicia-se 48 horas após a montagem da leira, com duração de cerca de 15 dias.

A semicura é a segunda fase. Tem duração entre 60 a 90 dias. Nessa etapa, não há toxicidade às raízes e sementes. A última fase é chamada por Kiehl (1998) de maturação. Segundo o autor, nessa fase verifica-se o estado final da degradação da matéria orgânica, na qual o composto atinge o auge de suas propriedades benéficas ao solo e às plantas.

De acordo com Cooperband (2002), o período de maturação é crítico, entretanto, muitas vezes os operadores o negligenciam quando o processo é lento. E isso se deve a alguns problemas de operação como pouca oxigenação e falta ou excesso de umidade.

Quando a maturação é interrompida, formam-se compostos imaturos podendo conter níveis elevados de ácidos orgânicos, relação C/N alta, valores de pH extremos ou alto teor de sal, fatores que podem danificar ou matar as plantas quando aplicado à agricultura. Não há nenhum tempo claramente definido para essa fase. Em práticas comuns de operações comerciais de compostagem, o período varia de um a quatro meses (COOPERBAND, 2002).

3.5 Fatores que influenciam a compostagem

Por ser um processo biológico, a compostagem é afetada pelos mesmos fatores que limitam a atividade microbiana, dentre eles estão: umidade, oxidação, temperatura, pH, tamanho da partícula e relação carbono/nitrogênio DENARDIN; WOLF; DE VASCONCELLOS, 2010). Cordeiro (2010) complementa afirmando que esses fatores determinam a existência de uma população diversificada de micro-organismos necessários para completar a degradação da matéria orgânica.

3.5.1 *Temperatura*

Segundo Li, Zhang e Pang (2008), a temperatura é o parâmetro considerado mais eficiente do processo de compostagem, pois está diretamente relacionada com a atividade metabólica de micro-organismos.

De acordo com as diferentes faixas de temperatura observadas durante o processo de compostagem, pode-se dividi-las em três estágios: mesofílico, termofílico e maturação final.

Logo após a montagem de sistema de compostagem, a temperatura encontra-se próxima à do ambiente. À medida que organismos mesofílicos multiplicam-se, eles promovem uma elevação rápida da temperatura, isto ocorre em geral no segundo dia, desde que o sistema encontre-se adequado ao desenvolvimento de micro-organismos, tratando-se de umidade, aeração e relação carbono/nitrogênio. Este aumento ocorre, em geral, no segundo dia do início do processo, desde que haja um meio adequado ao desenvolvimento dos micro-organismos (SANES *et al.*, 2011). Para Denardin, Wolf e De Vasconcellos (2010) a fase mesofílica ocorre em temperaturas entre 15°C e 45°C.

Nogueira e Costa (2011) identificam a fase termofílica quando a temperatura se eleva, ultrapassando os 45°C (50° a 70°C), passando a degradação da matéria orgânica a ser efetuada pelos organismos termofílicos, que se multiplicam quando a temperatura atinge a faixa de 55° a 60°C.

As altas temperaturas no processo de compostagem são importantes pelo fato de eliminarem organismos patogênicos, os quais são pouco resistentes às temperaturas próximas de 50 a 60°C por certo período de tempo (KIEHL, 1985). Entretanto, quando as temperaturas sobem a níveis bastante elevados, acima de 70°C, a atividade microbiana daqueles micro-organismos importantes no processo de decomposição da matéria orgânica começa a se reduzir devido à depleção de matéria orgânica facilmente degradável e de oxigênio. Sabe-se que micro-organismos degradam o material solúvel por absorção através de suas paredes celulares ou pelo uso de enzimas extracelulares, quando a temperatura se torna alta, pode ocorrer a desnaturação das enzimas impedindo sua nutrição e, conseqüentemente, a eficiência do sistema diminui (NEH, 2010).

A manutenção de temperaturas elevadas por períodos muito prolongados (superiores a sete dias) terá como conseqüência uma mineralização excessiva da matéria orgânica e poderá eliminar, da mistura a compostar, micro-organismos úteis para as fases seguintes do processo (MORAIS *et al.*, 2001 *apud* FONSECA, 2012).

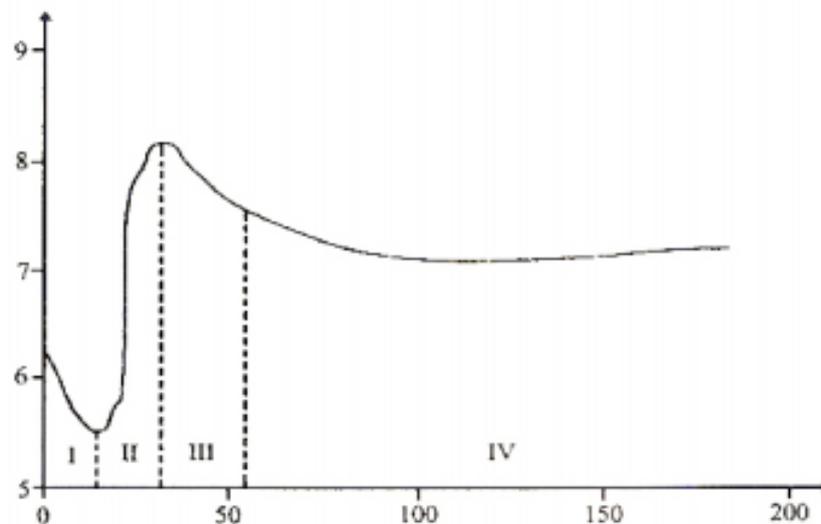
Após o arrefecimento do compostado as bactérias mesófilas e os actinomicetes dominam novamente, iniciando-se a fase de maturação. Segundo Fonseca (2012), é caracterizada por baixas temperaturas.

3.5.2 *Potencial hidrogeniônico (pH)*

Maragno, Trombin e Viana (2007) descrevem que inicialmente ocorre a formação de ácidos orgânicos tornando o meio mais ácido do que o da própria matéria prima original. Entretanto, esses ácidos orgânicos e os traços de ácidos minerais que se formam, reagem com bases liberadas da matéria orgânica, gerando compostos de reação alcalina. Ácidos húmicos também são formados durante o processo, os quais reagem com os elementos químicos básicos, formando humatos alcalinos. Como consequência, o pH do composto se eleva à medida que o processo se desenvolve, passando pelo pH 7 (neutro) e alcançando pH superior a 8 (básico), enquanto contiver nitrogênio amoniacal.

A Figura 1 ilustra a variação do pH durante o processo de compostagem, dividindo-o em 4 fases distintas.

Figura 1- Variação de pH durante o processo de compostagem



Fonte: Mustin (1987) .

Nas fases I e II, como descritas anteriormente, ocorre redução seguida de aumento progressivo do pH. Na fase III, inicia-se a sua estabilização com diminuição da amônia por volatilização ou atuação de bactérias nitrificantes. Já a fase IV, caracteriza-se pela tendência à neutralização. Isso se deve às reações de maturação e ao poder tampão do húmus (MUSTIN, 1987).

3.5.3 *Relação Carbono/Nitrogênio*

Os elementos carbono e nitrogênio são fundamentais para desempenhar as atividades metabólicas das células microbianas. O carbono representa cerca de 50% dos elementos constituintes dessas células e o nitrogênio cerca de 2 a 8% (CORDEIRO, 2010). De acordo com Bertoldi *et al.* (1983), a relação C/N dos micro-organismos é de 10:1.

Entretanto, essa relação baixa pode promover emissões de amônia, haja vista que o excesso desse elemento não pode ser assimilado pelos micro-organismos, ocorrendo sua liberação. Portanto, uma das vantagens do uso de materiais ricos em carbono é de se aumentar a relação C/N ao iniciar o processo de compostagem, diminuindo-se as emissões de amônia (PROSAB, 1999; McLAURIN e WADE, 2012; LI e LI, 2015). Vale ressaltar que a liberação de amônia pode ocorrer não somente pela baixa relação C/N. Exemplos de outros fatores que podem ser citados é a biodegradabilidade do carbono presente nos materiais adicionados ao processo e a adaptação da flora a esses substratos (PAILLAT *et al.* 2005).

Uma relação C/N alta pode aumentar o tempo de compostagem, tendo em vista que faltará nitrogênio para o metabolismo microbiano (LIMA, 2015). De acordo com Valente *et al.* (2009), o tempo para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos, está diretamente relacionado à relação C/N inicial dos materiais utilizados como substratos.

Bertoldi *et al.* (1982) afirmam que a relação de 25:1 é o valor ideal para se atender as necessidades dos micro-organismos, não havendo perdas de amônia, resultando em um tempo razoável de compostagem. Outros autores defendem a relação de 30:1 como a mais adequada (PROSAB, 1999; McLAURIN e WADE, 2012; RISSE e FAUCETTE, 2012). Existe um intervalo de compatibilidade (susceptível de ser utilizado) entre 20:1 e 40:1 (VALLINI, 1995 *apud* CORDEIRO 2010; FAO, 2005). Valente *et al.* (2009) afirma que a relação C/N ideal não deve ser considerada um valor absoluto, já que é dependente da qualidade de carbono.

No final do processo, a relação C/N do húmus estabilizado, pronto para ser utilizado nas culturas, deve estar entre 15 e 20. O produto final com valores de C/N superiores a 20 pode causar impactos negativos para as plantas (SILVA *et al.*, 2013). FAO (2005) restringe ainda mais a relação final para valores entre 10 e 15.

3.5.4 *Umidade*

A estrutura dos micro-organismos que atuam na compostagem é formada por aproximadamente 90% de água, por isso o teor de umidade deve ser controlado durante o processo (PEREIRA; GONÇALVES, 2011). Além disso, a água presente transporta os nutrientes dissolvidos que são necessários para as atividades fisiológicas e metabólicas desses micro-organismos (LI *et al.* 2013) e influencia grandemente as alterações nas propriedades físicas e químicas dos resíduos durante a degradação da matéria orgânica (IQBAL *et al.* 2010).

O teor de umidade excessiva de resíduos sólidos urbanos resulta na formação significativa de lixiviados durante a compostagem e o colapso da matriz levando à redução da porosidade e disponibilidade de oxigênio. Se a distribuição de oxigênio não é homogênea, provoca-se acúmulo de CO₂, favorecendo a anaerobiose (IQBAL *et al.* 2010).

O composto deve ter um teor de água de 40 a 65%. Se a massa em compostagem estiver muito seca, o processo é mais lento, enquanto acima de 65% de umidade, condições anaeróbicas predominam. Na prática, recomenda-se iniciar o trabalho com um teor de água de 50 a 60%, atingindo no final do processo uma umidade de 30% (FAO, 2005). É preciso ter cuidado para que a umidade, durante o processo, não baixe de 40%, o que restringe a atividade microbiana de degradação dos resíduos orgânicos (FONSECA, 2001).

A umidade tem juntamente com a aeração, o pH, a relação C/N, a granulometria do material e as dimensões das leiras, um efeito direto sobre o desenvolvimento de micro-organismos e indireto sobre a temperatura do processo de compostagem, sendo que a considerada ótima varia em função do tipo de material a ser compostado e do material celulósico utilizado (VALENTE *et al.*, 2009).

3.5.5 *Aeração*

A eficiência de um sistema de compostagem aeróbia está intimamente relacionada com a vazão de aeração. O fluxo de arejamento afeta a atividade microbiana, a taxa de degradação de substrato e a variação da temperatura no processo de compostagem. Pouca aeração pode levar a condições anaeróbias. No entanto, o excesso de arejamento pode levar a arrefecimento excessivo, evitando as condições requeridas para taxas termofílicas ótimas de decomposição. Entre estes dois extremos existe uma condição de arejamento ótima, que

fornece oxigênio suficiente para a decomposição aeróbica, enquanto se mantém a temperatura na faixa termofílica (AHN *et al.*, 2007).

Quando a compostagem é anaeróbia, o tempo de degradação é maior do que na presença de oxigênio, além disso, produz-se chorume e odor. Portanto, o processo aeróbio é a forma mais eficiente de decomposição. Se as quantidades adequadas de alimentos (de carbono), nutrientes, água e ar são fornecidas, os organismos aeróbicos irão dominar o sistema em compostagem e decompor materiais orgânicos de forma mais eficiente (COOPERBAND, 2002).

A compostagem anaeróbia não é recomendada em um ambiente residencial por causa do problema de odor, a menos que o processo seja conduzido num sistema totalmente fechado. Misturando a pilha, uma vez ou duas vezes por mês fornece o oxigênio necessário e acelera significativamente o processo (McLAURIN, 2012).

A granulometria do material que irá entrar no processo de compostagem deve variar de 1 a 5 cm. As partículas de tamanhos menores podem prejudicar a aeração, já as maiores diminuem a área de contato dos micro-organismos, prejudicando a retenção de calor e tornando-se o processo de compostagem mais lento. A porosidade de aeração ideal fica entre 40 e 60%, sendo a ótima igual a 50% (HOLANDA, 2013).

De acordo com Valente *et al.* (2009), misturar vários tipos de resíduos orgânicos parece ser a maneira mais adequada para tentar corrigir o tamanho das partículas, favorecendo a homogeneização da massa em compostagem, obtendo assim uma melhor porosidade, o que acarretará uma menor compactação devido à maior capacidade de aeração.

3.6 Organismos envolvidos na compostagem

De acordo com Adekunle *et al.*, (2011), as bactérias predominam entre os organismos decompositores, por isso são responsáveis pela maior parte de calor gerado no processo. Elas são o grupo mais diverso de micro-organismos e utilizam uma gama de enzimas para quebrar quimicamente uma variedade de materiais orgânicos. No início do processo de compostagem (0-40° C), as bactérias mesófilas predominam e a maioria das formas encontradas são as mesmas que predominam na superfície do solo.

Nesta fase, ocorre também a atuação de fungos que se alimentam da matéria orgânica produzida pelas bactérias e outros organismos, sendo esta sua fonte de energia. Os fungos produzem ácidos que degradam as proteínas, amidos e açúcares. Com o aumento da temperatura, devido à liberação de calor, ocorre a morte dos mesófilos, havendo a

multiplicação de actinomicetos; bactérias e fungos termófilos. Nesta fase, as bactérias degradam os lipídios e frações de hemicelulose, enquanto que a celulose e a lignina são decompostas pelos actinomicetos e fungos (KIEHL, 1985; RIFFALDI *et al.*, 1986; PEIXOTO, 1988; TURNER, 2002; PEREIRA NETO, 2007 *apud* VALENTE *et al.*, 2009).

Actinomicetos são bactérias gram-positivas, a maioria é aeróbia, mas existem anaeróbios e anaeróbios facultativos. O crescimento celular ramificado (micélio), juntamente com os métodos especializados de esporulação, relacionam esses germes com os fungos; deste modo, os membros da ordem *Actinomycetales* são designados como bactérias semelhantes aos fungos (PELCZAR, 1980).

Esses micro-organismos se destacam pela habilidade de degradar moléculas complexas e recalcitrantes como celulose, lignina e lignocelulose. Na maioria dos estudos com compostagem, têm-se mostrado predominância de *Streptomyces* sp., *Micromonospora* sp., *Thermoactinomyces* sp., *Thermomonospora* sp. e *Actinobifida* sp. (OLIVEIRA, 2003).

Segundo Kennedy (1999) *apud* Oliveira (2003), eles produzem compostos químicos como tiamina, riboflavina, flavoproteínas, vitamina B12, porfirinas, compostos constituídos por ferro e coenzimas que podem inibir promover o crescimento de outros organismos.

Micro-organismos saprófitas podem ser considerados a microflora autóctone de sistemas de compostagem. Quando os resíduos sólidos utilizados possuem agentes patógenos, esses representam uma fração numericamente insignificante da população microbiana total. A competição se dá quando a comunidade é heterogênea e a densidade populacional é alta, em relação à oferta de um recurso de limitação do meio ambiente. A população autóctone tem uma vantagem competitiva distinta sobre a outra população, pois o material de compostagem não é natural para o ambiente de agentes patógenos, por conseguinte, a tendência é a eliminação do rival menos apto, resultando na morte desses (BERTOLD *et al.*, 1982).

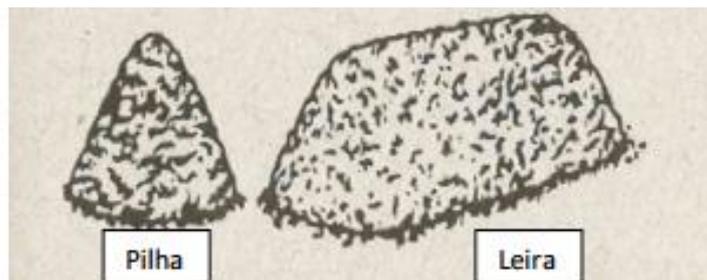
Os macro-organismos começam a se dividir quando o sistema esfria a níveis adequados. Nesse grupo, incluem protozoários, rotíferos e nematelmintos. Eles consomem a biomassa de bactérias e fungos e ajudam a degradar lignina e pectina (NRCS, 2010). Existem ainda as formigas, centopéias, besouros, aranhas, que vivem entre as folhas, nas árvores, no solo. Esses organismos são responsáveis pela transformação dos polímeros, compostos mais resistentes, em partículas menores, e ainda seus excrementos servem para o desenvolvimento de outros organismos (USP, 2012).

3.7 Métodos de compostagem

Em geral os métodos de compostagem se classificam quanto à forma de aeração e em relação ao seu formato. A aeração pode ser natural ou forçada. A natural ocorre pelo revolvimento do material, quando necessário. Esse revolvimento pode ser manual com o auxílio de pás ou por meio de equipamentos como tratores, em caso de sistemas de grande porte. A aeração forçada ocorre quando há mecanismos de injeção de ar.

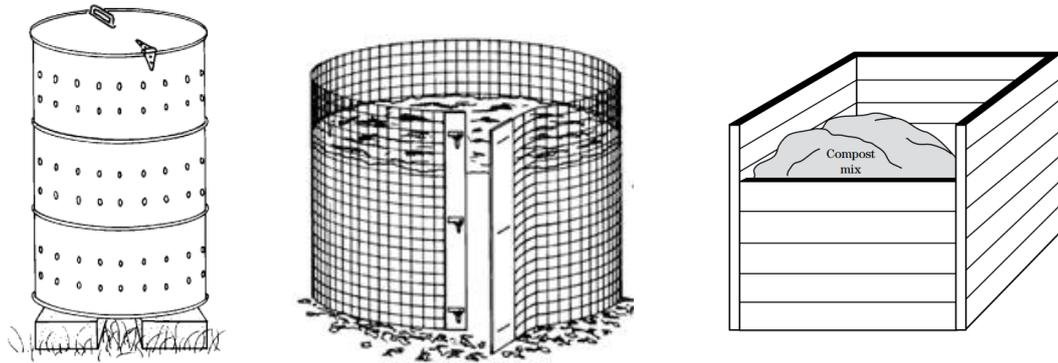
Em relação aos formatos, existem estruturas chamadas pilhas e leiras. As pilhas são montes de forma cônica e as leiras montes prismáticos. O critério de escolha entre estas duas formas de disposição relaciona-se à quantidade de materiais a serem compostados, em pequenas quantidades usam-se as pilhas, já para grandes quantidades usam-se as leiras (PARANÁ, 2011). A Figura 2 ilustra os formatos citados.

Figura 2- Ilustração do formato de pilha e leira



Fonte: Pereira Neto (2007).

A compostagem também pode ser realizada *in-vessels*, sendo esses sistemas caracterizados como sistemas cercados ou enclausurados. Como exemplos, existem os *Bins*, que são caixas de madeira, estruturas envoltas por malha de arame, barris ou tambores; são utilizados para pequenas quantidades de resíduos de alimentos (RISSE; FAUCETTE, 2012). Na Figura 3, são apresentados os formatos em *Bins*.

Figura 3- Estruturas de compostagem em *bins*

Fonte: McLaurin (2012); NRCS (2010).

Entre esses sistemas fechados (*In-vessel*), há aqueles usados para compostagem em larga escala utilizando-se tambores rotativos, silos, “camas” agitadas entre outros. Esses sistemas são de alto custo de capital, operação e manutenção devido à automatização necessária.

De acordo com NRCS (2010), o tambor rotativo é um cilindro que gira em torno de um eixo. A aeração é fornecida através da extremidade de descarga do tambor ou outras aberturas e é incorporada ao material à medida que cai. O ar move-se geralmente na direção oposta ao material, portanto o composto perto da descarga é arrefecido por ar fresco e o material recentemente carregado recebe o ar mais quente para ajudar a incentivar o crescimento bacteriano. Quando material é descarregado, geralmente é levado para maturação em pilhas aeradas. A Figura 4 ilustra o tambor rotativo descrito.

Figura 4 - Tambor rotativo



Fonte: NRCS (2010).

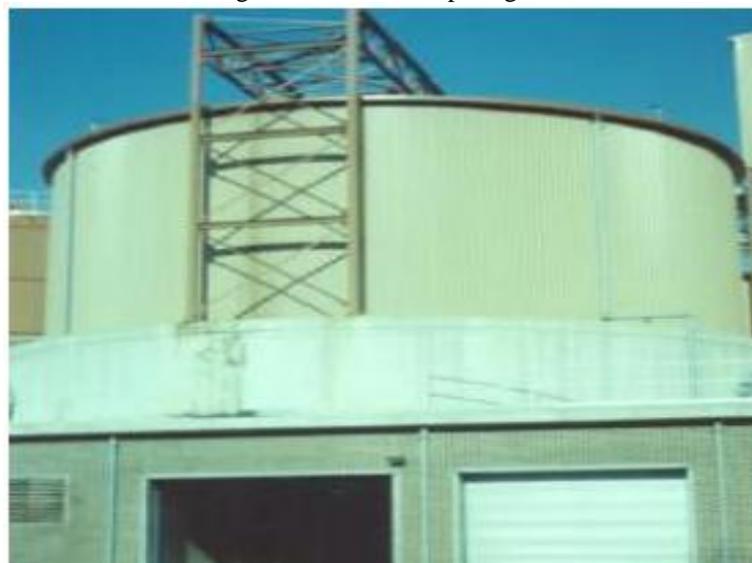
As “camas” agitadas são estruturas de concreto em formato de canais paralelos de comprimento, cobertas por um telhado e possuem uma máquina que fornece a mistura do material. O tempo de compostagem é de 2 a 4 semanas, entretanto é necessário ainda um período de cura. O método do silo é um método de compostagem rápida que exige uma fase de cura prolongada o material composto é carregado para o silo no topo e removidos a partir do fundo. O arejamento é fornecido através da base do silo de modo que o ar é forçado para cima através do material de compostagem. O período de compostagem anterior à maturação é de 14 dias. Após esse tempo, o composto é removido e transferido a outro silo aerado (NRCS, 2010). As Figuras 5 e 6 apresentam exemplos de “cama” agitada e silo.

Figura 5- "Camas" agitadas



Fonte: Valentini (2011).

Figura 6- Silo de compostagem



Fonte: Valentini (2011).

3.8 Compostagem doméstica

Segundo Costa (2014), a compostagem realizada em casa, não é uma prática comum atualmente, mesmo sendo uma proposta antiga. Entretanto, ela continua sendo uma das formas mais práticas e pouco dispendiosas de se destinar resíduos produzidos nas residências, bem como escolas, cantinas, entre outros afins, evitando que os mesmos sejam depositados num aterro ou sejam encaminhados para centrais de compostagem nas quais o custo associado à sua valorização é bastante elevado.

A compostagem doméstica não deve ser vista como uma opção alternativa de tratamento para todos os resíduos orgânicos em uma região, mas sim como uma solução complementar que possa colaborar com a redução do envio destes resíduos recicláveis para os aterros sanitários. O potencial de promover seu desenvolvimento é fornecer uma abordagem flexível e de baixo custo à gestão de resíduos e facilitar a reciclagem sustentável para proprietários de casas individuais (ANDERSEN *et al.*, 2012). Para Martínez-Blanco *et al.* (2010), a compostagem doméstica é uma alternativa interessante, especialmente em áreas com população de baixa densidade, haja vista que, em vários casos, a coleta de lixo para a destinação do lixo municipal é dispendiosa para as prefeituras.

Outra vantagem de se realizar a compostagem caseira é o aproveitamento do adubo produzido na implantação de hortas nas próprias residências. Segundo Siviero *et al.* (2011), o cultivo de espécies vegetais em quintais auxilia na complementação da dieta familiar, gerando maior segurança alimentar, pois oferece alimentos seguros e de fácil acesso em quantidade e qualidade.

Esses alimentos cultivados no interior das residências resultam numa redução de gastos com alimentação, haja vista que as famílias pobres urbanas podem gastar de 60 a 80% de sua renda com comida. Com esta oportunidade, a economia realizada pode ser vantajosa no sentido de se gastar com outras despesas também fundamentais (SIVIERO *et al.* 2011).

A compostagem pode ser praticada na maioria dos quintais em recipientes manufaturados ou feitos em casa ou simplesmente em uma pilha aberta. Entretanto, a utilização de *Bins* é uma opção de tratamento mais adequado para compostagem doméstica porque ajuda o sistema a reter o calor e umidade (KARNCHANAWONG; SURIYANON, 2011).

Segundo Karnchanawong e Suriyanon (2011), os critérios técnicos e científicos relevantes para compostagem em *Bins* têm sido pouco estudados. Sugere-se normalmente que se acumule os materiais orgânicos para serem inseridos em grande quantidade no sistema de

compostagem, no entanto, armazenar os restos de alimentos em domicílios em localidades de clima quente pode gerar fatores desagradáveis como geração de chorume e odor. Faltam ainda informações completas sobre o desempenho da compostagem no caso de alimentação diária de resíduos.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Generalidades

O experimento se caracterizou pelo teste realizado com 36 composteiras onde se combinaram diferentes volumes de recipientes, bem como diferentes materiais estruturantes na compostagem de resíduos orgânicos de alimentos.

Os resíduos orgânicos de alimentos coletados do Restaurante Universitário da Universidade Federal do Ceará, caracterizados como alimentos deixados nos pratos dos usuários do restaurante, assim como sobras da comida do dia que não foi servida devido ao número insuficiente de usuários. O cardápio oferecido pelo restaurante é caracterizado, em geral, pela presença de carnes, salada, arroz, feijão, farofa, frutas, doces de sobremesa e sucos.

Os materiais estruturantes utilizados foram resíduos de podas de árvores urbanas triturados, fornecidos pela empresa Mastruz com Leite, a qual recebe parte da poda de árvore recolhida da cidade de Fortaleza (CE); serragem, de serrarias; e grama seca, recolhida de operação de manutenção do Campus do PICI.

4.2 Montagem e operação do experimento

O experimento foi montado na Universidade Federal do Ceará no Campus do Pici, na Horta didática do Departamento de Fitotecnia, localizada nas seguintes coordenadas: 3°44'22,3" S e 38°34'34,4" W. A Figura 7 segue ilustrando o local de montagem das composteiras.

Figura 7 - Local de montagem das composteiras

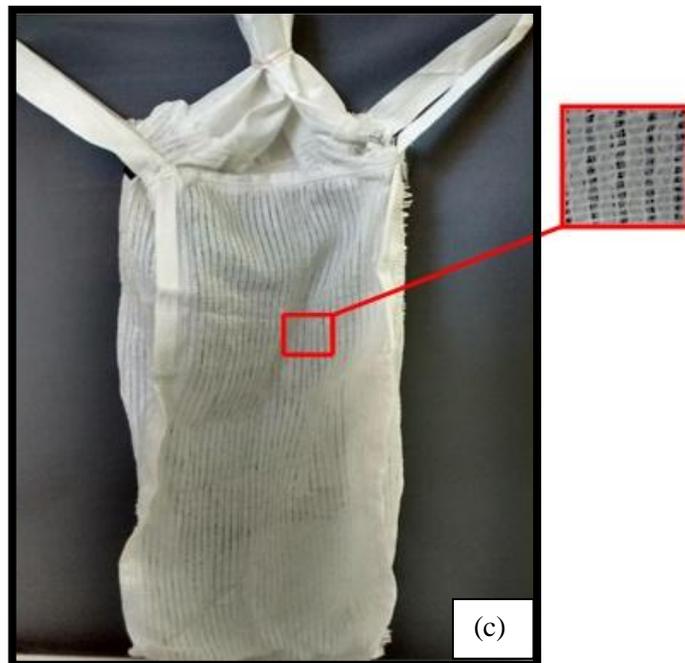
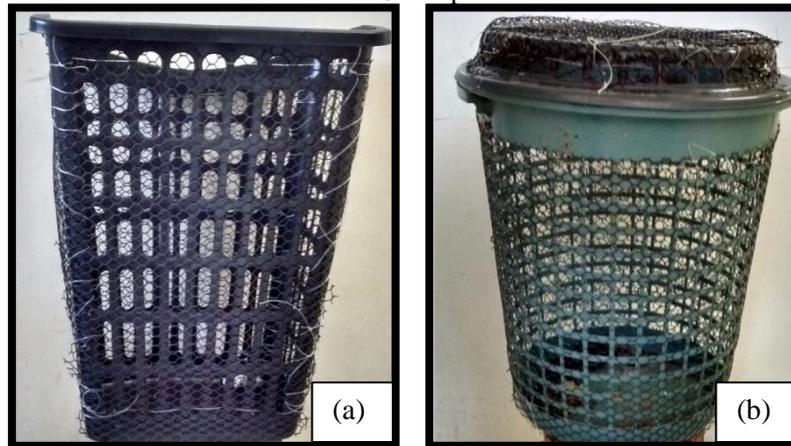


Fonte: Autor (2016).

Os recipientes utilizados para desenvolver o processo de compostagem caseira foram cestos de plástico perfurado comumente utilizados em domicílios para armazenar roupas e uma *bag*, tipo de sacola fabricada em polipropileno (PP) com pequenos furos quadrangulares de 5mm de aresta, desenvolvidos por uma empresa. Foram escolhidos dois formatos de cestos, um redondo com 70L e outro quadrangular com 45L os quais foram recobertos com tela de 1 cm de diâmetro para evitar a entrada de ratos. A *bag* possui um volume de 135L. Posteriormente, os cestos receberam o revestimento com uma tela mosquiteiro extrafina, fio 0,25 mm e malha 6x6.

Esses recipientes foram escolhidos por serem de baixo custo e de fácil acesso à população, com preços variando entre 13 a 25 reais. Para a seleção desses equipamentos de compostagem, foram considerados a possibilidade de reutilização dos mesmos após um ciclo de compostagem, além do impedimento à entrada de roedores e ratos na unidade de processamento, para evitar a repulsa na adoção do processo de compostagem. Para o caso da *bag*, a mesma foi confeccionada considerando a liberação de todo material pelos fundos e a alimentação na região superior. Outro aspecto considerado foi a facilidade na disposição dos resíduos, com a remoção de uma tampa ou a abertura do estrangulador da *bag*. A Figura 8 apresenta os formatos dos recipientes utilizados no experimento.

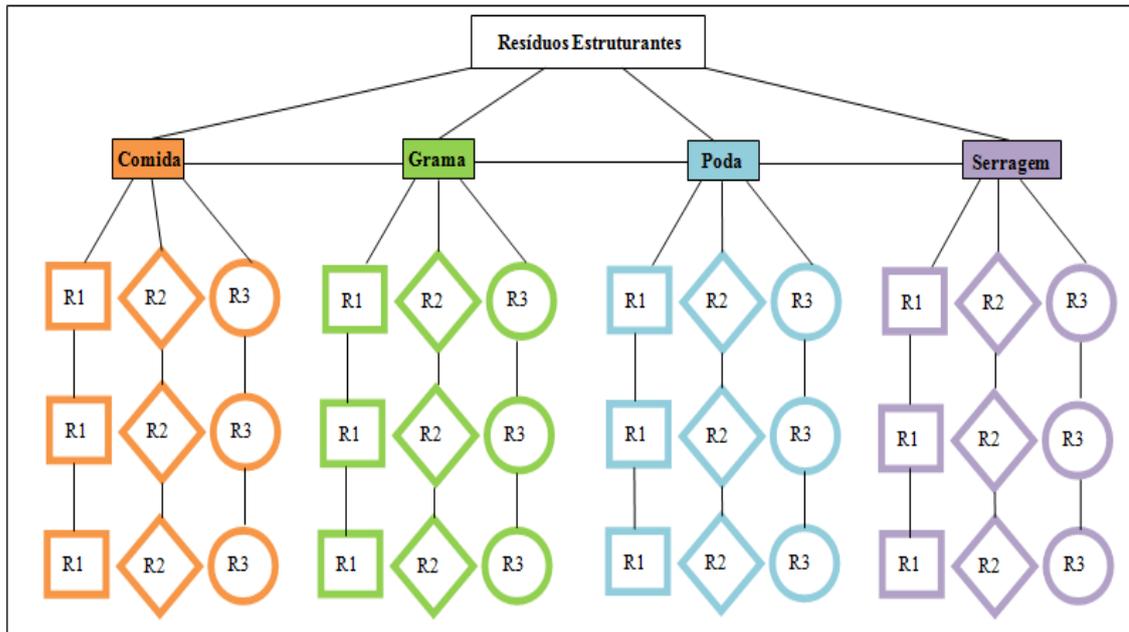
Figura 8- Detalhe dos recipientes utilizados na compostagem: (a) Cesto de 45L (b) Cesto de 70L (c) Bag de 135L com *zoom* para os furos.



Fonte: Autor (2016).

Além dos testes com os materiais estruturantes (poda, serragem e grama), foram montados recipientes-controle caracterizados pelo uso das mesmas condições de operação, mas sem a adição de material estruturante, apenas o resíduo do restaurante universitário. O experimento foi montado com 12 composteiras e 3 repetições de cada formato/material estruturante, totalizando 36 composteiras. A Figura 9 apresenta o esquema que demonstra as combinações entre resíduos estruturantes e recipientes utilizados formando as 36 composteiras do experimento. Os recipientes-controle são nomeados neste trabalho por “Comida”.

Figura 9- Esquema demonstrando as combinações entre resíduos estruturantes e recipientes utilizados formando as 36 composteiras do experimento



Fonte: Autor (2016).

Durante a operação, foram introduzidas nas composteiras 5 vezes por semana quantidades equivalentes à produção resíduo orgânico por uma família de até 4 pessoas, cerca de 2,7 Kg (BRASIL, 2011). Esse procedimento ocorreu até o período em que o volume total da maior composteira foi preenchido, sem que ocorresse a redução de seu volume. Enquanto isso, à medida que as composteiras de menor volume eram preenchidas, a alimentação era pausada até que o volume se reduzisse à metade. A Tabela 1 apresenta o período de alimentação de cada composteira montada.

Tabela 1- Período de alimentação das composteiras montadas no estudo

Recipiente	Estruturante	Identificação	Tempo (dias)
Redondo	Serragem	R1-S	67
Quadrado	Serragem	R2-S	43
<i>Bag</i>	Serragem	R3-S	67
Redondo	Poda	R1-P	62
Quadrado	Poda	R2-P	58
<i>Bag</i>	Poda	R3-P	67
Redondo	Gramma	R1-G	44
Quadrado	Gramma	R2-G	45
<i>Bag</i>	Gramma	R3-G	45
Redondo	Comida	R1-C	67
Quadrado	Comida	R2-C	67
<i>Bag</i>	Comida	R3-C	67

Fonte: Autor (2016).

Os resíduos orgânicos do restaurante universitário utilizados na presente pesquisa continham sobras de pratos servidos, sobras dos richôs, contendo restos de carne, ossos e demais materiais da alimentação servida. Antes da deposição desses resíduos nas composteiras, eram primeiramente misturados manualmente e pesados. Para controle de umidade, foi adicionada água duas vezes por semana. As Figuras 10 e 11 mostram, respectivamente, a mistura e pesagem do resíduo orgânico antes de ser depositado nas composteiras.

Figura 10- Mistura dos resíduos orgânicos oriundos do restaurante universitário do Campus do Pici, utilizados para a alimentação das composteiras



Fonte: Autor (2016).

Figura 11- Pesagem do resíduo orgânico utilizado nas composteiras



Fonte: Autor (2016).

A adição de material estruturante nas composteiras foi realizada de forma a cobrir o resíduo orgânico já depositado, ou seja, a cada camada de resíduo orgânico introduzida, colocava-se uma camada de quantidade não fixa de material estruturante suficiente para cobrir o resíduo anterior.

Os resíduos utilizados nesse experimento tiveram a seguinte caracterização relativa a algumas propriedades físico-químicas, descritas pela Tabela 2.

Tabela 2- Caracterização dos resíduos utilizados na compostagem

	pH	Condutividade Elétrica (mS/cm)	Carbono Orgânico Total (%)	Nitrogênio total (%)	Umidade (%)	Relação C/N
Resíduo Orgânico	6,22	4,13	32,9	5,56	59,5	6:1
Serragem	5,85	0,28	46,3	0,12	61,7	395:1
Poda	7,13	1,18	41,6	0,55	49,1	75:1
Gramma	6,56	0,43	41,9	0,78	28,6	54:1

Fonte: Autor (2016).

4.3 Monitoramento do processo de compostagem

O monitoramento do processo de compostagem foi realizado através da coleta de 250g da amostra a 15cm do fundo dos recipientes nos tempos de reação de 0, 7, 14, 30, 45, 60, 90 e 120 dias e, após o fim da alimentação diária das composteiras, foram coletadas amostras de superfície nos tempos de 60, 90, 120 e 150 dias contados a partir do encerramento da alimentação, ou seja, após 67 dias. Foi realizada ainda mais uma coleta equivalendo a 180 dias representando o composto final, com características do fundo e superfície. As coletas de fundo foram realizadas por meio da introdução de um cano cortado com inclinação de 45°. A Figura 12 apresenta uma ilustração da coleta realizada.

Figura 12- Coleta de amostra das composteiras instaladas na Horta Didática da UFC



Fonte: Autor (2016).

Nos dias de cada coleta, foram utilizadas amostras *in natura* para análise de pH e umidade, em seguida, as amostras eram refrigeradas a 4°C para posterior secagem a 65°C. Para os outros parâmetros, nitrogênio total, carbono orgânico, ácidos húmicos e fúlvicos, índice de germinação e condutividade elétrica, as análises eram realizadas com amostras secas, trituradas e passadas por peneiras de 2 mm, conforme He *et al.* (2007).

4.3.1 Monitoramento da temperatura

As temperaturas foram medidas em cada unidade experimental de segunda a sexta-feira durante a fase termofílica (até 71 dias) e após esse período eram medidas 2 vezes por semana devido à estabilização da temperatura do sistema. Nesses períodos citados, o termômetro foi posicionado a 15 cm do fundo.

Após o encerramento da alimentação contínua, as temperaturas de superfície só puderam ser medidas após 60 dias devido a falhas no funcionamento do equipamento.

Para tais medidas, utilizou-se um termômetro do tipo termopar com sonda de 1m.

4.3.2 *Determinação do pH e condutividade elétrica (CE)*

As medidas de pH foram realizadas com amostras *in natura*, pesadas e colocadas em solução de CaCl₂ 0,01mol/L conforme Brasil (2007). Enquanto as de condutividade elétrica foram secas, pesadas, agitadas por 30 minutos em solução na proporção de 5g para 50 mL de água destilada e lidas, também conforme Brasil (2007).

4.3.3 *Determinação de umidade*

A determinação do percentual de umidade foi realizado conforme Brasil (2007) utilizando estufa à 65°C e balança analítica com precisão de 0,0001g.

4.3.4 *Determinação de carbono orgânico, nitrogênio total e relação C/N*

Os percentuais de carbono orgânico foram determinados pelo método de extração em via úmida e titulação com sulfato ferroso amoniacal conforme Brasil (2007). Pesou-se uma massa da amostra, contendo entre 40 e 150 mg de carbono orgânico provável e adicionou-se 50 mL de uma solução 0,20 M de K₂Cr₂O₇ além de 50 mL de H₂SO₄ concentrado. Essa solução foi levada para aquecimento a 140°C por 30 minutos tampada com vidro relógio. Em seguida, efetuou-se uma diluição aferida em balão de 250 mL. Retirou-se uma alíquota de 50 mL, adicionando-se mais 50 mL de água destilada e 10 mL de H₃PO₄. Essa solução foi titulada com a solução de sulfato ferroso amoniacal 0,5 M, empregando 0,5 a 1 mL de solução de difenilamina como indicador, até a viragem para a coloração verde.

Os cálculos para determinação do carbono orgânico foram realizados utilizando a fórmula descrita pela Equação (2).

$$C.O. (\%) = \frac{9C \times (Vb - Va)}{G} \quad (2)$$

Onde:

C: Concentração do sulfato ferroso amoniacal.

Vb: Volume gasto na prova em branco (mL).

Va: Volume gasto na titulação da amostra (mL).

G: Massa da amostra pesada (g).

Já os percentuais de nitrogênio total foram determinados pelo método Kjeldahl de acordo com Silva (2009a). Nessa metodologia, eram pesados 0,2g de amostra seca e triturada, com adição de 7 mL da mistura digestora (solução de sulfato de potássio e sulfato de cobre em ácido sulfúrico). Os tubos com esses constituintes eram levados para digestão a 350°C até o líquido clarear e chegar à cor esverdeada. Após esfriar, os tubos eram levados para destilação com solução de ácido bórico indicador na recepção do destilado. Em seguida, titulava-se o destilado com solução de ácido sulfúrico 0,02M. O cálculo para determinação do nitrogênio total é representado pela Equação (3).

$$N - NH_4(\%) = (Va - Vb) \times N \times \frac{14g/mol}{0,2g} \times 0,1 \quad (3)$$

Onde:

Va: Volume gasto na titulação da amostra (mL).

Vb: Volume gasto na titulação da prova em branco (mL).

N: Normalidade do ácido sulfúrico (N).

A relação C/N foi calculada a partir da razão do teor de carbono total pelo teor de nitrogênio total.

4.3.5 *Índice de germinação (IG)*

O teste de germinação realizado foi adaptado do método de Zucconi *et al.* (1988) utilizando sementes de alface (*Lactuca sativa*). Foram pesadas 5g de amostra e adicionados 50 mL de água destilada. Essa solução foi submetida à agitação de 160 rpm por 30 min, em seguida, centrifugada por 30 min e filtrada. Uma alíquota de 4 mL era transferida para uma placa de petri, com duas folhas de papel filtro. 20 sementes de alface eram colocadas uniformemente nas placas, as quais eram incubadas a 25°C por 120h. Ao fim desse período, era medido o comprimento das raízes, bem como, quantificado o número de sementes germinadas. A partir desses dados, foi determinada a percentagem de germinação de sementes relativa (PGSR), o crescimento radicular (CR) e o índice de germinação (IG) de acordo com as Equações (4), (5) e (6).

$$PGRS (\%) = \left(\frac{N^{\circ} \text{ de sementes germinadas com a amostra do composto}}{N^{\circ} \text{ de sementes germinadas no controle}} \right) \times 100 \quad (4)$$

$$CR (\%) = \left(\frac{\text{Comprimento das raízes crescidas na amostra do composto}}{\text{Comprimento das raízes crescidas no controle}} \right) \times 100 \quad (5)$$

$$IG(\%) = \frac{PGRS \times CR}{100} \quad (6)$$

4.3.6 *Determinação de ácidos húmicos e fúlvicos/grau de polimerização (GP).*

A determinação desses parâmetros foi realizada conforme Benites *et al.* (2003). De acordo com essa metodologia, foi pesado 0,1 g de amostra seca, triturada e peneirada, adicionou-se 20 mL de solução de NaOH 0,1 mol L⁻¹, sendo posteriormente deixada em repouso por 24h. Após esse período, as amostras eram centrifugadas por 30 min a 5.000 g e o sobrenadante era retirado enquanto o precipitado era submetido a um novo processo de extração com adição de 20 mL de NaOH 0,1 mol/L e colocado em repouso por mais 1 h. Após isso, as amostras eram centrifugadas novamente e o sobrenadante retirado. Ao misturar as frações de sobrenadante da mesma amostra, ajustava-se o pH para 1,0 e as amostras eram repousadas por mais 18h.

Após essa fase de extração, as amostras eram submetidas ao processo de separação das frações húmicas e fúlvicas. Para isso, executa-se a filtração dos extratos, sendo a fração retida na membrana denominada de húmica e a filtrada de fúlvica. A fração húmica era solubilizada com NaOH 0,1M para ser submetida à digestão por dicromato de potássio 0,042M (1mL) e ácido sulfúrico concentrado (5mL). Essa digestão era realizada em aquecimento por 30 min a 150°C.

Ao esfriar, as amostras eram tituladas com sulfato ferroso amoniacal 0,0125M sendo utilizado o indicador de Ferroín 0,025M. Por fim, calculava-se as porcentagens de carbono em forma de ácido húmico e fúlvico introduzido o valor do volumes titulados na Equação 7:

$$X = \frac{(V_{baq} - V_{am})N_{SFAcorr} \times 12 \times 50}{4 \times \text{peso da amostra} \times \text{alíquota}(ml)} \times 0,1 \quad (7)$$

Onde:

X: % de C na forma de ácido húmico (ou fúlvico)

V_{baq}: Volume (mL) de SFA consumido na titulação do branco aquecido

V_{am} : Volume (mL) de SFA consumido na titulação da amostra

$N_{SFAcorr}$: Normalidade do SFA corrigida pela Equação (8).

$$N_{SFAcorr} = \frac{\text{Volume de dicromato} \times \text{Normalidade do dicromato}}{\text{Volume de SFA consumido na titulação do branco sem aquecimento}} \quad (8)$$

O grau de polimerização foi calculado a partir da relação entre ácidos húmicos (AH) e ácidos fúlvicos (AF), descrita pela Equação 9.

$$GP = \frac{AH}{AF} \quad (9)$$

4.4 Tratamento estatístico

A análise de variância (anova) e o teste de Tukey foram realizados para se avaliar a influência dos materiais estruturantes utilizados, os recipientes e suas combinações no desenvolvimento da temperatura durante a compostagem, bem como, na qualidade final dos compostos orgânicos produzidos. Utilizou-se como ferramenta para a realização dos testes o software R.

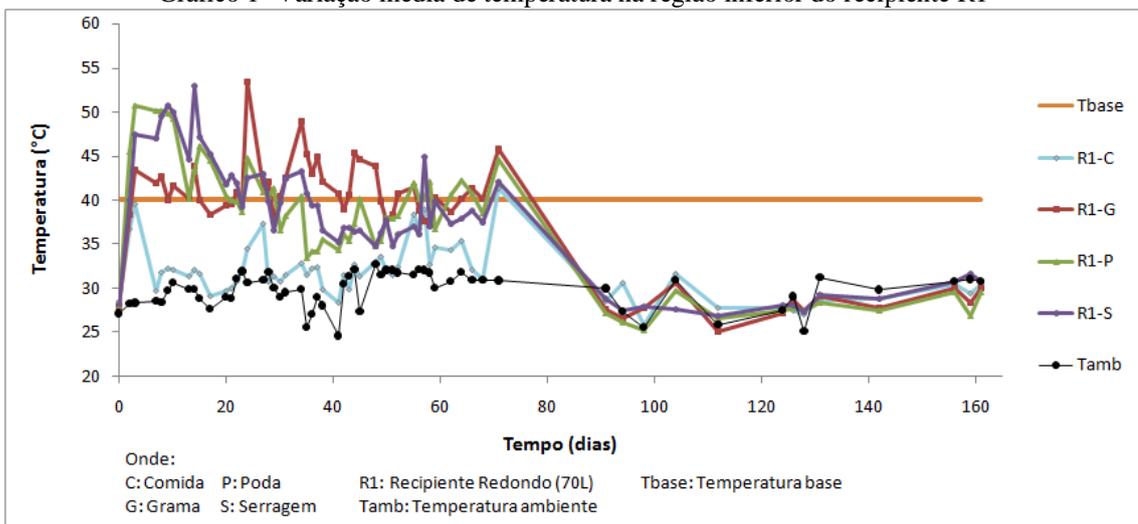
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Parâmetros de monitoramento da compostagem

5.1.1 Temperatura

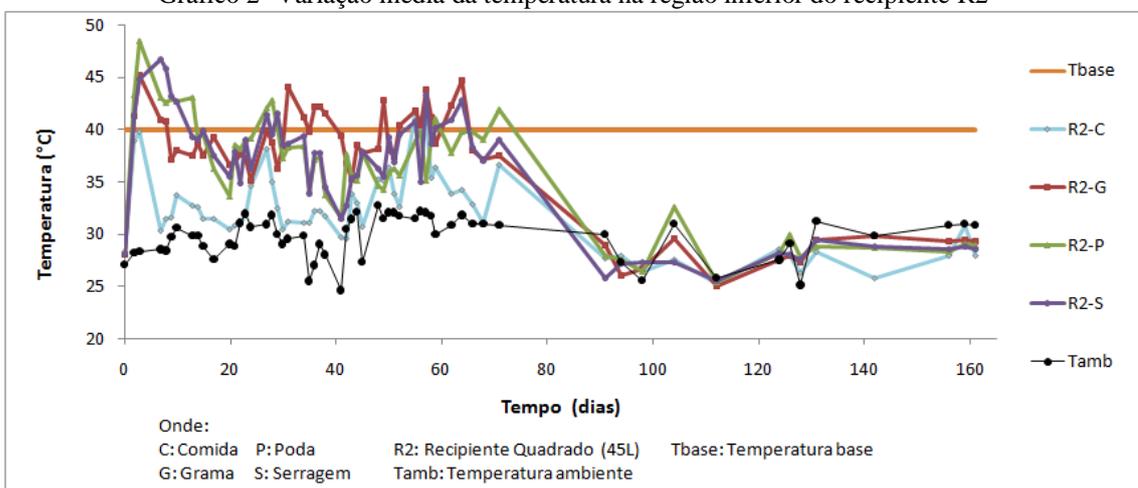
Ao analisar os Gráficos 1, 2 e 3, percebeu-se que valores acima de 40°C correspondentes à fase termofílica (BERNAL, 1997; MEIRA *et al.*, 2003; ARVANITTOYANNIS; KASSAVETI; LADAS, 2008; SILVA *et al.*, 2009b) foram registrados até cerca de 71 dias. Entretanto, não se observou valores acima de 55°C, o que indicou a não necessidade de revolvimento dos materiais em processo de compostagem.

Gráfico 1- Variação média de temperatura na região inferior do recipiente R1



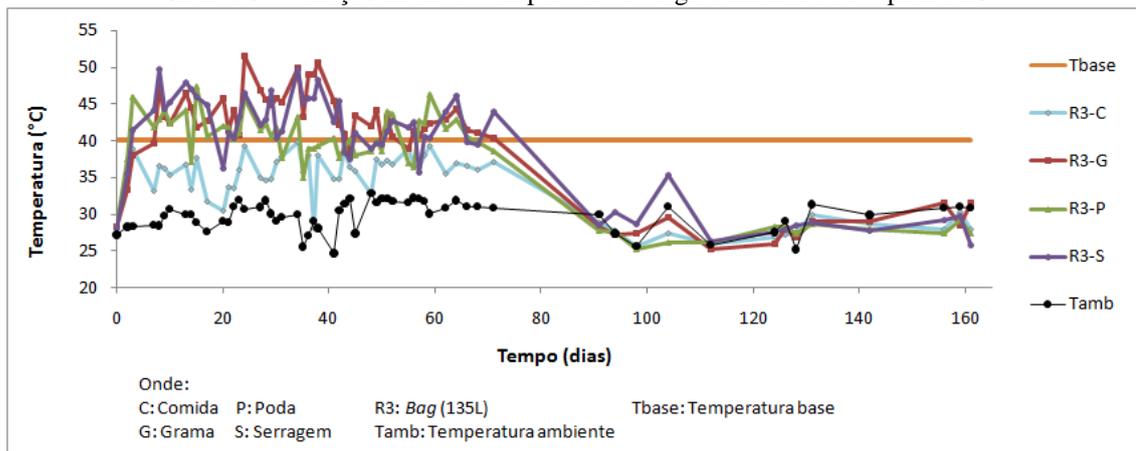
Fonte: Autor (2016).

Gráfico 2- Variação média da temperatura na região inferior do recipiente R2



Fonte: Autor (2016).

Gráfico 3- Variação média da temperatura na região inferior do recipiente R3



Fonte: Autor (2016).

A fase termofílica é a fase onde ocorre degradação máxima e estabilização da matéria orgânica (ARVANITOYANNIS; KASSAVETI; LADAS, 2008). De acordo com os Gráficos 1, 2 e 3, notou-se que as variações de temperaturas não ocorreram de forma contínua em nenhuma das composteiras, ou seja, as fases termofílicas e mesofílicas apresentaram-se de forma oscilatória. A variação ocorreu entre 25°C e 53°C.

Acredita-se que esse fato se deve à alimentação diária com resíduos, por certo, o material mais antigo (do fundo) recebia influência do material mais recentemente depositado (na superfície). Colón *et al.* (2010) atribuem essa variação ao baixo isolamento térmico das composteiras devido ao baixo volume que em geral composteiras domésticas apresentam.

Por meio da análise das temperaturas do Gráfico 1, notou-se que os materiais apresentaram valores acima de 40°C até 71 dias. Após esse período, a fase mesofílica se iniciou sem variação, representando o período de maturação do composto. Entre as composteiras R1, grama (G) e serragem (S) apresentaram maiores temperaturas máximas, 53,40°C ± 1,47 e 53,00°C ± 3,97, respectivamente, comparadas à poda (P) e às composteiras alimentadas apenas com o resíduo de comida (C), 50,17 ± 4,86 e 41,30°C ± 2,08, respectivamente.

As temperaturas obtidas nas composteiras R2, apresentadas no Gráfico 2, tiveram valores mais baixos em relação a R1, atingindo valores máximos de 40,6°C ± 1,04; 45,17°C ± 2,87; 48,53°C ± 2,64; 46,77°C ± 3,72, respectivamente para os materiais C, G, P e S. O fim da fase termofílica ocorreu em 57, 64, 71 e 64 dias, respectivamente para a mesma ordem dos materiais dada anteriormente.

Os valores máximos alcançados em R3 foram 39,88°C ± 6,63 para C; 51,47°C ± 3,72 para G; 47,43°C ± 5,31 para P e 49,67°C ± 10,06 para S, como ilustra o Gráfico 3. A fase

termofílica durou até 71 dias para G e S; e 66 dias para P. Essa fase não foi registrada para C, pois esta não alcançou temperaturas acima de 40°C.

Usando o teste de variância anova, comparou-se as médias de temperaturas desenvolvidas durante a fase termofílica e percebeu-se que houve diferenças significativas ($p < 0,05$) na maioria dos 32 tempos medidos, sendo que em 69% deles, houve diferença significativa entre estruturantes utilizados, em 37% os recipientes apresentaram diferenças significativas e em 4% ocorreram interação entre recipientes e estruturantes, ou seja, a combinação entre recipientes e estruturantes pouco influenciou nas temperaturas desenvolvidas e o fator que obteve maior influência foi o tipo de estruturante utilizado.

Pelo Teste de Tukey feito com temperaturas médias que obtiveram $p < 0,05$ entre os estruturantes apresentados na Tabela 3, observou-se que nos dias 7 a 13, 17 a 30, 34, 35 e de 62 a 68 não houve diferenças significativas entre os estruturantes grama, poda e serragem. Dentre os dias em que houve diferença, a grama se destacou apresentando maior temperatura em mais tempos medidos, enquanto a poda e a serragem apresentaram comportamentos semelhantes entre si.

Tabela 3- Médias de temperaturas da fase termofílica com diferenças significativas entre estruturantes

Tempo (dias)	Comida	Grama	Poda	Serragem
2	37,02 ± 3,41 b	37,64 ± 4,20 ab	42,09 ± 5,00 a	38,93 ± 3,97 ab
7	31,25 ± 3,59 b	40,84 ± 4,10 a	45,02 ± 5,56 a	45,97 ± 3,60 a
8	33,58 ± 3,89 b	43,59 ± 3,21 a	45,21 ± 7,47 a	48,30 ± 3,32 a
9	33,61 ± 4,22 b	40,13 ± 3,12 a	45,67 ± 7,03 a	46,06 ± 5,28 a
10	33,81 ± 3,71 b	40,62 ± 3,78 a	44,73 ± 5,87 a	45,99 ± 4,98 a
13	33,90 ± 3,59 b	41,40 ± 5,23 a	42,43 ± 5,32 a	43,91 ± 5,25 a
15	33,97 ± 4,55 b	39,78 ± 3,83 ab	44,32 ± 8,16 a	44,32 ± 3,58 a
17	30,84 ± 2,59 b	40,12 ± 5,26 a	40,36 ± 5,67 a	42,46 ± 4,08 a
20	30,23 ± 1,90 b	40,64 ± 4,70 a	38,68 ± 7,34 a	37,84 ± 5,20 a
21	31,71 ± 3,56 b	39,27 ± 2,76 a	40,12 ± 5,90 a	40,59 ± 3,25 a
22	31,86 ± 3,58 b	40,87 ± 3,40 a	39,39 ± 5,42 a	39,07 ± 4,75 a
23	33,45 ± 3,48 b	39,22 ± 3,61 a	39,6 ± 4,13 a	40,46 ± 3,60 a
28	33,55 ± 3,53 b	42,14 ± 3,17 a	41,90 ± 4,28 a	40,79 ± 5,06 a
29	33,01 ± 3,10 b	39,70 ± 5,01 a	40,63 ± 3,89 a	41,63 ± 5,97 a
30	33,17 ± 4,22 b	41,54 ± 5,27 a	38,54 ± 3,15 a	39,49 ± 4,06 a
31	33,88 ± 4,80 c	43,94 ± 3,07 a	38,04 ± 2,91 bc	40,81 ± 4,52 ab
34	35,14 ± 6,06 b	46,66 ± 5,94 a	40,70 ± 4,82 ab	44,10 ± 7,90 a
35	33,02 ± 3,79 b	42,71 ± 3,80 a	34,20 ± 3,90 b	39,89 ± 5,75 a
37	30,61 ± 8,98 c	45,38 ± 3,58 a	36,79 ± 3,38 bc	40,97 ± 4,61 ab
38	33,66 ± 5,12 c	44,74 ± 5,08 a	36,18 ± 3,40 bc	39,78 ± 7,51 b
41	31,32 ± 4,69 c	41,80 ± 3,25 a	35,44 ± 4,95 b	36,34 ± 5,23 b
42	32,20 ± 3,98 b	39,27 ± 4,01 a	37,14 ± 3,46 a	38,30 ± 6,49 a
44	34,29 ± 3,50 b	40,54 ± 4,88 a	37,53 ± 3,46 ab	36,52 ± 3,12 ab
45	32,98 ± 3,64 b	41,94 ± 3,83 a	38,66 ± 3,16 a	38,48 ± 3,34 a
48	33,55 ± 2,65 b	41,36 ± 3,67 a	35,98 ± 3,64 b	36,67 ± 2,58 b
49	35,62 ± 2,95 b	42,27 ± 4,34 a	36,48 ± 3,28 b	37,16 ± 3,16 b
58	35,60 ± 4,75 b	39,98 ± 4,15 ab	41,14 ± 2,98 a	38,71 ± 3,68 ab
59	37,01 ± 3,18 b	40,42 ± 2,69 ab	41,36 ± 5,48 a	40,07 ± 3,34 ab
62	34,66 ± 3,50 b	41,30 ± 4,26 a	40,00 ± 2,37 a	40,72 ± 4,60a
64	35,67 ± 3,27 b	43,06 ± 4,45 a	41,62 ± 2,30 a	42,27 ± 4,52 a
66	34,12 ± 3,26 b	40,27 ± 3,20 a	40,38 ± 1,98a	38,92 ± 1,95 a
68	33,00 ± 3,41 b	39,42 ± 3,04 a	39,07 ± 2,92 a	37,98 ± 2,32 a

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A respeito do teste de Tukey referente aos recipientes em que se obteve $p < 0,05$ no teste anova, como indica a Tabela 4, verificou-se que o recipiente que se destacou foi o R3, apresentando, na maioria dos dias medidos, maiores temperaturas. O R2 apresentou menores temperaturas na maioria dos dias.

Tabela 4- Médias de temperaturas da fase termofílica com diferenças significativas entre recipientes

Tempo (dias)	R1	R2	R3
2	40,13 ± 4,08 a	41,22 ± 2,37 a	35,54 ± 4,46 b
13	39,07 ± 6,24 b	38,12 ± 4,67 b	43,26 ± 6,50 a
15	41,22 ± 8,47 ab	37,08 ± 4,16 b	42,77 ± 6,06 a
29	36,78 ± 4,50 b	37,57 ± 5,30 ab	41,20 ± 6,23 a
30	36,83 ± 5,07 b	36,13 ± 4,37 b	40,95 ± 4,99 a
34	41,38 ± 8,19 ab	37,5 ± 5,03 b	45,22 ± 7,19 a
35	37,69 ± 6,26 ab	34,73 ± 4,44 b	39,41 ± 6,03 a
38	35,98 ± 5,11 b	35,37 ± 4,48 b	43,59 ± 7,05 a
41	34,65 ± 5,29 b	33,02 ± 4,36 b	40,27 ± 5,32 a
42	35,84 ± 4,40 ab	34,18 ± 4,03 b	39,55 ± 5,84 a
43	35,67 ± 4,58 ab	35,01 ± 3,79 b	39,25 ± 4,53 a
45	38,18 ± 5,65 ab	36,00 ± 3,73 b	39,33 ± 4,36 a
49	36,25 ± 4,12 b	36,92 ± 4,16 ab	40,09 ± 3,63 a
51	35,62 ± 4,04 b	36,07 ± 3,42 b	41,12 ± 5,16 a
59	37,84 ± 4,09 b	39,07 ± 2,35 ab	41,83 ± 4,38 a
68	36,77 ± 3,18 ab	36,04 ± 5,11 b	38,81 ± 5,24 a
71	43,42 ± 2,48 a	38,74 ± 4,70 b	39,75 ± 4,06 b

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Esperava-se que a *Bag* (R3), por ter um volume e altura maior, tivesse valores máximos de temperatura maiores que os outros recipientes, provocando um maior aquecimento da massa. Entretanto, pelos resultados, o recipiente R1 apresentou valores acima dos que aquela desenvolveu, embora o R3 tenha se sobressaído no teste de Tukey.

Uma hipótese a ser sugerida trata-se do fato das composteiras R3 não terem se sustentado “em pé”, devido ao acúmulo de massa superior às outras composteiras (R1 e R2) e pelo material não ser firme, as cordas que as mantinham suspensas se rompiam. Por consequência, o material ficava em uma altura menor à medida que o tempo passava.

Entre os materiais estruturantes utilizados, a grama e a serragem apresentaram maiores máximas de temperatura, sendo que a grama estatisticamente apresentou maiores resultados ao se comparar as médias semelhantes ao nível de 5%. Tal resultado pode se dever ao fato desse estruturante provocar baixa perda de calor à medida que se adicionava água e esta preenchia muitos espaços livres. Tal fato é comprovado pelo aparecimento de condições anaeróbias, como odor e formação de chorume em 60 dias.

Os valores verificados nas composteiras alimentadas apenas com comida foram os mais baixos, sendo tal resultado já esperado, devido à ausência do material estruturante que possui também a função de isolamento térmico. Já em relação à poda, uma hipótese a ser

sugerida é que a granulometria do material era bem maior em relação aos outros, possibilitando uma perda maior do calor gerado. Apesar dos seus valores estarem dentro da faixa de temperatura recomendada para se promover a compostagem.

Guidoni *et al.* (2013) realizaram um experimento com composteiras cilíndricas domésticas de 200L com perfurações para entrada de ar, revolvimento semanal e alimentação diária. Os autores encontraram valores de temperatura medida a meia profundidade em torno de 30 e 50°C, durante as 10 primeiras semanas de compostagem, sendo utilizada casca de arroz como material estruturante.

Karnchanawong e Suriyanon (2011) também testaram composteiras domésticas com alimentação diária e volume de 200L. Os autores propuseram diferentes formas de aeração em recipientes, dois recipientes com perfurações no fundo (diferindo-se pelo número de vazios), dois com uma estrutura de entrada de ar facilitada, além de perfurações diferindo-se pelo número de vazios; um com entrada de ar através de um tubo perfurado colocado por dentro do recipiente e por último, outro recipiente sem entrada de ar. Os autores verificaram que durante o período de alimentação das composteiras as temperaturas variaram de 25 a 55°C. O recipiente que alcançou o maior período de fase termofílica foi o que possuía melhor forma de aeração.

No presente experimento, a duração da fase termofílica não pode ser atribuída à forma de aeração, pois os recipientes possuíam estrutura de entrada de ar semelhante. Não houve grande diferença entre a duração das fases entre recipientes e materiais, visto que, como foi descrito em parágrafo anterior, apesar de haver variação entre alguns materiais, a diferença se deu entre 5 e 7 dias do maior tempo para o menor tempo de duração. A exceção ocorreu com as composteiras alimentadas apenas com comida, pois em R2 a diferença foi de 14 dias em relação ao R1; e em R3, não foram registradas temperaturas acima de 40°C. Esse fato, mais uma vez, pode ser atribuído à ausência do material estruturante na condição de isolamento térmico.

Adhikari *et al.* (2013) enfatizam que uma maior superfície de exposição dos resíduos, proporciona maior aeração, influenciando numa maior atividade microbiana e um bom desenvolvimento da fase termofílica. Os autores confirmaram esse fato testando recipientes fechados, um feito com madeira ripada e outro de plástico com perfurações. O primeiro, que possuía mais entradas de ar, desenvolveu melhor temperatura, pois a fase termofílica iniciou-se mais rapidamente e durou um período semelhante ao outro.

Tratando-se dos recipientes utilizados neste experimento (R1, R2 e R3), os três eram expostos ao ar em toda superfície, isso representa uma vantagem nesse método utilizado

comparado ao de Adhikari *et al.* (2013). Quanto ao início da fase termofílica, a maioria dos recipientes utilizados iniciaram entre 2 e 3 dias, assemelhando-se ao resultado obtido com o primeiro recipiente dos autores citados, diferindo do segundo, que se iniciou entre 6 e 7 dias.

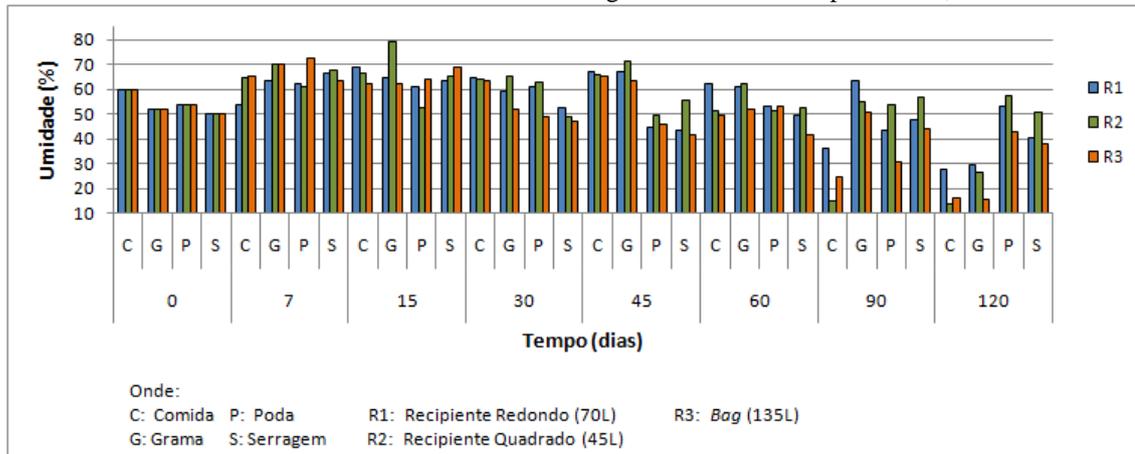
Quanto às temperaturas medidas na superfície das composteiras, devido a um atraso no conserto do equipamento, não foram medidas logo após o encerramento da alimentação, sendo medida com quase 60 dias após o término, verificando-se já temperaturas mesofílicas (abaixo de 40°C) a partir desse período. Dessa forma, comparando-se essa duração da fase termofílica nas duas alturas, constata-se que no fundo foi bem maior, entre 57 e 71 dias. Isso pode ser justificado pelo maior volume presente acima dos pontos medidos. Como na superfície o volume era menor, provocou-se menor aquecimento.

5.1.2 *Umidade*

A faixa de umidade adequada para a compostagem está entre 40% e 65%; abaixo dessa faixa o processo se torna bastante lento (VALLINI, 1995; CORDEIRO, 2010; AAFRD, 2005) e acima disso a água tende a ocupar os espaços vazios do meio, impedindo a livre passagem do oxigênio, o que poderá provocar aparecimento de zonas de anaerobiose (OLIVEIRA, 2010), diminuindo a velocidade de biodegradação e gerando odores. Para valores abaixo de 15% é possível que a atividade microbiana nem ocorra (AAFRD, 2005).

Ao observar os resultados apresentados no Gráfico 4, equivalente à umidade média na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3, verificou-se que as composteiras que atingiram valores acima de 65% foram: R1 e R2 com serragem (S), R2 com grama (G), R3 com G e R3 com poda (P), em 7 dias de compostagem; em 15 dias, R1 e R2 com comida (C), R2 com G e R3 com S; e em 45 dias, R1 com C, R1 e R2 com G.

Gráfico 4- Percentual médio de umidade na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3



Fonte: Autor (2016).

A partir desses dados, percebeu-se que os materiais serragem e grama apresentaram valores acima da faixa com maior frequência, entretanto apenas a grama apresentou características de condições anaeróbias, como intensa geração de odor e produção de chorume em aproximadamente 60 dias de compostagem. Para se tentar reverter o processo, decidiu-se não adicionar mais água e observar se os sistemas se sustentavam apenas com a umidade da comida adicionada, entretanto o processo não teve reversão, quando se analisou até o período do desmonte das composteiras.

No caso das composteiras alimentadas apenas com comida, essas desde o início não eram regadas devido à ausência do material estruturante que é capaz de reduzir a umidade já contida na comida, porém, mais uma vez o processo de anaerobiose não teve reversão.

Com relação aos valores abaixo de 40% de umidade, observou-se tal ocorrência apenas a partir de 90 dias. Nesse tempo, os recipientes com comida apresentaram os seguintes valores 35,97; 15,12 e 24,31%, respectivamente para R1, R2 e R3. A Bag (R3) com P, também apresentou valor abaixo, sendo de 30,62%.

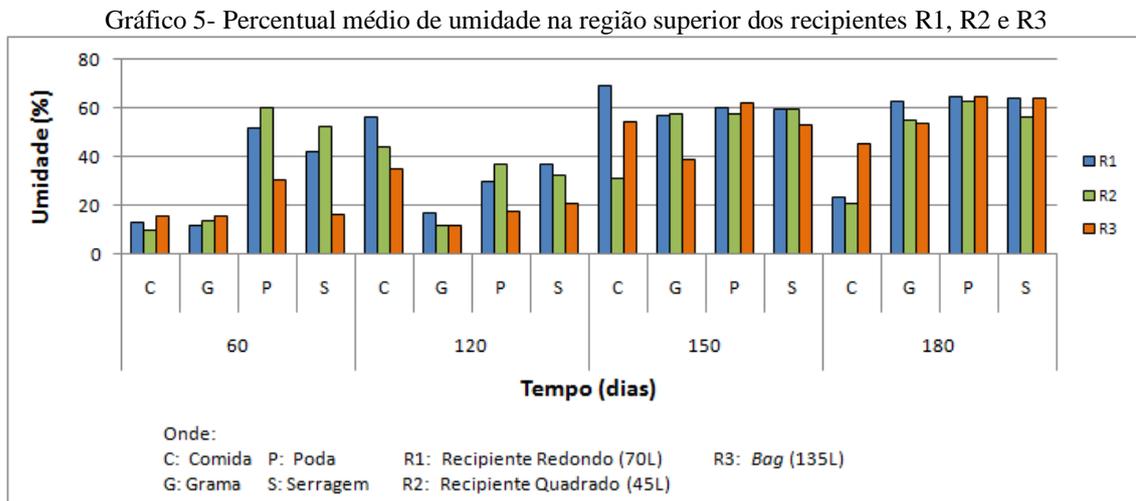
Em 120 dias, todas as composteiras com C e G tiveram sua atividade reduzida. Os valores encontrados foram de 27,80; 13,59; 16,33%, respectivamente para R1, R2 e R3 com C e 29,19; 26,10 e 15,41% para R1, R2 e R3 com G. O recipiente R3 com S também teve destaque com 37,60%. O restante das composteiras apresentou valores entre 40 e 63%.

Segundo Kiehl (1985), se a umidade estiver abaixo de 40% no período final da compostagem, não há comprometimento da qualidade do composto. Diaz, Bertoldi e Bidlingmaier (2007) recomendam que o teor de umidade seja inferior a 50% para manter o manuseio, transporte e aplicação viável, entretanto, de acordo com Andersen *et al.* (2011),

isto não se torna um grande problema uma vez que o objetivo da compostagem seja usar o composto diretamente no jardim ou em hortas da casa do usuário que adotará o sistema.

A partir da análise de umidade do material coletado na região superior das composteiras apresentado no Gráfico 5, entre 60 e 120 dias após a interrupção da alimentação, a maioria das composteiras apresentaram valores abaixo de 40%. Isto se justifica pelo cuidado na adição de água, pois a região inferior, que estava em processo de compostagem mais avançado, poderia ficar com excesso de água e tornar o sistema anaeróbico.

Entretanto, isto não é válido para os recipientes com grama e comida, pois os sistemas ainda apresentavam aspecto de processo anaeróbico, como odor característico, por isso permaneceu-se na decisão de não adicionar água para que o processo se revertesse naturalmente.



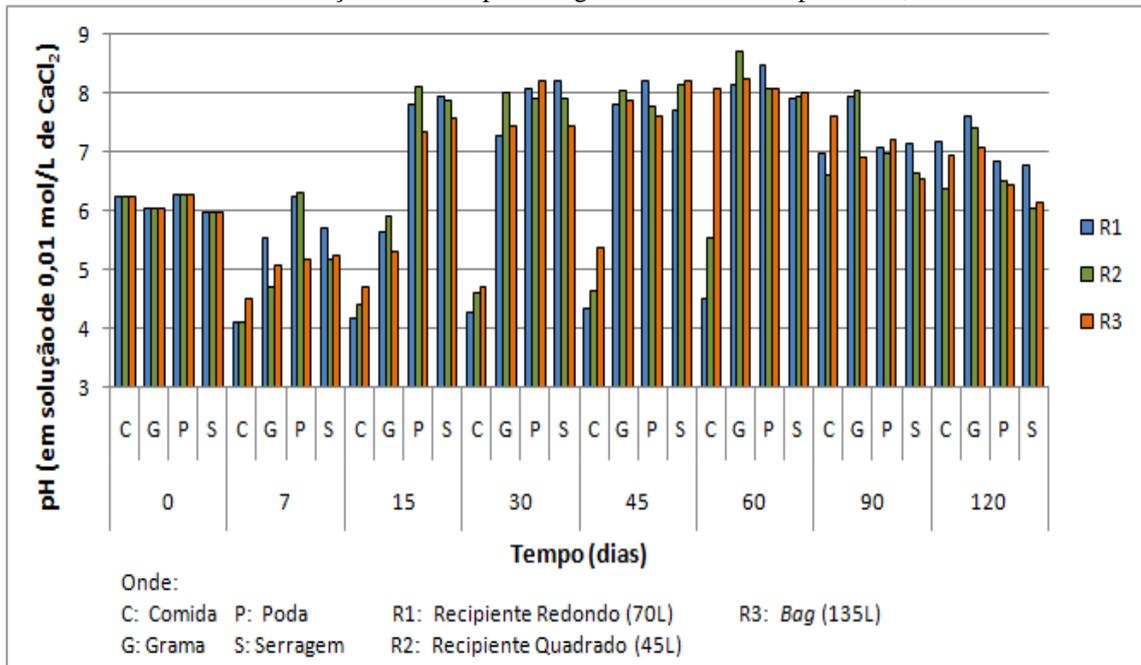
Fonte: Autor (2016).

Em 150 e 180 dias, as porcentagens de umidade ficaram dentro da faixa de aproximadamente 40 a 65%, exceto algumas composteiras com C, pelo motivo citado anteriormente.

5.1.3 Potencial hidrogeniônico (pH)

A variação de pH na região inferior das composteiras do presente experimento se deu tal como descreveu Mustin (1987). A primeira fase de acidificação ocorre no 7^o dia, devido à produção intensa de CO₂ e ácidos orgânicos, como se observa no Gráfico 6.

Gráfico 6- Variação média do pH na região inferior dos recipiente R1, R2 e R3



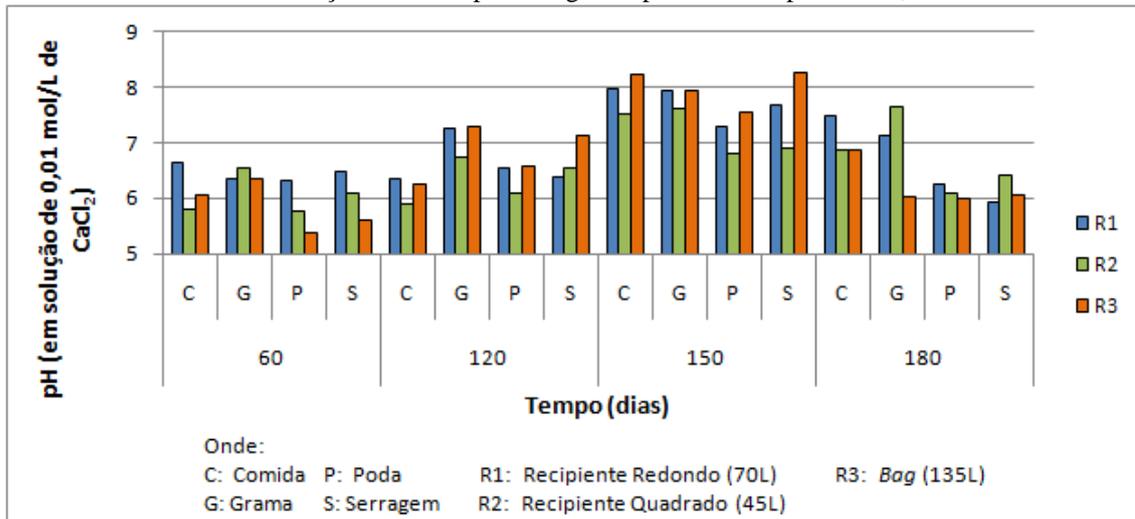
Fonte: Autor (2016).

No 15º dia, ocorreu aumento do pH devido à produção de amônia pela conversão do nitrogênio orgânico presente nos materiais. Observa-se que entre 30 e 60 dias há certa estabilidade do pH, enquanto que entre 90 e 120 dias, pode-se verificar que houve um decaimento dos valores, tendendo à faixa levemente ácida.

Por meio do Gráfico 6, observa-se que os recipientes alimentados apenas com comida, não apresentam o mesmo comportamento descrito anteriormente, ocorrendo considerável aumento do pH a partir de 60 dias.

Analisando-se o Gráfico 7, que representa o material coletado na região superior dos recipientes, verifica-se que o aumento do pH começa a ocorrer em 120 dias após a finalização da alimentação contínua e em 180 dias ocorre o mesmo decaimento dos valores, como observado no Gráfico 6, em 120 dias, resultando em valores entre 6 e 7.

Gráfico 7- Variação média de pH na região superior do recipientes R1, R2 e R3



Fonte: Autor (2016).

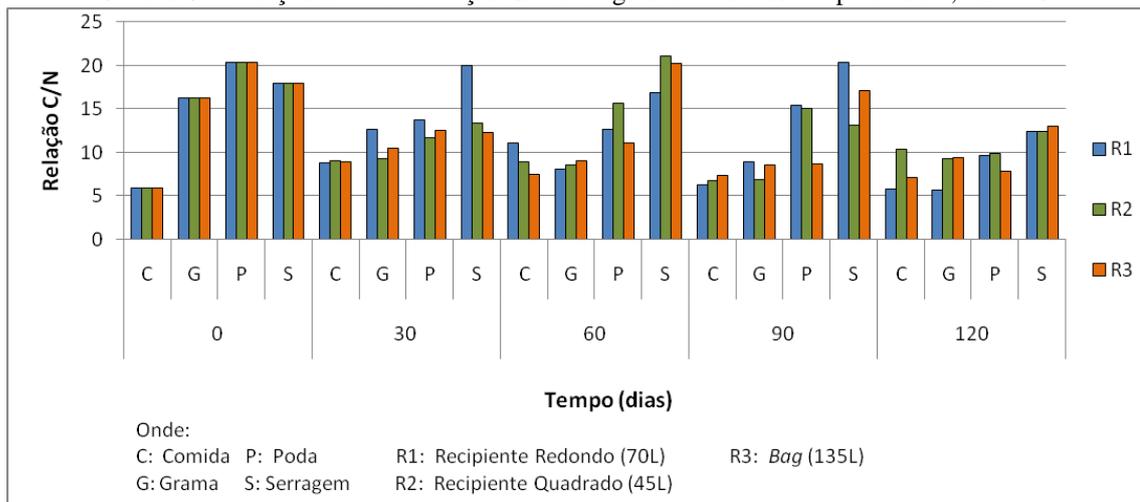
Muitos trabalhos com compostagem de resíduos de alimentos e agentes estruturantes revelam que, ao final do processo, encontra-se pH na faixa entre 7 e 8 (MARAGNO, TRONBIN e VIANA, 2007; KARNCHANAWONG e SURIYANON, 2011; KARNCHANAWONG e NISSAIKLA, 2014; BENJAWAN *et al.* 2015). Entretanto, Guidoni *et al.* (2013), Lima (2015) e Tatano *et al.* (2015), na compostagem de resíduos de alimentos, encontraram valores na mesma faixa do presente trabalho e consideraram essa faixa de pH adequada. Além disso, a Instrução Normativa MAPA nº 25 de 2009, define pH mínimo 6 para compostos de classe A, B e D; e 6,5 para classe C.

5.2 Parâmetros indicadores de maturidade do composto

5.2.1 Relação Carbono/Nitrogênio

Ao observar os resultados apresentados no Gráfico 8, verificou-se que os valores da relação C/N foram bem variáveis ao longo do tempo. Esse fato pode estar relacionado à alimentação contínua das composteiras, que se encerrou entre 43 e 67 dias, provocando uma oscilação da concentração de carbono e nitrogênio; além disso, tem-se a característica heterogênea do sistema, pelo fato de não ocorrer mistura do material.

Gráfico 8- Variação média da relação C/N na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3



Fonte: Autor (2016).

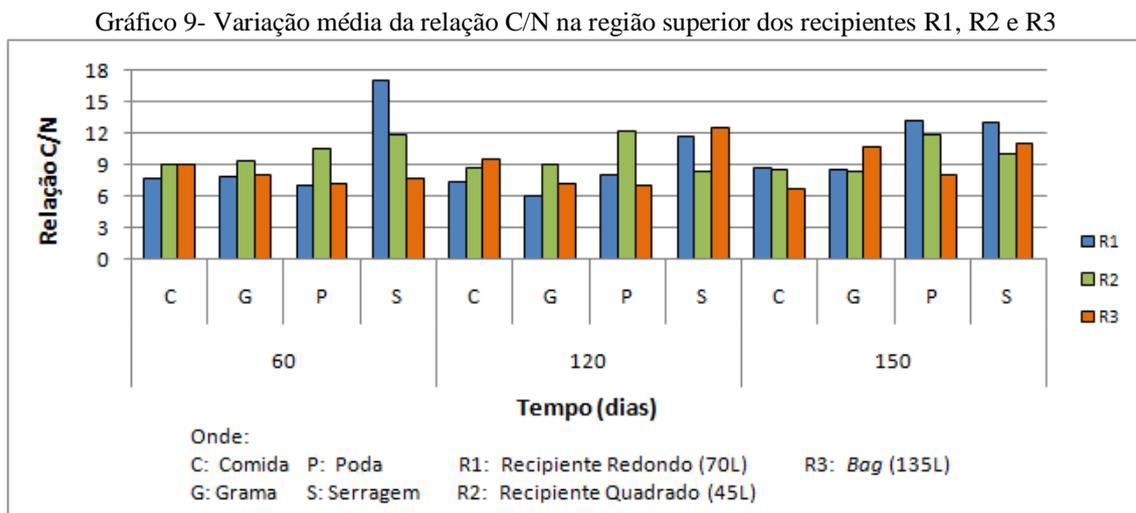
Apesar dessa variação, é possível verificar que entre 60 e 90 dias os valores começam a decrescer. As composteiras alimentadas com grama e aquelas com apenas comida, por terem baixa relação C/N, não atingiram valores ideais; rapidamente os valores caíram, permanecendo abaixo de 10. A variação da C/N foi bem pequena nas composteiras com comida, fato demonstrado por Yang *et al.* (2013), que avaliaram a compostagem com recipientes de 60L, utilizando tanto resíduos provenientes de cozinha como único material a participar do processo quanto outros recipientes com agentes estruturantes adicionados. As composteiras constituídas de resíduos de comida, exclusivamente, apresentaram C/N de 32 no início e 22 ao final.

No caso dos sistemas alimentados com grama, não era possível compensar a introdução de maior quantidade de material estruturante para aumentar a relação, pois o volume total da composteira era preenchido com poucas adições de material, tornando o sistema inviável para a metodologia doméstica proposta. Em 30 dias, os recipientes com grama já estavam com valores dentro ou próximos à faixa ideal considerada, entre 10 e 15, apesar de seu aspecto ainda não estar característico de material em maturação e a fase mesofílica também não ser predominante.

Quanto à poda, a relação ficou satisfatória a partir de 90 dias, exceto para R3, que ficou abaixo, embora seja o maior recipiente. A quantidade de material introduzida na parte superior pode não ter influenciado o suficiente, pelo fato já mencionado das composteiras terem permanecido “deitadas” à medida que eram preenchidas. Tratando-se da serragem, verificou-se que R2 em 90 dias encontrava-se com valor de $13,17 \pm 0,80$ e os outros

recipientes (R1 e R3), apenas em 120 dias é que a relação caiu para $12,38 \pm 2,08$ e $12,96 \pm 1,87$, respectivamente.

Avaliando-se o processo de compostagem da região superior, por meio do Gráfico 9, percebeu-se que a relação C/N em 60 dias após a alimentação contínua, encontrava-se baixa, na maioria dos casos, apesar do aspecto ainda de material não decomposto.



Fonte: Autor (2016).

Em 120 dias, apenas R2-P e R2, R3-S encontram-se dentro da faixa entre 10 e 15. E em 150 dias, quando o composto já se encontrava com aspecto e cheiro de material em maturação, as composteiras R3-G; R1, R2-P; R1, R2 e R3-S possuíam valores dentro da faixa mencionada. De acordo com Kiehl (1998), relações entre 8 e 12 podem indicar a fase ainda anterior à estabilização, a humificação. Portanto, os recipientes que não obtiveram os valores ideais podem passar mais tempo até atingir esses resultados, oferecendo melhor qualidade à cultura que se pretende usar.

Tatano *et al.* (2015) aplicaram a compostagem doméstica em recipientes com capacidade de 310L, aeração natural proporcionada por aberturas, fendas e a presença de um cone com furos no interior das composteiras. Além disso, a alimentação era realizada duas vezes por semana constituída de resíduos de comida e materiais estruturantes diversos. Os autores verificaram que as composteiras montadas em uma casa e em uma universidade apresentaram uma relação C/N inicial na faixa de 30-40, atingindo valores entre 15-20 a partir de 12 meses de compostagem. Os recipientes montados em uma casa do meio rural e em um edifício residencial apresentaram valores iniciais na faixa de 10-15 e finais de 5-10.

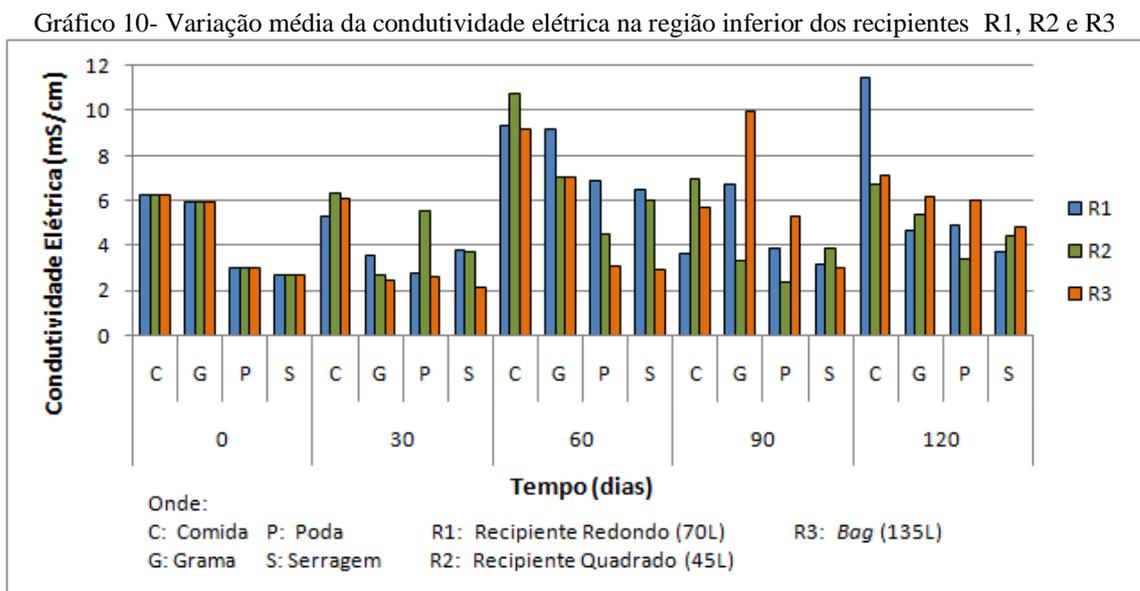
A partir da avaliação da humificação da matéria orgânica, Tatano *et al.* (2015) concluíram que os recipientes do segundo caso obtiveram os maiores valores. Levando-se em consideração essa avaliação, porém focando apenas na relação C/N, no presente trabalho, os

recipientes com grama e poda, que apresentaram valores abaixo de 10 e que se encontravam na fase mesofílica a partir de 90 dias, têm potencial em qualidade no composto final.

Karnchanawong e Nissaikla (2014), utilizando recipientes de 200L com alimentação contínua durante os primeiros 60 dias e revolvimento diário, encontraram uma relação C/N com um decaimento linear e, ao final de cerca de 100 dias, o material atingiu a faixa de 10-15. Realizando-se uma comparação com o material do fundo dos recipientes deste experimento, percebe-se que, em 120 dias, a maioria dos recipientes com grama poda e serragem apresentou valores dentro ou próximos à faixa. O tempo atingido foi próximo ao trabalho dos autores citados, apesar de haver vantagem no presente trabalho pelo fato de não ter sido realizado o revolvimento do material e o volume utilizado ainda ser menor.

5.2.2 Condutividade elétrica

As composteiras do presente trabalho apresentaram comportamentos semelhantes entre si na redução e aumento dos valores, a partir da análise do material coletado na região inferior dos recipientes, como são apresentados no Gráfico 10. De acordo com Oliveira (2010), ao decorrer do processo de maturação do composto, ocorre a mineralização da matéria orgânica e a quantidade de sais deve diminuir.



Fonte: Autor (2016).

Neste experimento, observou-se que houve redução dos valores da maioria das composteiras em 30 dias, aumento em 60 e diminuição em 90, com exceção para G e P em

R3, que aumentaram de $7,06 \pm 0,8$ para $9,98 \pm 1,1$ mS/cm e $3,11 \pm 0,8$ para $5,26 \pm 4,3$ mS/cm, respectivamente. Em 120 dias, houve acréscimo nos valores da maioria novamente. Os valores finais verificados foram de $11,46 \pm 1,2$; $6,73 \pm 4,3$; $7,14 \pm 1,6$ mS/cm, respectivamente para os recipientes R1, R2 e R3 com C; $4,66 \pm 2,1$; $5,42 \pm 2,6$; $6,15 \pm 1,8$ mS/cm para G; $4,93 \pm 2,0$; $4,39 \pm 1,1$; $6,04 \pm 0,7$ mS/cm para P e $3,74 \pm 3,5$; $4,40 \pm 1,9$; $4,85 \pm 0,4$ mS/cm para S.

No experimento de Cordeiro (2010) com pilhas de compostagem, encontraram-se diferenças entre os valores de CE, justificadas pela quantidade de água adicionada e frequência de revolvimento. As pilhas com condutividade mais elevada ficaram mais tempo sem receber adição de água e foram revolvidas com menor frequência. Quanto às composteiras deste trabalho, o aumento da CE também pode estar relacionado à falta de adição de água bem como à ausência de revolvimento.

Comparando-se com o teor de umidade verificado no Gráfico 4, a partir de 90 dias a umidade decresceu notadamente para os recipientes com grama e comida, ficando abaixo da faixa de recomendação, enquanto os valores das outras composteiras ficaram dentro dessa faixa. As composteiras com C apresentaram valores significativamente maiores em relação às outras, enquanto G apresentou valores próximos a S e P. Portanto, não se pode justificar essa oscilação entre aumento e redução de valores ao longo do tempo pelo teor de umidade. Tal fato pode ser atrelado novamente ao transporte dos sais pela água, já que a região superior apresentava mais sais que a inferior, devido ao acréscimo mais recente na primeira região. Em relação à diferença entre C e os outros materiais, pode-se explicar pela ineficiente mineralização da matéria orgânica devido à falta de material estruturante.

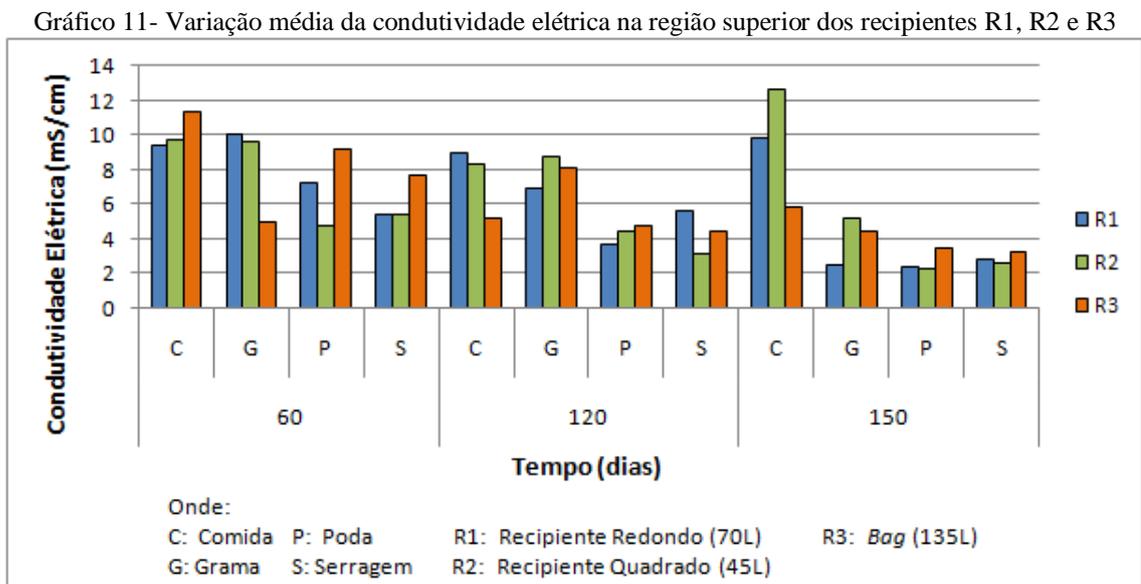
Faverial e Sierra (2014) compararam parâmetros de qualidade final de adubo em composteiras domésticas de 400L, com alimentação contínua e revolvimento do material, em 10 diferentes localidades de Guadalupe no Caribe. Após 12 semanas de compostagem, eles encontraram um valor médio de 3,4 mS/cm; tal valor está abaixo do limite de recomendação seguido por alguns países europeus que é de 6 mS/cm. Os autores recomendam o acréscimo de material estruturante para se diminuir a quantidade de sais quando estiverem acima do limite de recomendação. Comparando-se a este experimento, os valores obtidos neste trabalho foram maiores; todos os C passaram do limite de 6 mS/cm e, quanto ao restante, apenas R3 com G ficou acima, fato que se relaciona à baixa relação C/N.

Karnchanawong e Nissaikla (2014) encontraram valores entre 4,2 e 5 mS/cm após 150 dias de compostagem doméstica em recipientes de 200L, com alimentação contínua durante os primeiros 60 dias e revolvimento diário. Tais valores estão próximos à faixa de

variação encontrada neste experimento, que foi de 3,74 a 6,15 nas composteiras com material estruturante.

Entretanto, para Kiehl (1998) e Lasaridi *et al.* (2006), o limite considerado tolerável para plantas de média sensibilidade é de 4 mS/cm; dessa forma, apenas o recipiente R1 com S, ficou abaixo desse limite. Para Manios (2004), Farrel e Jones (2009), processos de compostagem com uso de resíduos sólidos municipais pode apresentar um nível relativamente elevado de sais inorgânicos comparado com outros substratos (lodos, resíduos agrícolas, entre outros). Isto pode ser explicado pelo elevado grau de decomposição de materiais orgânicos, especialmente ricos em proteínas, o que leva à acumulação de vários sais solúveis em água.

Analisando-se os resultados apresentados na coleta de material da região superior, de acordo com o Gráfico 11, percebeu-se que após 120 dias de término da alimentação contínua, equivalendo a 210 dias do início do processo total, já estavam abaixo de 6 mS/cm os recipientes com P e S, mas ainda acima de 4 mS/cm, exceto para R1 com P e R2 com S, que ficaram abaixo. Enquanto C e G encontravam-se acima de 6 mS/cm.



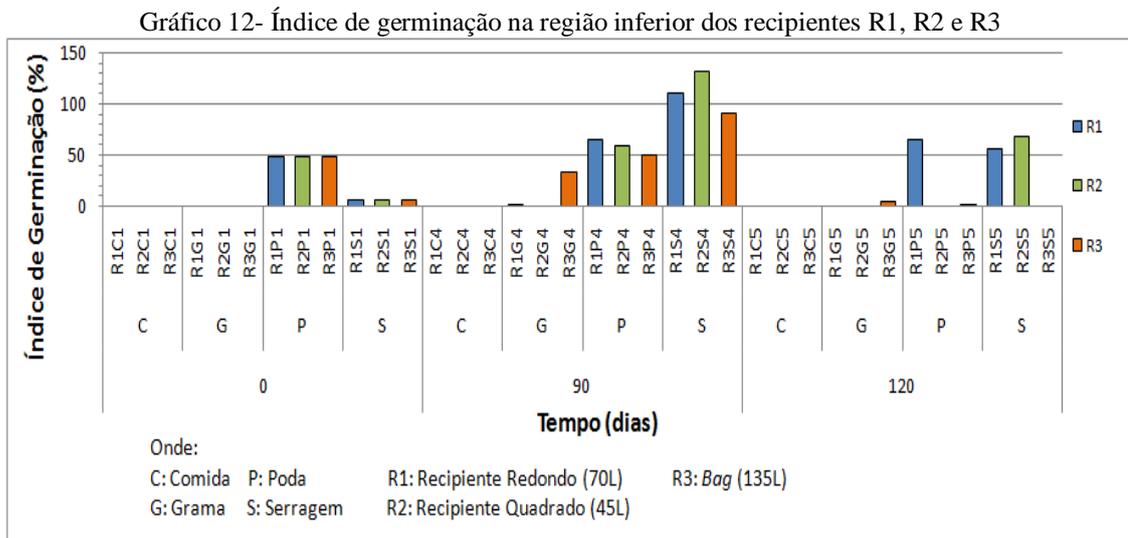
Fonte: Autor (2016).

Tratando-se do tempo de 150 dias, G reduziu para $2,46 \pm 2,1$; $5,21 \pm 3,5$ e $4,42 \pm 1,1$, respectivamente para R1, R2 e R3, P apresentou os valores de $2,4 \pm 1,8$; $2,32 \pm 1,1$ e $3,50 \pm 1,4$ mS/cm e S, $2,85 \pm 1,6$; $2,62 \pm 1,2$ e $3,25 \pm 2,9$ mS/cm. As composteiras com C apresentaram valores ainda maiores, com exceção para R3 que atingiu 5,8 mS/cm, as outras apresentaram valores acima de 9 mS/cm.

5.2.3 *Índice de germinação*

O índice de germinação de sementes é um parâmetro que se relaciona com a toxicidade do composto. De acordo com Bertoldi, Vallini e Pera (1982), o comportamento da toxicidade segue um padrão, sendo relativamente baixo antes da compostagem, aumentando na fase intermediária e caindo para zero no final do processo.

Neste experimento, escolheu-se analisar a toxicidade a partir do período em que a relação C/N teve considerável decréscimo, bem como, a temperatura registrada encontrava-se no período de maturação definido por valores próximos à temperatura ambiente. Esse período foi registrado em 90 dias de compostagem. O Gráfico 12 ilustra o comportamento do índice de germinação a partir da coleta do material na região inferior dos recipientes.



Fonte: Autor (2016).

No tempo de 90 dias, as composteiras com C apresentaram valores considerados nulos de acordo com o teste, representando alta toxicidade, bem como aquelas com G, exceto R3 com 32,61. Para P, os valores foram maiores, em torno de 50%. E os recipientes com S apresentaram valores em torno de 100%. Em 120 dias, os valores decaíram consideravelmente, estando apenas os recipientes R1 com P e com S, bem como, R2 com S, apresentando valores em torno de 50%.

Tais resultados podem estar relacionados com a condutividade elétrica do material em compostagem, já que, como foi dito anteriormente, em 90 dias a CE diminuiu e aos 120, aumentou. Segundo Manios (2004), a CE pode ser um fator limitante na qualidade final do composto produzido. Adubos com alto teor de CE pode apresentar um comportamento

fitotóxico afetando o crescimento de sementes quando usado em grandes quantidades (mais de 30% em volume).

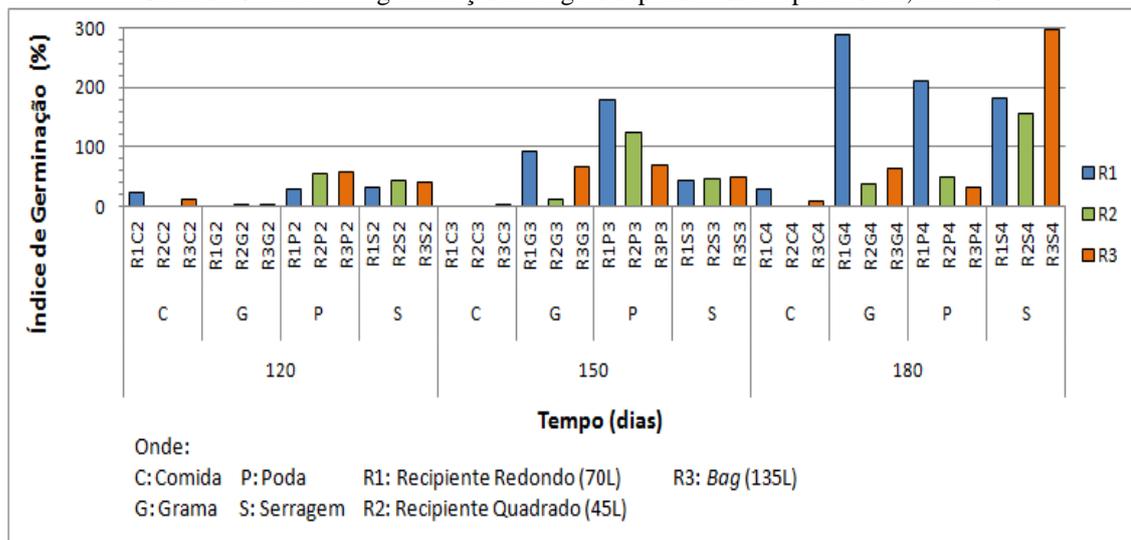
A presença de metais pesados também afeta a qualidade e adequação dos compostos, quando presente ou quando estão em quantidade acima de uma determinada concentração. Entretanto, a fração biodegradável dos resíduos sólidos urbanos geralmente não é uma fonte de poluição, tratando-se desses metais, uma vez que, se presentes, podem estar em concentrações tão baixas que não são considerados potencialmente tóxicos (BERTOLDI, VALLINI e PERA, 1982). Apesar de não ter havido análises de metais nesta pesquisa, isso pode ser considerado, já que o resíduo orgânico rico em nitrogênio inserido nas composteiras era de origem exclusiva de cozinha, restos alimentares dos usuários do restaurante universitário.

De acordo com CCQC (2001), para valores maiores que 90, o composto é considerado muito maduro, entre 80 e 90 é maturado e menor que 80, é imaturo. Para Riffaldi *et al.* (1986), quando o índice está acima da faixa de 80 a 85%, o composto é definitivamente não tóxico.

Nessa perspectiva, analisando-se a Gráfico 12, apenas as composteiras com serragem é que apresentaram valores de índice de germinação acima de 90 em 90 dias, sendo considerados compostos muito maduros, abrangendo qualquer uso como adubo. Quanto aos outros recipientes/materiais, sequer chegaram a valores próximos de 80. Em 120 dias, nenhum dos materiais alcançou os valores considerados satisfatórios.

Tratando-se da análise na superfície dos recipientes, pelo Gráfico 13, verificou-se que em 120 dias após o fim da adição de material, todos os recipientes/materiais encontram-se com valores abaixo de 80.

Gráfico 13- Índice de germinação na região superior dos recipientes R1, R2 e R3



Fonte: Autor (2016).

Em 150 dias, R1-G e R2-P apresentam valores acima de 100. E, em 180 dias, R1-G permaneceu com valor acima de 100, todos os recipientes com serragem atingiram também valores altos, R1-P apresentou índice de 209, já R2-P decaiu para 48. Para Carballo *et al.* (2009), a presença de amônia e ácidos orgânicos de baixo peso molecular tem efeitos inibitórios na germinação de sementes. Apesar desses parâmetros não terem sido avaliados, podem ter influenciado nessa condição desfavorável à germinação de R2 e R3-P, visto que, tanto a relação C/N quanto a condutividade elétrica apresentaram valores aceitáveis, de acordo com a literatura. Percebeu-se ainda que até o grau de polimerização, indicativo da humificação da matéria orgânica e que será mencionado adiante, se encontrava com valores ótimos. Em relação aos recipientes com grama, R2 e R3, apresentaram valores de condutividade acima de 4 mS/cm, valor considerado possível de fornecer fitotoxicidade ao material.

Silva *et al.* (2009b), testaram pilhas de compostagem trabalhando com esterco de galinha. Utilizaram 3 sistemas variando a relação C/N entre eles. A pilha 1 não possuía material estruturante, tendo sido utilizadas apenas lascas de madeira para dar volume; nas pilhas 2 e 3 foram acrescidos materiais como palha de trigo e serragem em proporções diferentes, sendo a pilha 3 com relação C/N maior. Os autores concluíram que a pilha 1 se sobressaiu diante de características como fitotoxicidade, condutividade elétrica e grau de humificação, apresentando resultados negativos. As pilhas 2 e 3 apresentaram resultados melhores, sendo a 2 com maior destaque devido a menor relação C/N, resultando numa maior quantidade de nitrogênio e menor condutividade.

Ao analisar o experimento de Yang *et al.* (2013), que utilizaram reatores de 60L alimentados uma única vez com diferentes agentes estruturantes e resíduos de cozinha; além da presença de um sistema de bombeamento de ar controlado, percebeu-se que o comportamento de um sistema com alimentação contínua, aeração natural e sem revolvimento é bem diferente no que tange ao tempo de decomposição do material e ao índice de germinação.

Yang *et al.* (2013) alcançaram-se índice acima de 80% em torno de 14 dias de compostagem; em tempos seguintes os índices apenas cresceram e estabilizaram. Tratando-se de um teste controle realizado sem a presença de material estruturante, ao fim do período considerado como fim da compostagem, com cerca de 28 dias, não se obteve valor satisfatório, mesmo diante das melhores condições do sistema. Verifica-se, portanto, a importância da adição do agente estruturante.

Colón *et al.* (2010) desenvolveram a compostagem doméstica utilizando resíduos de frutas, vegetais e poda de árvore. O sistema possuía volume de 504,7L com frequência de alimentação de uma vez por semana e revolvimento do material na camada superior. A aeração era proporcionada por aberturas do recipiente. Após 12 semanas de compostagem, o material extraído da camada inferior do recipiente encontrava-se com índice de germinação acima de 100%, indicando, além de ausência de fitotoxicidade, efeito positivo no crescimento da planta. Esse resultado pode ter sido atingido devido ao fato da adição de apenas resíduos de frutas e vegetais como agentes nitrogenados, considerando uma condutividade elétrica possivelmente bem baixa em relação aos outros tipos de resíduos de alimentos produzidos em cozinhas residenciais.

5.2.4 Grau de polimerização

Além dos parâmetros descritos anteriormente que definem a maturação do composto, pode-se acrescentar a proporção das substâncias húmicas presentes no material compostado, sendo elas representadas pelos ácidos fúlvicos, ácidos húmicos e humina. De acordo com Dias (2009), as substâncias húmicas informam sobre os processos que regulam ou determinam os benefícios que o fertilizante promoverá no solo e nas plantas.

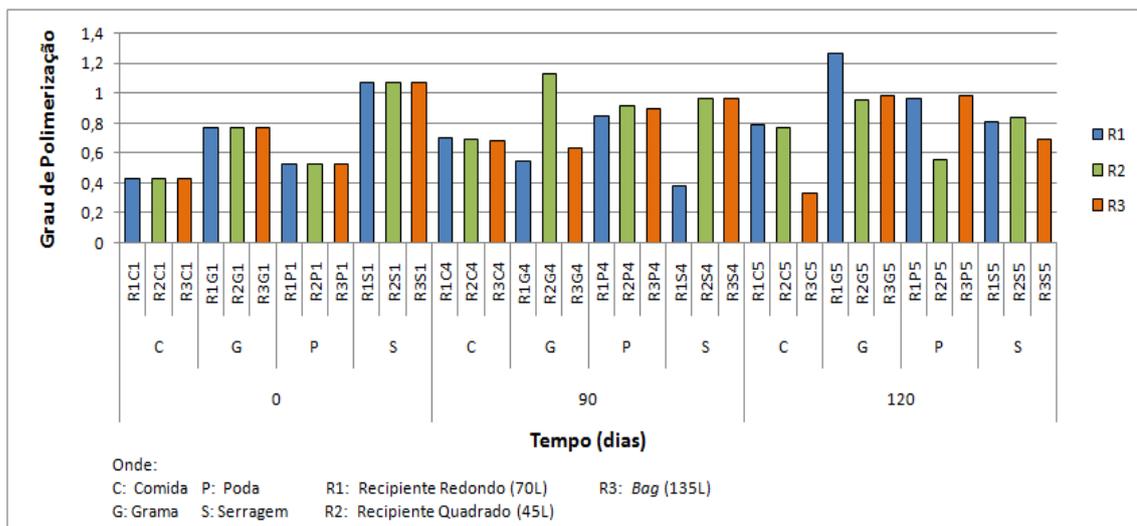
Segundo Roletto *et al.* (1985) *apud* Silva (2009b), a proporção entre ácidos húmicos e ácidos fúlvicos, chamada de grau de polimerização, deve atingir valores maiores que 1 para indicar um grau elevado de condensação dos componentes aromáticos, caracterizando o composto amadurecido, isto porque, de acordo com Canellas *et al.* (2001),

os ácidos húmicos representam a fração reativa mais estável da matéria orgânica humificada, por isso deve ter maior representação.

Analisando-se o grau de polimerização do composto coletado na região inferior dos recipientes do presente trabalho, ilustrado pelo Gráfico 14, verificou-se que, em 90 dias, período em que se observou a fase mesofílica predominante, os recipientes/materiais que apresentaram valores próximos ou maiores que 1 foram R2-G; R2 e R3-S com valores de 1,13; 0,96; 0,96; respectivamente.

Em 120 dias, todos os recipientes com grama apresentaram valores bem próximos de 1, bem como, R1 e R3-P. Os valores foram 1,26; 0,96; 0,98; 0,97; 0,98; respectivamente para R1-G, R2-G, R3,G, R1-P e R3-P. Observa-se que existe uma oscilação dos valores entre 90 e 120 dias.

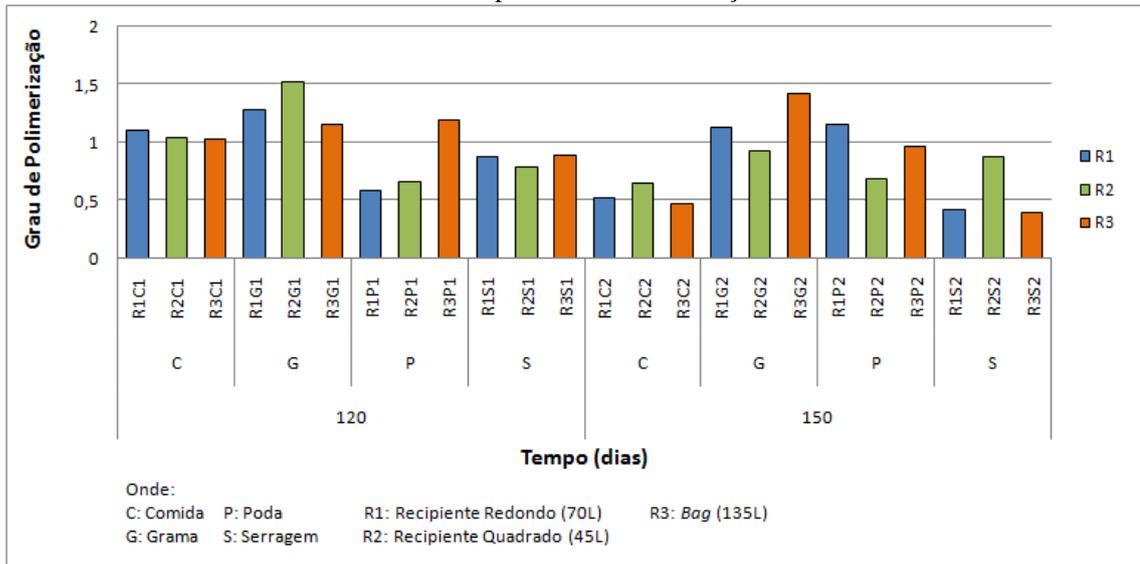
Gráfico 14- Grau de polimerização na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3



Fonte: Autor (2016).

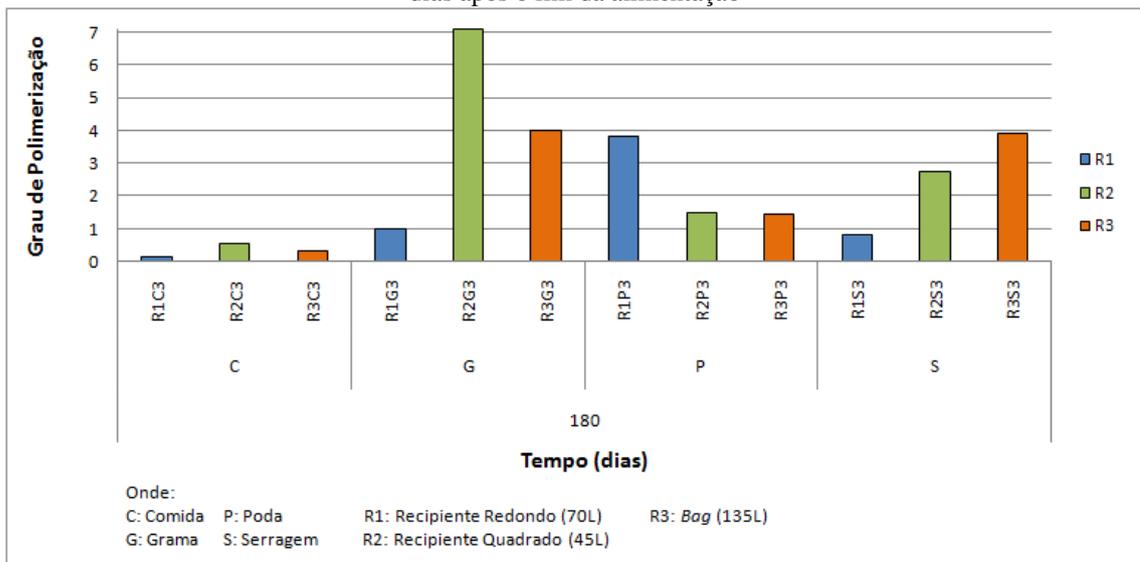
Referindo-se aos valores encontrados na região superior dos recipientes apresentados nos Gráficos 15 e 16, observou-se que a maioria dos recipientes encontra-se com valores acima de 1, em 120 dias após o fim da alimentação diária, exceto R1 e R2-P, com valores de 0,59 e 0,66; e os recipientes com serragem. Em 150 dias, os recipientes com grama, R1/R3-G e R1-P possuem valores dentro do ideal. Em 180 dias, os valores de quase todas as composteiras ficaram acima de 1, exceto aquelas alimentadas com comida e R1-S, que apresentou 0,83.

Gráfico 15- Grau de polimerização na região superior dos recipientes R1, R2 e R3 referente aos tempos de 120 e 150 dias após o fim da alimentação



Fonte: Autor (2016).

Gráfico 16- Grau de polimerização na região superior dos recipientes R1, R2 e R3 referente ao tempo de 180 dias após o fim da alimentação



Fonte: Autor (2016).

A variação do grau de polimerização também foi encontrada ao longo da compostagem de resíduos de plantas medicinais e de esterco de galinha, estudos realizados, respectivamente, por Silva (2005) e Dias (2009). De acordo com Silva (2005), pode ser devido a pouca especificidade da maioria das técnicas de extração de substâncias húmicas que, em geral, podem quantificar outros compostos como proteínas, carboidratos e até lipídeos.

Além disso, segundo Jindo *et al.* (2016), as substâncias húmicas podem sofrer degradação ao longo do processo de compostagem. Para melhorar as propriedades

recalcitrantes de ácidos húmicos, os autores adicionaram biochar à compostagem de esterco de galinha e de vaca, encontrando resultados positivos ao final do processo.

Silva *et al.* (2009b), ao realizar compostagem utilizando apenas esterco de galinha sem adição de material estruturante, encontraram ao final do processo um valor de 0,2 para o grau de polimerização. No presente trabalho, as composteiras alimentadas apenas com comida também apresentaram valores abaixo de 1 no final da compostagem, variando de 0,15 a 0,54, entre os recipientes utilizados, retificando-se a importância do uso de agente estruturante.

Apesar dos recipientes com grama terem se sobressaído relacionando o tempo de compostagem e o grau de polimerização, haja vista que em 120 dias de processo de decomposição da região inferior e em 150 dias após o fim da alimentação na região superior os resultados apresentam-se positivos, os compostos produzidos a partir de poda de árvore ou serragem podem ter maior vantagem. De acordo com Xiong *et al.* (2010), os ácidos húmicos produzidos a partir da compostagem utilizando como agentes estruturantes materiais com maior teor de lignina, como é o caso da poda de árvore e serragem, em relação à grama, apresentam-se com maior capacidade de complexação, característica que favorece à ligação com metais pesados, tornando-os menos disponíveis no solo.

5.3 Características finais do composto produzido

5.3.1 *pH, umidade, nitrogênio total, carbono orgânico, relação C/N, condutividade elétrica, índice de germinação e grau de polimerização*

Pela análise realizada anteriormente dos parâmetros de monitoramento e indicadores de maturidade do material compostado, percebeu-se que apenas em 180 dias após o fim da alimentação contínua, ou seja, 300 dias de compostagem da massa total é que a maioria das unidades experimentais apresentava-se com características indicativas de boa qualidade do produto, de acordo com os resultados de condutividade elétrica, índice de germinação e grau de polimerização. A Tabela 5 resume os valores finais encontrados em cada unidade experimental de compostagem deste trabalho.

Tabela 5- Valores finais obtidos nos recipientes R1, R2 e R3 com o respectivo material estruturante

Recip.	Estrut.	pH	Umidade (%)	Nitrogênio Total (%)	Carbono Orgânico (%)	Relação C/N	CE* (mS/cm)	IG* (%)	GP*
R1	C	7,49	28,89	3,96	34,21	8,70	9,78	27,76	0,15
R1	G	7,13	45,51	2,49	21,25	8,57	2,46	289,50	1,03
R1	P	6,26	57,74	2,47	32,43	13,21	2,40	209,99	3,83
R1	S	5,94	63,72	2,37	28,46	13,03	2,85	183,01	0,83
R2	C	6,87	26,76	4,41	37,36	8,49	12,61	0,00	0,54
R2	G	7,66	55,27	3,32	25,00	8,27	5,21	36,44	7,08
R2	P	6,09	63,77	1,82	21,50	11,80	2,32	47,69	1,48
R2	S	6,41	53,13	3,24	31,99	10,07	2,63	155,53	2,75
R3	C	6,87	16,25	4,25	25,66	6,03	8,30	9,05	0,32
R3	G	6,04	35,72	2,59	27,15	10,63	4,42	61,92	3,99
R3	P	6,01	55,49	2,68	20,75	7,97	3,50	31,17	1,45
R3	S	6,04	35,00	2,61	29,56	10,96	3,26	296,67	3,93

Fonte: Autor (2016).

*CE: Condutividade elétrica; IG: índice de germinação; GP: grau de polimerização.

De acordo com a Instrução Normativa MAPA nº 25 de 2009, a classificação dada ao composto obtido neste experimento é a Classe A, pois durante o processo de compostagem não foram inseridos metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos. Compostos dessa classe devem possuir no mínimo 15% de carbono orgânico; 0,5% de nitrogênio total (limite mínimo), $\text{pH} \geq 6$, umidade e relação C/N máximas de 50% e 20, respectivamente.

Tendo em vista o atendimento dos fertilizantes produzidos neste trabalho à instrução normativa citada e realizando-se uma análise individual das composteiras, verificou-se que quanto ao pH apenas R1-S encontra-se abaixo do limite, entretanto, considerando o valor bem próximo da norma e índice de germinação com valor ideal, acredita-se que não seja um resultado negativo para o sistema.

Em relação à umidade, R1-P, R1-S, R2-G, R2-P e R3-P apresentaram valores acima de 50%. Como foi citado anteriormente, normalmente as normas determinam tal valor máximo devido a questões de conservação no transporte do material compostado produzido, porém isso não é problema para os casos em que a produção é caseira tem como objetivo a utilização *in loco*. Tratando-se dos parâmetros, nitrogênio total, carbono orgânico e relação C/N, o material de todas as composteiras encontra-se dentro das quantidades estabelecidas pela norma.

Quanto à condutividade elétrica, esse parâmetro não é regulamentado pela IN nº 25 de 2009 (tal como índice de germinação e grau de polimerização), entretanto R1-C, R2-C, R3-C, R2-G e R3-G apresentaram valores acima do recomendado pela literatura. Para uma utilização do material compostado, recomenda-se o uso inferior a 30% em volume. Como se

verificou que a CE está atrelada ao índice de germinação na maioria dos casos, utilizando-se essa quantidade inferior a 30% em volume, pode-se realizar o uso do composto sem haver maiores efeitos tóxicos.

Em relação aos casos em que não houve a concordância entre CE e IG, bem como R2-P e R3-P, que tiveram efeitos tóxicos embora a CE estivesse abaixo de 4 mS/cm, recomenda-se um maior tempo de compostagem para que possíveis compostos como amônia e ácidos orgânicos de baixo peso molecular sejam liberados ou degradados.

Quanto ao grau de polimerização, verificou-se que na maioria dos casos, o material produzido apresentou valores considerados ótimos, exceto para as composteiras constituídas de comida (exclusivamente) R1-S. No primeiro caso, percebeu-se a importância da presença de material estruturante na formação dessas substâncias húmicas e sua ausência decorre numa qualidade final inferior. No que se refere ao R1-S, como o valor de 0,83 ficou bem próximo ao ideal 1, tal fato pode ter ocorrido pela diferença de massa inserida na composteira que resultou nesse valor pouco abaixo.

Comparando-se as diferenças entre as composteiras e materiais, por meio da análise de variância verificou-se que em relação ao pH e à umidade, os recipientes diferiram entre si ($p < 0,05$), assim como os estruturantes; e houve diferença significativa ao se tratar da combinação entre recipiente e estruturante para pH.

Quanto ao carbono orgânico e relação C/N não há diferenças significativas ($p > 0,05$). Tratando-se de nitrogênio total e condutividade elétrica, há diferenças significativas entre estruturantes, mas não entre recipientes. Pelo teste de Tukey apresentado na Tabela 6, que foi realizado apenas com os parâmetros que resultaram em $p < 0,05$, verificou-se que, em relação ao pH, as composteiras com comida e aquelas em que a grama foi adicionada, apresentaram comportamento semelhante, assim como as de poda e serragem entre si.

Tabela 6- Valores das médias finais comparando-se os estruturantes

Parâmetro	Comida	Grama	Poda	Serragem
pH	7,33 ± 0,31 a	6,94 ± 0,77 a	6,12 ± 0,31 b	6,13 ± 0,44 b
Umidade (%)	31,69 ± 5,77 c	45,50 ± 9,21 b	59,00 ± 7,58 a	50,62 ± 16,16 ab
Nitrogênio total (%)	4,23 ± 0,62 a	2,80 ± 0,66 b	2,32 ± 0,52 b	2,74 ± 0,63 b
Condutividade Elétrica (mS/cm)	10,44 ± 2,31 a	4,03 ± 2,43 b	2,74 ± 1,39 b	2,91 ± 1,80 b

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

**Para os parâmetros de índice de germinação e grau de polimerização não foram realizados o teste de Tukey devido à ausência de replicatas.

Tratando-se de umidade, obteve-se uma variação entre os materiais, sendo a poda com maior valor, comida e grama, com os menores. Nesses, como dito anteriormente, houve pouca adição de água, sendo mais significativa devido às chuvas irregulares.

Em relação ao nitrogênio total e condutividade elétrica, os três estruturantes propriamente ditos (grama, poda e serragem) não apresentaram diferenças significativas.

Em termos de diferenças entre recipientes, apenas o pH e a umidade apresentaram $p < 0,05$. De acordo com a Tabela 7, o recipiente R3 apresentou menores valores e R1 se assemelhou a R2.

Tabela 7- Médias de pH e umidade com diferenças significativas entre os recipientes

Parâmetros	R1	R2	R3
pH	6,70 ± 0,72 a	6,75 ± 0,75 a	6,03 ± 0,32 b
Umidade (%)	48,96 ± 14,92 ab	55,66 ± 7,87 a	42,07 ± 14,48 b

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Analisando-se os pares recipientes/estruturantes que resultaram em $p < 0,05$ para os valores de pH, de acordo com a Tabela 8, percebeu-se que o recipiente R3 proporcionou menor valor, independente do estruturante, podendo estar relacionado à umidade menor. Entretanto, pelo fato dos valores apresentados estarem dentro do considerado aceitável, não é necessário intervenção.

Tabela 8- Valores médios de pH com diferença significativa na interação entre recipientes e estruturantes

Interação	pH*
R1-C	7,49 ± 0,00 ab
R1-G	7,13 ± 0,21 ab
R1-P	6,26 ± 0,47 bc
R1-S	5,94 ± 0,42 c
R2-C	6,87 ± 0,00 abc
R2-G	7,66 ± 0,28 a
R2-P	6,09 ± 0,23 bc
R2-S	6,41 ± 0,55 bc
R3-C	6,87 ± 0,00 abc
R3-G	6,04 ± 0,46 c
R3-P	6,01 ± 0,25 c
R3-S	6,04 ± 0,36 c

Fonte: Autor (2016).

*Coluna com letras iguais diferem ao nível de 5%.

Notou-se também que quando há serragem e poda, esses materiais proporcionam um valor de pH mais baixo, se sobressaindo quanto à influência do recipiente.

Analisando-se a Tabela 9, a qual se refere aos valores encontrados do material compostado coletado na região inferior das composteiras em 90 dias de processo, verificou-se que a maioria das composteiras atende aos parâmetros estabelecidos pela IN nº 25 de 2009. Com exceção da umidade, porém como foi mencionado anteriormente, tal efeito não é negativo para as condições do estudo.

Tabela 9- Valores dos parâmetros obtidos em 90 dias de compostagem na região inferior dos recipientes R1, R2 e R3 com o respectivo material estruturante

Recip.	Estrut.	pH	Umidade (%)	Nitrogênio Total (%)	Carbono Orgânico (%)	Relação C/N
R1	C	6,95	35,97	4,74	27,15	5,83
R1	G	7,94	63,60	2,89	25,04	5,67
R1	P	7,05	43,13	2,23	33,61	9,63
R1	S	7,14	47,43	1,78	35,55	12,38
R2	C	6,61	15,12	3,73	25,36	10,37
R2	G	8,05	54,79	4,13	28,20	9,25
R2	P	6,97	53,93	2,27	32,63	9,83
R2	S	6,64	56,92	2,04	26,82	12,39
R3	C	7,59	24,31	4,16	30,63	7,14
R3	G	6,89	50,49	3,38	28,95	9,37
R3	P	7,19	30,62	3,23	27,76	7,82
R3	S	6,54	43,89	2,05	34,28	12,97

Fonte: Autor (2016).

Ao realizar o teste estatístico de análise de variância, percebeu-se que não houve diferenças significativas entre recipientes nem entre recipientes e estruturantes juntos, para os parâmetros citados na Tabela 9. Houve diferenças significativas apenas para estruturantes. No caso da umidade, obteve-se $p > 0,05$ em todos os testes. Pelo teste de Tukey da Tabela 10, verifica-se os valores médios encontrados dos parâmetros com $p < 0,05$ entre os estruturantes.

Tabela 10- Valores médios de pH comparando-se os estruturantes

	Comida	Grama	Poda	Serragem
pH	5,51 ± 1,28 b	6,95 ± 1,26 a	7,21 ± 1,01 a	7,00 ± 1,10 a
Nitrogênio Total (%)	4,26 ± 0,85 a	3,33 ± 1,00 b	2,84 ± 0,84 c	2,36 ± 0,66 d
Carbono Orgânico (%)	35,00 ± 7,44 b	34,20 ± 8,77 b	38,93 ± 7,66 a	40,19 ± 7,36 a
Relação C/N	8,54 ± 2,48 d	10,89 ± 3,62 c	14,82 ± 4,99 b	18,49 ± 6,96 a

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra nas linhas não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

A partir desses dados, observou-se que, quanto ao pH, poda se assemelha à serragem e comida à grama. Quanto ao carbono orgânico, nitrogênio total e relação C/N, todos possuem resultados significativamente diferentes $p < 0,05$. Essas diferenças podem estar relacionadas ao tempo de compostagem de 90 dias, considerado ainda baixo, mas que já atende aos parâmetros da normativa.

5.3.2 *Balço de massa total*

Tratando-se de produção de composto, pela Tabela 11, são observados os valores de massa inicial, final e a redução total da massa compostada de cada composteira.

Tabela 11- Massas iniciais, finais e redução total da massas inseridas nos recipientes R1, R2 e R3 com respectivos materiais estruturantes

Recip.	Estrut.	Massa Inicial (Kg)	Massa Final* (Kg)	Redução (%)
R1	C	90,15	1,14	98,18
R1	G	71,20	1,27	96,68
R1	P	73,87	4,77	83,67
R1	S	99,07	3,37	90,06
R2	C	85,14	1,21	98,01
R2	G	65,48	1,03	96,43
R2	P	68,33	3,18	87,01
R2	S	53,73	2,15	91,19
R3	C	117,71	1,05	98,94
R3	G	98,89	4,44	92,85
R3	P	165,62	12,83	82,84
R3	S	150,95	14,32	84,83

Fonte: Autor (2016).

*Massa seca

Observando-se os valores de massa final, percebeu-se que a quantidade de material resultante é baixa, principalmente quando se trata de materiais com baixa relação C/N, como a grama e a comida. Entretanto, levando-se em consideração que a redução dos resíduos orgânicos que seriam enviados para aterro sanitários produzindo CO₂, metano e outros gases, o processo de compostagem foi muito eficaz como um método para tratar resíduos orgânicos domésticos sem produzir os gases do efeito estufa, visto que os valores de redução de massa foram consideravelmente altos, variando de 83 a 98%, tratando-se das composteiras com material estruturante.

Segundo Vallini (1995) *apud* Cordeiro (2010), a compostagem provoca uma redução do volume da biomassa inicial de 25 a 50%, devido tanto à evaporação de água como

à transformação da matriz constituída por partículas grosseiras em partículas finas. O autor atribui à diminuição da umidade como principal fator responsável pela diminuição de massa dos materiais, que podem perder entre 40 a 80% da massa original, também contribuindo para esta redução a liberação de CO₂ devida à mineralização parcial da matéria orgânica.

Karnchanawong e Nissaikla (2014), utilizando composteiras de 200L com resíduos de comida e de folhas após 150 dias de compostagem, conseguiram reduções na faixa de 63,36 a 73,27. Lima (2015) trabalhou com pilhas de resíduos de comida, lodo, capim e serragem com combinações entre os resíduos e utilizando em cada pilha massas iniciais de 568, 567, 608 e 627 Kg; após um tempo de compostagem de 120 dias encontrou reduções de 18,67; 32,63; 44,90 e 37,86%, respectivamente. O resultado bem maior encontrado neste trabalho, comparado aos citados, pode ser devido ao tempo de compostagem utilizado de 300 dias. Nos trabalhos citados, foram adotados mecanismos para aceleração da compostagem, como é o caso do revolvimento.

Realizou-se o teste anova para verificar as diferenças entre os valores de redução total de massa e comprovou-se que houve diferenças significativas tanto em relação aos estruturantes quanto aos recipientes, mas não ocorreu na interação entre recipientes e estruturantes. As Tabelas 12 e 13 apresentam os testes de Tukey para estruturantes e recipientes, respectivamente.

Tabela 12 - Valores médios da redução total de massa comparando-se os estruturantes

Estruturante	Redução total (%)
Comida	98,38 ± 0,52 a
Gramma	95,32 ± 2,14 a
Poda	84,51 ± 4,36 c
Serragem	88,69 ± 3,57 b

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Tabela 13 - Valores médios da redução total de massa comparando-se os recipientes

Recipiente	Redução total (%)
R1	92,15 ± 6,59 ab
R2	93,16 ± 0,49 a
R3	89,86 ± 7,04 b

Fonte: Autor (2016).

* Médias seguidas da mesma letra na coluna não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

Comparando-se comida e grama, verificou-se comportamento semelhante entre si, que pode ser atribuído à baixa relação C/N dos materiais. Já em relação aos recipientes, o R3

apresentou menor redução. Sugere-se, como explicação, o fato do volume ser maior, proporcionando menor aeração da massa, resultando em uma menor redução de massa.

5.4 Operação do sistema de compostagem doméstica proposto

O sistema de compostagem proposto neste trabalho deve ser executado em residência com quintal ou uma região mais afastada da área de convivência, de modo que não haja problemas com o aparecimento de alguns insetos e anelídeos inofensivos, embora o aparecimento dessa biota no experimento estivesse bem relacionada à área com muita vegetação, árvores e terra, essas condições podem favorecer a entrada em maior quantidade dessa biota. É necessário que as composteiras se localizem em espaços com cobertura, como embaixo de árvores ou estruturas com telhas, entre outras, para que, em épocas de chuva intensa, não haja excesso de umidade no material em compostagem.

Em relação ao tipo de recipiente a ser utilizado, a Tabela 14 mostra o quantidade de dias que foram inseridos os materiais até o preenchimento do volume dos recipientes, de acordo com o tipo de material estruturante utilizado.

Tabela 14 - Período de preenchimento do volume dos recipientes

Recipiente	Comida	Gramas	Poda	Serragem
Redondo (70L)	24,00 ± 1,20	19,33 ± 0,58	12,00 ± 4,36	15,67 ± 1,15
Quadrado (45L)	14,00 ± 0,45	7,33 ± 0,58	9,33 ± 4,93	6,00 ± 0,00
Bag (135L)	ND	ND	65,00 ± 5,95	67,00 ± 0,57

Fonte: Autor (2016).

*ND: Não determinado. O volume dos materiais reduzia de forma a não ser possível acompanhar a medida.

De acordo com os dados acima, verificou-se que a *Bag* foi o recipiente com maior capacidade de armazenamento, entretanto, tratando-se de operação do sistema, o recipiente redondo foi o que apresentou maior facilidade de operação e possui um volume adequado para uso no cotidiano.

Recomenda-se a utilização de mais de uma unidade de compostagem, ao se atingir o volume máximo do recipiente. Dessa forma, à medida que se preenche o volume de um, inicia-se a operação de um segundo e, após o alcance da capacidade do segundo, pode-se retornar a preencher o primeiro, visto que o volume do primeiro terá, durante esse intervalo, reduzido o suficiente para que haja essa alternância. Para uma maior facilidade de operação, a utilização de um recipiente com a mesma característica do R1, mas volume maior (cerca de 135L) é sugerido para famílias maiores do que 4 integrantes.

Em relação ao tipo de material estruturante que se recomenda, sugere-se a utilização de materiais de relação C/N mais alta, como foi o caso da serragem e poda. Se o uso de materiais de baixa relação C/N, como grama e folha seca, forem as únicas opções, é necessário que haja um corte ou trituração desse material, reduzindo-se seu volume, permitindo a sua adição em maior quantidade. No caso da adição de água, é preciso ter um controle maior para esses materiais, verificando sempre se há indícios de condições anaeróbias, como formação de chorume e odor forte.

A utilização de composteiras sem adição de material estruturante não é indicada devido ao desconforto em relação à operação, mau cheiro e baixa qualidade do produto final.

Esse trabalho apresentou algumas dificuldades relativas à infestação de moscas durante o período inicial de alimentação das composteiras. Algumas sugestões podem ser dadas para justificar tal ocorrência, como a proximidade dos recipientes alimentados exclusivamente de resíduo de alimentos das outras composteiras. Esses recipientes citados não possuíam qualquer proteção contra a invasão desses insetos, como é o caso dos outros que possuíam o material estruturante como impedimento.

Outra hipótese se refere ao período de chuvas, já que a observância da presença desses insetos se deu durante os meses de maio a julho de 2015. Tal período de chuvas se encerrou exatamente quando não havia mais indícios da presença desses insetos no local. Essas chuvas podem ter favorecido essa infestação devido aos resíduos que, durante a operação das 36 composteiras, ficavam caídos no chão, por descuido dos participantes da pesquisa.

Para sanar esse problema, resolveu-se realizar um teste utilizando-se os recipientes redondos envolvidos por tela tipo “mosquiteiro”, que possuía orifícios menores, dificultando a entrada das moscas. A Figura 13 ilustra a adaptação do recipiente R1 para o teste com impedimento à proliferação de moscas.

Figura 13- Recipiente utilizado para o teste com impedimento à proliferação de moscas



Fonte: Autor (2016).

Realizou-se a montagem de 9 composteiras, sendo 3 com serragem, 3 com grama e 3 com poda de árvore. Composteiras com alimentação exclusiva de resíduos de comida não foram montadas, para eliminar a influência das mesmas na proliferação dos insetos. O período da montagem desse novo lote de composteiras se deu entre os meses de outubro a dezembro de 2015, período caracterizado pela baixa ocorrência de precipitação. Além disso, tomou-se o cuidado para não haver resíduos dispostos no local próximo às composteiras.

Durante todo o período de operação dessas composteiras, que se prosseguiu da mesma forma do primeiro modelo proposto, não houve indícios de proliferação de moscas. Quanto a ratos e outros tipos de roedores, não houve indícios da presença deles nem no primeiro nem no segundo lote e as composteiras permaneceram durante todo o período do experimento sem violação do material, nem se observaram fezes que são características da presença desses roedores.

6 CONCLUSÃO

O recipiente R3 proporcionou maiores temperaturas por mais tempo, embora o R1 tenha atingido valores máximos maiores, fator considerado importante para a compostagem. Entre os estruturantes, a grama proporcionou maiores temperaturas, seguida da serragem. As composteiras alimentadas apenas com resíduos de alimentos possuíam sempre as menores temperaturas.

Quanto à umidade, as unidades de compostagem deste trabalho atingiram faixas adequadas. Apenas as composteiras com grama e as que continham apenas resíduos de alimentos, que entraram em processo anaeróbico sem reversão em 60 dias, devido ao excesso de umidade, resultando em mau odor, geração de chorume e difícil manuseio. As composteiras que ao final do processo apresentaram valores acima do recomendado pela instrução normativa IN MAPA nº 25 de 2009, maiores que 50%, não têm efeito negativo devido ao fato do objetivo do uso do produto final ser realizado *in loco*, por isso não precisam ser atendidos requisitos para transporte.

Tratando-se de relação C/N, o processo de compostagem na região inferior dos recipientes alcançou valores abaixo do limite máximo de 20, indicado pela instrução normativa IN nº 25 de 2009 em 90 dias. Entretanto, a literatura indica limite mínimo de 10 e as composteiras com grama e aquelas com resíduos de alimentos não atingiram tais valores.

A respeito de condutividade elétrica, percebeu-se que o tipo de compostagem proposto resultou em valores altos em relação ao que propõe a literatura para uso de outros tipos de resíduos ricos em nitrogênio, como lodo, esterco e frutas. Devido ao sistema de não revolvimento, os sais dissolvidos influenciavam constantemente o processo de compostagem do fundo dos recipientes, portanto, atingiram-se os valores ideais apenas a partir de 150 dias de compostagem da região superior, ou seja, 240 dias contados desde o início do processo. A exceção é dada para as composteiras com resíduos de alimentos e aquelas com grama adicionada, pois seus valores ainda continuavam altos.

O índice de germinação teve grande influência do parâmetro de condutividade elétrica, visto que a quantidade de sais pode ser tóxica para a germinação de sementes e crescimento de raízes. O processo de compostagem da região do fundo dos recipientes não apresentou valores satisfatórios nos tempos medidos e a partir de 150 dias é que a região superior demonstrou aumento no índice. Em 180 dias, equivalente a 300 dias de compostagem contados desde o início, observou-se aumento nos valores, com destaque para a serragem, que obteve valores acima de 100 em todos os recipientes.

A respeito da qualidade em termos de humificação da matéria orgânica do composto produzido, que é demonstrado neste trabalho por meio do grau de polimerização, em 120 dias de compostagem na região do fundo, os recipientes com grama atingiram bons resultados, valores acima de 1, considerados ideais. Em 300 dias, é que todos alcançaram valores satisfatórios, exceto as composteiras constituídas apenas de resíduos de alimentos.

Diante dos resultados apresentados, recomenda-se a coleta do material compostado no fundo dos recipientes com 90 dias de compostagem, apenas quando a qualidade do composto não interferir no objetivo do uso, sendo ideal para uso como complemento de adubo junto a outro material, podendo também ser utilizado para ajudar a melhorar as propriedades do solo ou até mesmo para acelerar o processo de compostagem misturado a um material que entrou em processo mais recentemente em relação ao anterior. Caso seja importante salientar a qualidade do produto final, é necessário aguardar mais 180 dias após o fim da alimentação contínua das composteiras.

O recipiente mais indicado para o sistema de compostagem proposto é o R1, devido sua praticidade de operação, embora os resultados atingidos por R3 tenham se sobressaído, mas em âmbito de tratamento caseiro, aquele obteve o melhor desempenho operacional.

Quanto ao tipo de estruturante a ser utilizado, recomendam-se materiais com relação C/N maiores, como a serragem e a poda de árvore triturada. Embora materiais como grama e folhas secas possam realizar o processo de compostagem, é necessário que haja uma redução do volume antes que sejam inseridos, como a trituração ou corte, pois, devido ao grande espaço que eles podem ocupar para se atingir uma relação C/N adequada, o sistema proposto pode se tornar inviável, pela necessidade de muitos recipientes para que se possam alterná-los quando os mesmo estiverem totalmente preenchidos. Além disso, é necessário um maior cuidado em relação à umidade nesses materiais, pois dificilmente as condições anaeróbias podem ser revertidas, uma vez que o processo se inicia.

A respeito da redução total da massa, obtiveram-se resultados ente 83 e 98%, valores acima daqueles encontrados na literatura, demonstrando um grande fator positivo quando se refere ao tratamento de resíduos.

No que se refere à proliferação de pragas, percebeu-se que para garantir um processo livre da presença de moscas é necessário uma proteção das composteiras com tela tipo mosquiteiro. Quanto aos roedores, não se observou indícios da presença dessas pragas em nenhum caso.

7 RECOMENDAÇÕES

Recomenda-se como melhorias do experimento a utilização de composteiras com mais de um tipo de material estruturante adicionado, para se analisar seu comportamento e sugerir, aos usuários do sistema, mais uma alternativa no caso de não ser possível a utilização de um só tipo de resíduo.

Um teste com aplicação desse sistema em várias casas com diferentes características de disposição de espaços, solo impermeabilizado ou descoberto, cobertura do ambiente proporcionada por árvores ou por material de construção seria importante para se atribuir mais características ao sistema e a respeito da geração em termos de volume dos resíduos.

Recomenda-se ainda que seja testada a adição de material em fase de compostagem mais avançada junto ao material fresco, para que seja possível uma análise a respeito da duração do tempo de compostagem, a fim de tornar o processo mais rápido pelo fato do material, que se encontra em estágio mais avançado, possuir micro-organismos servindo de inóculo para o novo processo de compostagem.

Mais uma alternativa de resíduos que poderia ser objeto de estudo seria a adição de excrementos de animais domésticos, devido à outra problemática existente em nossa sociedade, referente à falta de tratamento desse tipo de resíduo. Na maioria dos casos, até mesmo em locais com coleta de lixo regular e disposição de rede de tratamento de esgoto, não há destinação apropriada para esses resíduos que podem ser grandes veículos de transmissão de doenças.

Em âmbito mais amplo de propagação da consciência ambiental, sugere-se uma parceria com entidades públicas e o setor privado para desenvolver o modelo das composteiras propostas neste trabalho, utilizando material reciclável e um formato que esteja já pronto para o uso, sem que haja necessidade de cobertura extra com tela e que haja saída na região inferior para a retirada do material em compostagem mais avançada. Após a confecção desse modelo, as unidades poderiam ser distribuídas em comunidades mais afastadas da rede urbana, juntamente com campanhas educativas, tanto se tratando do processo de compostagem, como da disposição correta de resíduos sólidos, produção de hortas caseiras, entre outros assuntos ligados ao tema.

REFERÊNCIAS

- ALBERTA AGRICULTURE FOOD AND RURAL DEVELOPMENT (Canadá) (Org.). **Manure composting manual**. 2005. Disponível em: <[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/\\$file/400_27-1.pdf?OpenElement](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex8875/$file/400_27-1.pdf?OpenElement)>. Acesso em: 10 jan. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (Brasil) (Org.). **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2015**. 2015. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf> Acesso em: 04 out. 2016
- ADEKUNLE, Iheoma *et al.* Recycling of organic wastes through composting for land applications: a Nigerian experience. **Waste Management & Research**, [s.l.], v. 29, n. 6, p.582-593, dez. 2011.
- ADHIKARI, Bijaya K *et al.* Gas emissions as influenced by home composting system configuration. **Journal of Environmental Management**, v. 116, p.163-171, fev. 2013.
- AHN, H.K.; RICHARD, T. L.; CHOI, H. L. Mass and thermal balance during composting of a poultry manure - Wood shavings mixture at different aeration rates. **Process Biochemistry**, v. 42, n. 2, p.215-223, fev. 2007.
- ANDERSEN, Jacob Kragh *et al.* Mass balances and life cycle inventory of home composting of organic waste. **Waste Management**, v. 31, n. 9-10, p.1934-1942, set. 2011.
- ANDERSEN, Jacob Kragh *et al.* Home composting as an alternative treatment option for organic household waste in Denmark: An environmental assessment using life cycle assessment-modelling. **Waste Management**, v. 32, n. 1, p.31-40, jan. 2012.
- ARVANITTOYANNIS, Ioannis S.; KASSAVETI, Aikaterini; LADAS, Demetrios. Food Waste Treatment Methodologies. In: ARVANITTOYANNIS, Ioannis. **Waste Management for the Food Industries**. Burlington: Elsevier Academic Press, 2008. p. 345-410.
- ATIYEH, R. M. *et al.* Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: Effects on physicochemical properties and plant growth. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.78, n.1, p.11 -20, jun. 2001.
- BELO, Sara Rodrigues Santos. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente). Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- BENITES, Vinicius M.; MADARI, Beáta M.; MACHADO, Pedro L. O. de A. M. **Extração e fracionamento quantitativo de substâncias húmicas do solo: um procedimento simplificado de baixo custo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2003.

BENJAWAN, L.; SIHAWONG, S; CHAYAPRASERT, W. Composting of Biodegradable Organic Waste from Thai Household in a Semi-Continuous Composter. **Compost Science & Utilization**, v. 23, n. 1, p.11-17, 5 nov. 2014.

BERTOLDI, M.; VALLINI, G.; PERA, A. The biology of composting: a review. **Waste Management & Research**, v.1, p. 157-176, out. 1983.

BRASIL. **Lei nº 13.043**, de 13 de novembro de 2014. Prorroga o prazo de que trata a Lei nº 12.431, de 24 de junho de 2011 e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2014/Lei/L13043.htm> Acesso em: 12 jun. 2016

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 28, de 27 de julho de 2007. Aprova os métodos analíticos oficiais para fertilizantes minerais, orgânicos, organo-minerais e corretivos, disponíveis na Coordenação-Geral de Apoio Laboratorial - CGAL/SDA/MAPA, na Biblioteca Nacional de Agricultura - BINAGRI e no sítio do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, 31 jul. 2007. Seção 1, p.11.

BRASIL. Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 25**, 23 de julho de 2009. Aprova as 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, na forma dos Anexos à presente Instrução Normativa. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>> Acesso em: 11 jun. 2016

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Plano nacional de resíduos sólidos**. 2011. Disponível em: <http://www.sinir.gov.br/documents/10180/185386/253_publicacao02022012041757.pdf/d18a7f4f-c2a3-4eef-a05c-286bfcfce7ea> Acesso em: 15 jan. 2015

BREWER, L.; ANDREWS, N.; SULLIVAN, D.; GEHR, W. (Oregon). **Agricultural composting and water quality (EM 9053)**. Oregon State University Extension Service, 2013. Disponível em:<<https://catalog.extension.oreg>>Acesso em: 13 mai. 2015

BRUNI, V. C. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CARBALLO, T.; GIL, M. V.; CALVO, L. F.; MORAN, A. The influence of aeration system, temperature and compost origin on the phytotoxicity of compost tea. **Compost Science & Utilization**, v. 17, n. 2, p.127-139, 2009.

CALIFORNIA COMPOST QUALITY COUNCIL. (Nevada) **Compost maturity index**. 2001. Disponível em: <<http://compostingcouncil.org/wp/wp-content/uploads/2014/02/2-CCQC-Maturity-Index.pdf>> Acesso em: 30 jan. 2015

COLÓN, Joan *et al.* Environmental assessment of home composting. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 11, p.893-904, set. 2010.

COOPERBAND, Leslie (Madison). **The art and science of composting science of composting – A resource for farmers and compost producers**. University of Wisconsin-Madison. Center for Integrated Agricultural Systems. 2002. Disponível em: <<http://www.cias.wisc.edu/wp-content/uploads/2008/07/artofcompost.pdf>> Acesso em: 11 jul. 2015

CORDEIRO, Nathalie Marcelino. **Compostagem de Resíduos Verdes e Avaliação da Qualidade dos Compostos Obtidos - Caso de Estudo da Algar S.A.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente – Tecnologias Ambientais) Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2010.

DENARDIN, Gabriela Pippi; WOLFF, Delmira Beatriz; VASCONCELLOS, Noeli Júlia Schüssler. Solid Waste: The quantity of recyclable waste lost in days of surplus in the plant. **Disc. Scientia**, Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, v. 11, n. 1, p. 1-16, 2010.

DIAS, Bruno de Oliveira. **Compostagem de esterco de galinha: composição química da matéria orgânica e extração de substâncias húmicas**. Tese (Doutorado em Ciências do Solo) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.

DIAZ, L. F.; BERTOLDI, M. de.; BIDLINGMAIER, W. **Compost science and technology**. Califórnia: Elsevier Science, 2007. Vol. 8, 380 p.

DORES-SILVA, Paulo R.; LANDGRAF, Maria Diva; REZENDE, Maria Olímpia de O. Processo de Estabilização de Resíduos Orgânicos: Vermicompostagem *versus* Compostagem. **Quim. Nova**, v. 36, n. 5, p. 640-645, 2013.

RIFFALDI, R.; LEVI-MINZI, R.; PERA, A.; BERTOLDI, M. Evaluation of compost maturity by means of chemical and microbial analyses. **Waste Management & Research**, v. 4, p. 387-396, 1986.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (Roma). **Méthodes de compostage au niveau de l'exploitation agricole**. 2005. Disponível em: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/lwdp2_f.pdf> Acesso em: 11 fev. 2016

FARRELL, M.; JONES, D. L. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. **Bioresource Technol.** v. 100, p. 4301–4310, out. 2009

FAVERIAL, Julie; SIERRA, Jorge. Home composting of household biodegradable wastes under the tropical conditions of Guadeloupe (French Antilles). **Journal Of Cleaner Production**, v. 83, p.238-244, nov. 2014.

FONSECA, Edmilson. **Iniciação ao estudo dos resíduos sólidos da limpeza urbana**. 2 ed. João Pessoa: s.n., 2001.

FONSECA, João Paulo Quadrado Bolota. **Efeito da adição de borras de café sobre a compostagem de resíduos de Acacia dealbata L. (mimosa)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrônômica) - Universidade de Trás-Os-Montes e Alto Douro, Vila Real, Portugal, 2012.

GRIGATTI, Marco; CIAVATTA, Claudio; GESSA, Carlo. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v.91, n.2, p.163-169, jan. 2004.

GUIDONI, Lucas Lourenço Castiglioni *et al.* Compostagem domiciliar: implantação e avaliação do processo. **Tecno-Lógica**, v. 17, n. 1, p. 44-51, jan/jun., 2013.

HE, M. M. *et al.* Effects of two sludge application on fractionation and phytotoxicity of zinc and copper in soil. **Journal of Environmental Sciences**, v. 19, p. 1482–1490, 2007.

HOLANDA, Priscila Carvalho. **Compostagem e minhocultura**. Fortaleza: Fundação Demócrito Rocha; Instituto Centro de Ensino Tecnológico - CENTEC, 2013. 51 p.

ILMER, P.; SCHINER, F. Compost turning – a central factor for a rapid and high- quality degradation in household composting. **Bioresource Technology**, v. 59, p. 157-162, 1997.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA (Brasília). **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos**. Relatório de pesquisa. 2012. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/agencia/images/stories/PDFs/relatoriopesquisa/121009_relatorio_residuos_solidos_urbanos.pdf> Acesso em: 12 jun. 2016

IQBAL, Muhammad Khalid; SHAFIQ, Tahira; AHMED, Khurshed. Characterization of bulking agents and its effects on physical properties of compost. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 6, p.1913-1919, mar.

JINDO, Keiji *et al.* Influence of biochar addition on the humic substances of composting manures. **Waste Management**, v. 49, p.545-552, mar. 2016.

KARNCHANAWONG, Somjai; NISSAIKLA, Siriwan. Effects of microbial inoculation on composting of household organic waste using passive aeration bin. **International Journal Of Recycling Of Organic Waste In Agriculture**, v. 3, n. 4, p.113-119, set. 2014.

KARNCHANAWONG, Somjai; SURIYANON, Nakorn. Household organic waste composting using bins with different types of passive aeration. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 5, p.548-553, mar. 2011.

KENNEDY, A. C. Bacterial diversity in agroecosystems. **Agriculture Ecosystems & Environment**, v. 74, p. 65-76, 1999.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Piracicaba: Agronômica Ceres, 1985, 492p

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Gráfica e Editora Degaspari, 1998. 171 p.

LASARIDI, Katia *et al.* Quality assessment of composts in the Greek market: The need for standards and quality assurance. **Journal of Environmental Management**, 80, 58–65. 2006

- LI, Xiujin.; ZHANG, Ruihong.; PANG, Yunzhi. Characteristics of dairy manure composting with rice straw. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 99, n. 2, p.359-367, jan. 2008.
- LI, Yunbei; LI, Weiguang. Nitrogen transformations and losses during composting of sewage sludge with acidified sawdust in a laboratory reactor. **Waste Management & Research**, v. 33, n. 2, p. 139–145, 2015.
- LI, Zhentong *et al.* Experimental and modeling approaches for food waste composting: A review. **Chemosphere**, v. 93, n. 7, p.1247-1257, out. 2013.
- LIMA, Lucas Cardoso. **Avaliação de diferentes fontes de carbono e nitrogênio para compostagem de resíduos orgânicos do restaurante universitário da UFLA**. Dissertação (Mestrado em Hidrologia e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015.
- MANIOS, T. The composting potential of different organic solid wastes: experience from the island of Crete. **Environment International**, v. 29, n. 8, p.1079-1089, fev. 2004.
- MARAGNO, Eliane Spricigo; TROMBIN, Daiane Fabris; VIANA, Ednilson. The use of sawdust in a little compounder system. **Eng. sanit. Ambient**, v.12, n. 4, p. 355-360, 2007.
- MARTÍNEZ-BLANCO, Julia *et al.* The use of life cycle assessment for the comparison of biowaste composting at home and full scale. **Waste Management**, v. 30, n. 6, p.983-994, jun. 2010.
- MASSUKADO, Luciana Myiyoko; SCHALCH, Valdir. Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares. **Rdae**, v. 58, n. 183, p.9-15, 2010.
- McLAURIN, Wayne J.; WADE, Gary L. (Georgia). **Composting and mulching - a guide to managing organic landscape refuse**. University of Georgia. 2012. Disponível em: <http://extension.uga.edu/publications/files/pdf/C%20816_4.PDF> Acesso em: 10 jul. 2015.
- MEIRA, A. M. *et al.* **Manual básico de compostagem**. Piracicaba, USP Recicla: 2003.
- MUSTIN, Michel. **Le compost gestion de la matière organique**. Paris: Édition François Dubusc, 1987. 954 p.
- NOGUEIRA, Wanderley Antonio; COSTA, Devens Damião (México). **Variação da temperatura na compostagem de resíduos sólidos orgânicos**. 2011. Disponível em: <www.bvsde.paho.org/bvsaidis/resisoli/mexico/03458p04.pdf> Acesso em: 10 jul. 2015.
- NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE (Washington). **Chapter 2 - Composting**. Part 637- Environmental Engineering, National Engineering Handbook. Washington, DC: Natural Resources Conservation Service, 2010. 70p.
- OBERLIN, Aisa S.; SZÁNTÓ, Gábor L. Community level composting in a developing country: case study of Kiwodet, Tanzania. **Waste Management & Research**, v. 29, n. 10, p.1071-1077, mai. 2011.

- OLIVEIRA, Josefa Noelba. **Compostagem e vermicompostagem de bagaço de cana-de-açúcar da produção de cachaça de alambique, Salinas-MG**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) – Universidade Estadual de Santa Cruz, 2010.
- OLIVEIRA, Margaroni Fialho. **Identificação e caracterização de actinomicetos isolados de processo de compostagem**. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agrícola e do Ambiente) – Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.
- PAILLAT, Jean-Marie *et al.* Predicting ammonia and carbon dioxide emissions from carbon and nitrogen biodegradability during animal waste composting. **Atmospheric Environment**, [s.l.], v. 39, n. 36, p.6833-6842, nov. 2005.
- PARANÁ. Ministério Público do Estado do Paraná. **Compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Nota Técnica. Rebouças, 2011.
- PARANÁ. Ministério Público do Paraná. **Unidades de triagem e compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Apostila para a Gestão Municipal de Resíduos Sólidos Urbanos. 2ª ed. Curitiba, 2012.
- PEIXOTO, Ricardo Trippia dos Guimarães. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. IAPAR. Londrina. 1988. 46 p.
- PELCZAR, Michael Jr.; REID, Roger; CHAN, E. C. S. **Microbiologia**. São Paulo: Mcgraw-Hill, 1980. Vol. 1, 576 p.
- PEREIRA NETO, João Tinoco. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: Editora UFV, 2007. 81 p.
- PEREIRA, Adolfo Plínio; GONÇALVES, Mônica Maria. Compostagem doméstica de resíduos alimentares. **Revista Científica do UNIFAE**, São João da Boa Vista, v.5, n.2, 2011.
- PHILIPPI JÚNIOR, Arlindo. **Saneamento, Saúde e Ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável**. Barueri: Manoele, 2005.
- PLAZA, C. *et al.* Co-composting of sludge from olive oil mill wastewater mixed with tree cuttings. **Compost Science and Utilization**, Emmaus, v.13, n.3, p.217- 226, 2005.
- PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. 84 p.
- RISSE, Mark; FAUCETTE, Britt (Georgia). **Food waste composting: institutional and industrial applications**. 2012. Disponível em:
<<http://athenaeum.libs.uga.edu/xmlui/handle/10724/12102>> Acesso em: 25 jan. 2015
- ROLETTO, Ezio *et al.* Chemical parameters for evaluation compost maturity. **Biocycle**, v. 26, p. 46–47, mar. 1985.

SANES, Fernanda San Martins *et al.* Avaliação do processo de compostagem de resíduos de pescado em mistura com diferentes fontes de carbono. **Cadernos de Agroecologia**, v. 6, n. 2, dez. 2011.

DOS SANTOS, Joana Luísa Dias. **Caracterização físico-química e biológica em diferentes laboratórios de produtos obtidos a partir da compostagem de resíduos orgânicos biodegradáveis.** Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) - Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto, 2007.

SARTORI, Valdirene Camatti *et al.* (Caxias do Sul). **Compostagem: Produção de fertilizantes a partir de Resíduos Orgânicos.** Cartilha para Agricultores. 2012. Disponível em: <<http://www.centroecologico.org.br/boletins.aspx?todos=1>> Acessado em: 25 jan. 2015

SEDIYAMA, Maria A. N. Fermentação de esterco de suínos para uso como adubo orgânico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.12, n.6, p.638-644, abr. 2008.

SILVA, Francisca Alcivânia de Melo. **Qualidade de Compostos Orgânicos Produzidos com Resíduos do Processamento de Plantas Medicinais.** Tese (Doutorado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2005.

SILVA, Fábio César da. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes.** Brasília, Embrapa: 2009 a.

SILVA, Maria E. *et al.* Co-composting of poultry manure with low quantities of carbon-rich materials. **Waste Management & Research**, v. 27, n. 2, p.119-128, mar. 2009 b.

SIVIERO, Amauri *et al.* Cultivo de Espécies Alimentares em Quintais Urbanos de Rio Branco, Acre, Brasil. **Acta Botanica Brasilica**, v. 25, n. 3, p. 549-556, 2011.

SNYMAN, Jacques; VORSTER, Kobus. Sustainability of composting as an alternative waste management option for developing countries: a case study of the City of Tshwane. **Waste Management & Research**, v. 29, n. 11, p. 1222–1231, 2011.

SOUSA, C. O. M. A. **Política Nacional dos Resíduos Sólidos: avanços e desafios.** Monografia (Pós Graduação Lato Sensu) – Faculdade de Direito da Fundação Armando Álvares Penteado, São Paulo, 2012.

TATÀNO, Fabio *et al.* Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control. **Waste Management**, v. 38, p.72-85, abr. 2015.

TURNER, Claire. The thermal inactivation of *E. coli* in straw and pig manure. **Bioresource Technol.**, v. 84, p. 57-61, ago.2002.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EUA). **Composting at Home.** 2016. Disponível em:<<https://www.epa.gov/recycle/composting-home>> Acesso em: 16 jan. 2016

VALENTE, B. S. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Arch. Zootec.**, v. 58, p. 59-85, 2009.

VALENTINI, Federico (Napoli). **Design and operation of composting plants**. 2011.

Disponível em:

<http://www.compost.it/attachments/552_VALENTINI_Summer_School.pdf> Acesso em: 10 jun. 2015

VALLINI, G. Il Compostaggio. *In: La protezione dell'ambiente in Italia*. Ed. Bertini, I., Cipollini, R., Tundo, P. Consiglio Nazionale delle Ricerche, Società Chimica Italiana e Consorzio Interuniversitario Chimica per l'Ambiente. Bologna, p. 83-134, 1995.

XIONG, Xiong *et al.* Increase in complexation ability of humic acids with the addition of ligneous bulking agents during sewage sludge composting. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 24, p. 9650-9653, dez. 2010.

YANG, Fan *et al.* Effect of bulking agents on maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Chemosphere**, v. 93, n. 7, p.1393-1399, out. 2013.

YANG, Fan *et al.* Effects of phosphogypsum and superphosphate on compost maturity and gaseous emissions during kitchen waste composting. **Waste Management**, v. 36, p.70-76, fev. 2015.

ZUCCONI, F. *et al.* 1981. Evaluating toxicity in immature compost. **Biocycle**, 22, p. 54-57, 1988.