



CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

**AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE REVOLVIMENTOS NA ETAPA DE
BIOESTABILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DURANTE A
COMPOSTAGEM**

FRANCIELE APARECIDA PLOTÁSIO DUARTE

BELO HORIZONTE

2018

FRANCIELE APARECIDA PLOTÁSIO DUARTE

**AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE REVOLVIMENTOS NA ETAPA DE
BIOESTABILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DURANTE A
COMPOSTAGEM**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira Ambiental e Sanitarista.

Orientadora: Prof.^a Valéria Cristina Palmeira Zago

BELO HORIZONTE

2018

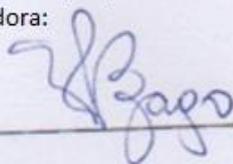
FRANCIELE APARECIDA PLOTÁSIO DUARTE

**AVALIAÇÃO DA FREQUÊNCIA DE REVOLVIMENTOS NA ETAPA DE
BIOESTABILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DURANTE A
COMPOSTAGEM**

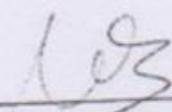
Trabalho de conclusão de curso
apresentado ao Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas
Gerais como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro
Ambiental e Sanitarista.

Data de aprovação: 23/06/2018

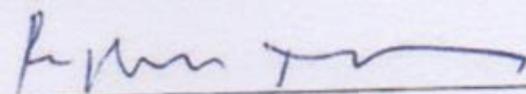
Banca Examinadora:



Valéria Cristina Palmeira Zago - Presidente da Banca Examinadora, Engenheira Agrônoma,
Mestrado e Doutorado em Agronomia (Ciências do Solo). Profª. do Centro Federal de
Educação Tecnológica de Minas Gerais – Orientadora



Marilus Altoé Baldotto – Engenheiro Agrônomo, Licenciatura Plena em Química, Pós -
Doutorado em Ciências Agrárias e em Ciências Ambientais. Profª. da Universidade
Federal de Viçosa.



Raphael Tobias de Vasconcelos Barros – Engenheiro Civil, mestrado em Hidráulica e
Saneamento e doutorado pelo Institut National des Sciences Appliquées (INSA) de Lyon
(França). Profª. da Universidade Federal de Minas Gerais.

AGRADECIMENTOS

À minha família, que mesmo com todas as dificuldades nunca desistiram de me estudar, a presença, dedicação e as palavras sinceras que me deram forças para continuar meus estudos.

À minha orientadora, Prof^ª. Dr.^ª, Valéria Cristina Palmeira Zago, que me fez crescer a cada dia, passando todo o seu conhecimento e me proporcionando experiências acadêmicas incríveis.

RESUMO

DUARTE, F. A. P., Avaliação da frequência de revolvimentos na etapa de bioestabilização dos resíduos orgânicos durante a compostagem. 2018. 62f. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental, Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

Dentro da perspectiva da economia circular e desenvolvimento sustentável, os resíduos orgânicos são considerados recursos e, portanto, pode contribuir economicamente, socialmente e ambientalmente. As instituições de educação pública têm um papel fundamental para exemplificar boas práticas de gestão de resíduos orgânicos. Além das perdas de alimentos, essas instituições produzem resíduos verdes de seus jardins. A compostagem surge dentro deste contexto como uma técnica de baixo custo, especialmente quando é realizada o mais próximo possível da sua fonte geradora, pois reduz a quantidade de resíduos que precisarão ser coletados, transportados e destinados a outro local. Além do que, é uma tecnologia preconizada na Política de Resíduos Sólidos do Brasil (Lei n. 12305/2010) para a reciclagem dos resíduos orgânicos. Acelerar o processo de bioestabilização pode reduzir a necessidade de espaço físico para essa atividade. Este trabalho teve por objetivo avaliar a frequência de revolvimentos, na aceleração da etapa de bioestabilização de resíduos orgânicos, em bombonas plásticas. Para tanto, foi conduzido um experimento testando três diferentes frequências de revolvimento: diário, a cada três dias e semanal, utilizando resíduos orgânicos do refeitório, folhas e podas dos jardins da instituição. Durante trinta dias, foram monitoradas as variáveis, temperatura e condutividade elétrica. Aos 20 DAI, foram analisadas matéria orgânica e relação C/N. Amostras dos tratamentos aos 30 DAI foram analisadas quanto aos seus teores de macronutrientes. Fez-se um teste de germinação com as espécies *Lactuca sativa* e *Eruca sativa*. As diferentes frequências de revolvimentos não evidenciaram influência sobre a aceleração da etapa de bioestabilização. O material produzido pode ser utilizado como condicionador de solo, em covas para o plantio de espécies arbóreas, ou mesmo disposto sobre o solo, aguardando para posterior semeio ou plantio de espécies mais sensíveis.

Palavras-Chave: Reciclagem. Composto Imaturo. Resíduos Orgânicos. Espaço Limitado.

ABSTRACT

DUARTE, F. A. P., Evaluation of the frequency of revitalization of organic the bio stabilization stage during a composting. 2018. 62f. Monograph (Graduate) - Department of Environmental Science and Technology, Federal Center of Technological Education of Minas Gerais, Belo Horizonte, 2018.

In the perspective of circular economy and sustainable development, the organic wastes are considered as resources, therefore it can contribute economically, socially and environmentally. The public education institutions have a fundamental role to exemplify good practices of organic waste management. In addition to food losses, these institutions produce green waste from their gardens. The composting appears within this context as a low-cost technique, especially when it's performed as close as possible to its generating source, because it reduces the amount of waste that needs to be collected, transported and destined for another place. Beyond what, it's a technology recommended in the Brazilian Solid Waste Policy (Law nº12305/2010) for the recycling of organic waste. Speed up the bio stabilization process can reduce the necessity of physical space for this activity. This job had as objective of evaluating the frequency of revolving in the biosimilization stage of organic residues, in plastic casks. Therefore, an experiment was conducted testing three different frequencies of revolving: daily, every three weeks and weekly, using organic waste from the cafeteria, leaves and pruning of the institution's gardens. During thirty days, the variables pH, temperature and electrical conductivity were monitored. On the twentieth day, organic matter and C / N ratio were analyzed. On the thirtieth day, they were analyzed for their macronutrient contents. A germination test was carried out with the species *Lactuca sativa* and *Eruca sativa*. The different revolving frequencies showed no influence on the acceleration of the bio stabilization step. The material produced can be used as soil reconditioner, in pits for the planting of arboreal species, or even arranged on the ground, waiting for later sowing or planting of more sensitive species.

Keywords: Recycling. Immature Compound, Organic Waste. Limited Space.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

A) FIGURAS

Figura 1 – Fases da compostagem.....	7
Figura 2 - Variação do pH ao longo do processo de compostagem	13
Figura 3 – Local do experimento (Pátio externo do CEFET-MG Campus I).....	23
Figura 4 - Resíduos Orgânicos utilizados no experimento, obtidos no dia 25 de agosto de 2017 no refeitório e no Sacolão Super Varejão da Fartura.....	24
Figura 5 – Resíduos castanhos das podas de árvores e jardins do Campus II utilizados no experimento, realizado no pátio externo no Campus I	24
Figura 6 – Balança utilizada para a pesagem dos resíduos.....	25
Figura 7 – Trituração dos resíduos orgânicos.....	25
Figura 8 – Bombonas utilizadas no experimento realizado no pátio externo do Campus I.....	26
Figura 9 – Instrumento utilizado para revolvimentos das bombonas	26
Figura 10 – Equipamento utilizado para o monitoramento do pH e umidade	27
Figura 11 – Equipamento utilizado para o monitoramento da condutividade elétrica	27
Figura 12 – Equipamento utilizado para o monitoramento da temperatura.....	27
Figura 13 – Peneiramento do composto realizado no dia 25 de setembro de 2017.....	28
Figura 14 – Teste de germinação com sementes de hortaliças	29
Figura 15 – Cadinhos de alumínio utilizados no experimento.	30
Figura 16 – Pesagem do cadinho com amostra	30
Figura 17 – Cadinhos da análise de umidade de 100-110°C na estufa.....	30
Figura 18 – Pesagem dos cadinhos de porcelanas com e sem amostra, antes da mufla	31
Figura 19 – Cadinhos na mufla a 550°C.	32
Figura 20 – Resfriamento dos cadinhos no dessecador e em seguida a pesagem das amostras após mufla.....	32
Figura 21 – Lixiviação de Chorume nos três tratamentos durante o processo de compostagem.....	35
Figura 22 – Teste de germinação dos compostos gerados no experimento realizado no pátio externo do Campus I (30 das).....	42

B) GRÁFICOS

Gráfico 1 – Comportamento do parâmetro pH, durante a condução do experimento.	34
Gráfico 2 – Comportamento do parâmetro temperatura (°C), em três diferentes posições nas bombonas (inferior, meio e superior), durante a condução do experimento.	37
Gráfico 3 – Comportamento do parâmetro temperatura (°C), em três diferentes posições nas bombonas (inferior, meio e superior), durante a condução do experimento.	37
Gráfico 4 – Comportamento do parâmetro temperatura (°C), em três diferentes posições nas bombonas (inferior, meio e superior), durante a condução do experimento.	38

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Temperatura e tempo de manutenção, requeridos para a destruição de alguns microrganismos patogênicos na compostagem.....	9
Tabela 2 – Classificação do composto e seu respectivo uso agrícola.....	18
Tabela 3 – Instruções Normativas e suas especificações quanto aos fertilizantes orgânicos, publicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.	20
Tabela 4 – Variáveis admitidas pelo Anexo III da I.N nº 25 de 23 de junho de 2009 para fertilizantes orgânicos mistos e compostos.....	21
Tabela 5 – Classificação granulométrica dos compostos de acordo com a IN nº25 de 23 de junho de 2009.	22
Tabela 6 – Variáveis admitidas pelo Anexo III da I.N nº 25 de 23 de junho de 2009 para fertilizantes orgânicos mistos e compostos.....	33
Tabela 7 – Umidade a 60-65° C e Umidade a 100-110°C, aos 20 DAI.....	36
Tabela 8 – Temperatura em três diferentes profundidades das bombonas em 30 DAI.....	39
Tabela 9 – Condutividade Elétrica aos 30 DAI	39
Tabela 10 – Teores de Carbono Total, após 20 DAI e + 40 DAI e relação C/N	40
Tabela 11 – Comparação dos resultados das variáveis obtidas pelo Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos de Varginha com os parâmetros admitidos pelo Anexo III da I.N nº 25/2009.	41
Tabela 12 - Germinação das sementes de rúcula e alface, em função dos tratamentos (revolvimento diário, a cada três dias e semanal), diluídos em água destiladas	42

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CEFET-MG – Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

MG – Minas Gerais

BH – Belo Horizonte

EUA – Estados Unidos da América

IN – Instrução Normativa

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

C/N – Relação Carbono/Nitrogênio

CO₂ – Dióxido de Carbono

H₂O – Água

CH₄ – Metano

CTC – Capacidade de Troca Catiônica

Ca – Cálcio

Mg – Magnésio

K – Potássio

H – Hidrogênio

Al – Alumínio

Na – Sódio

DAI – Dias após início do experimento

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	1
2.	OBJETIVOS	3
2.1	Objetivo geral.....	3
2.2	Objetivos específicos	3
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
3.1	Compostagem e sua contribuição para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos	4
3.2	Fases da Compostagem.....	5
3.3	Fatores que influenciam no processo de compostagem	7
3.3.1	Temperatura.....	7
3.3.2	Aeração e Revolvimento.....	10
3.3.3	Umidade.....	11
3.3.4	pH	12
3.3.5	Capacidade de Troca Catiônica (CTC).....	13
3.3.6	Relação de C/N.....	15
3.3.7	Granulometria ou tamanho das partículas	16
3.4	Qualidade e Aplicação do composto.....	17
3.5	Legislações referentes à aplicação de fertilizante orgânico	19
4.	METODOLOGIA.....	23
4.1	Porcentagem de germinação com sementes de hortaliças.....	28
4.2	Análise de Umidade a 60-65°C e a 100-110°C	29
4.3	Comparação dos resultados das análises laboratoriais com a IN 25/09 do MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.	32
4.4	Análise Estatística através do programa Sisvar.....	33
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	34
6.	CONCLUSÃO.....	44
7.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, segundo o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada – IPEA (2012), 51,4% em peso dos resíduos sólidos urbanos (RSU) são orgânicos; mesmo com a elevada quantidade de matéria orgânica (94.335,5 t.dia⁻¹), apenas 1,6% do que é coletado é levado para a compostagem. Belo Horizonte, por exemplo, recicla em torno de 0,02% desses resíduos, de apenas 36 estabelecimentos comerciais e feiras livres (ZAGO; BARROS, 2013).

Os restaurantes universitários que atendem à comunidade acadêmica caracterizam-se por produzir, com maior frequência e em altas quantidades, resíduos similares aos domésticos. A maioria desses resíduos é produzida na cozinha, derivados da manipulação dos alimentos e da preparação da comida. Em geral, essas instituições também produzem resíduos verdes de seus jardins (THE ORGANICSTREAM, 2017).

Nesse aspecto, as instituições públicas de ensino têm um papel importantíssimo em exemplificar as boas práticas de gestão de resíduos orgânicos, como, por exemplo, a técnica de compostagem. Trata-se de um método muito antigo. Por toda a história das civilizações há relatos de que, desde muito tempo, o homem utilizava restos de produtos orgânicos, tanto de origem animal como vegetal, para incorporação ao solo, objetivando promover melhorias em suas propriedades físicas, biológicas e químicas em busca de melhores produções (VITAL, 2012).

A compostagem é considerada uma alternativa sustentável, simples e eficaz, recomendada a sua implantação o mais próximo possível da sua fonte geradora; pois reduz a quantidade de resíduos que precisarão ser coletados, transportados e destinados a outro local. A disposição em aterros se justifica apenas para os rejeitos, ou seja, “resíduos para os quais já foram 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” (BRASIL, 2010). Da maneira como é utilizada, ou seja, recebendo a maioria dos resíduos, que deveriam ser reaproveitados ou reciclados; a disposição nos aterros sanitários pode ser considerada como uma externalidade ambiental.

A escassez e os altos preços de modelos de composteiras encontrados no mercado, como também a falta de espaço em locais onde estão instalados os pequenos e médios geradores de resíduos orgânicos, como restaurantes, hotéis, domicílios, pequenas instituições públicas, empresas privadas de pequeno e médio porte, entre outros são relevantes empecilhos para a

implantação de um sistema de compostagem. Devido a estes fatores é necessário avaliar diferentes modelos de compostagem, que possam ser, ao mesmo tempo, rápidos na geração do composto, que sejam seguros quanto a sua higienização e apresentam baixo custo de implantação e operacional.

O processo da compostagem começa com a oxidação de matéria orgânica facilmente degradável; esta primeira fase é chamada de decomposição. A segunda fase, a bioestabilização, inclui a mineralização das moléculas lentamente degradáveis e, por fim, a maturação, onde ocorre a humificação de compostos lignocelulósicos, ou seja, quando o composto final possui todas as características, físicas, químicas e biológicas recomendadas para um bom desenvolvimento vegetal. Para Kiehl (2002) um composto imaturo já pode ser usado, porém em culturas perenes, em covas de plantas arbóreas.

Quando inserido no solo é recomendado aguardar um tempo para depois semear. Já o composto bioestabilizado pode ser aplicado no fundo do sulco de plantio juntamente com sementes ou em contato com as raízes das mudas transplantadas, enquanto que o composto humificado ou maturado pode ser utilizado para o preparo de substratos para vasos, canteiros de sementeiras de flores e hortaliças, culturas em sulco, covas ou em cobertura.

A compostagem pode ser acelerada, obtendo-se um composto (frutas, legumes, verduras e folhas secas) bioestabilizado em 20 dias, dependendo do clima da região, como proposto por estudos realizados pela Universidade de Berkeley (Califórnia, USA), através de revolvimentos diários (Díaz e Bertoldi, 2011). No entanto, essa frequência também pode aumentar os custos associados à mão-de-obra, quando os revolvimentos não são mecanizados. Este trabalho teve por objetivo avaliar a influência da frequência de revolvimentos, na aceleração da bioestabilização de resíduos orgânicos, por compostagem, conduzida em bombonas plásticas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência da frequência de revolvimentos, na aceleração da bioestabilização de resíduos orgânicos, por compostagem, conduzida em bombonas plásticas.

2.2 Objetivos específicos

- Analisar variações de temperatura, umidade e pH;
- Analisar parâmetros físicos, químicos e biológicos;
- Comparar resultados com os limites estabelecidos pela IN - Instrução Normativa 25/09 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para comercialização;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Compostagem e sua contribuição para a Gestão Integrada de Resíduos Sólidos

As iniciativas e ações adotadas na Gestão Integrada de Resíduos Sólidos requer em forma articulada a participação dos diversos setores da sociedade, para conceber, implementar e administrar de forma sustentável os sistemas de manejo de resíduos sólidos urbanos (JULIATTO, 2011).

Dentre os resíduos sólidos urbanos, a fração orgânica representa em média mais de 50% do total gerado no Brasil (IBGE, 2010). Por ser um percentual relativamente alto em comparação aos outros resíduos sólidos, tornam necessária a redução de geração na fonte, incentivar o seu reaproveitamento, possibilitar a sua reciclagem, além de garantir o tratamento e disposição final adequada (MILANEZ, 2013).

Nesse sentido, a compostagem segundo a Lei 12.305/2010 é uma forma de reciclagem ambientalmente adequada para os resíduos sólidos, e atribui ao titular dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, a compostagem dos resíduos orgânicos e a articulação para as formas de utilização do composto produzido. A referida Lei ainda diz que o uso de práticas de compostagem pelos municípios é, portanto, uma imposição legal, e não mais uma opção para destino dos resíduos orgânicos gerados (MMA, 2010).

A compostagem descentralizada pode ser uma excelente alternativa para tratar a matéria orgânica o mais próximo possível da fonte geradora envolvendo a participação de diversos atores da sociedade, desde residências e condomínios, estabelecimentos comerciais e indústrias e instituições públicas. No caso da aplicação da técnica de compostagem em grande escala em estabelecimentos públicos ou privados, no qual irá demandar grande espaço físico, o dimensionamento do local não deve levar em consideração somente a quantidade de resíduos a serem tratados, como também os tipos de resíduos, a direção do vento, o que existe no entorno, as aplicações do composto e seus potenciais clientes (MASSUKADO; SCHALCH, 2010).

Quando os resíduos orgânicos não são separados corretamente em sua fonte geradora, estes acabam sendo encaminhados para a disposição final misturados com resíduos perigosos, como materiais inertes (plástico, cacos de vidro e até resíduos de serviço de saúde) e metais

pesados (cádmio, chumbo, cromo, entre outros), resultando em um produto final de baixa qualidade e eficiência do ponto de vista agrônômico (SIQUEIRA; ABREU, 2016).

Para Santos (2014), se forem utilizados materiais orgânicos provenientes de feiras livres, supermercados e restaurantes com o correto manuseio e monitoramento adequado do processo de compostagem, o composto final obtido poderá oferecer algumas vantagens, como a melhoria da ciclagem do solo, devido à matéria orgânica compostada se ligar às partículas de areia, silte e argila, ajudando na retenção e drenagem do solo; aumento da capacidade de infiltração de água, diminuindo a erosão; dificulta a germinação de sementes de plantas daninhas; mantém a temperatura e os teores de acidez do solo e ativa a vida do solo, favorecendo a manutenção da flora microbiana, melhorando o desempenho das culturas agrícolas.

De modo geral, a compostagem é indicada e necessária, uma vez que os benefícios ambientais, econômicos e sociais do processo contribuem com a conquista do *triple bottom line* do desenvolvimento sustentável, na qual se refere à proposição sucinta das políticas públicas atuais, com finalidade de oferecer bem estar e qualidade de vida aos cidadãos, os quais também são responsáveis por obter melhoria nos sistemas de gerenciamento dos resíduos (COSTA, 2015).

3.2 Fases da Compostagem

Na compostagem, a matéria orgânica é modificada por diversas comunidades de microrganismos, como as bactérias, actinomicetos, leveduras e fungos, através de processos físicos, químicos e biológicos. A predominância desses microrganismos e intervalos de temperatura determina em qual fase o processo de compostagem se encontra (COSTA, 2015).

O processo físico inicia na escolha dos materiais a serem utilizados, ou seja, na segregação dos resíduos. É comum encontrar nos restaurantes universitários, resíduos oriundos da manipulação dos alimentos (folhas e talos de verduras e legumes) misturados com outros tipos de resíduos como, guardanapos e copos descartáveis. Outra etapa física no processo de compostagem é a trituração dos resíduos, no qual é importante estabelecer o tamanho ideal das partículas para promover um meio adequado para a atividade microbiológica.

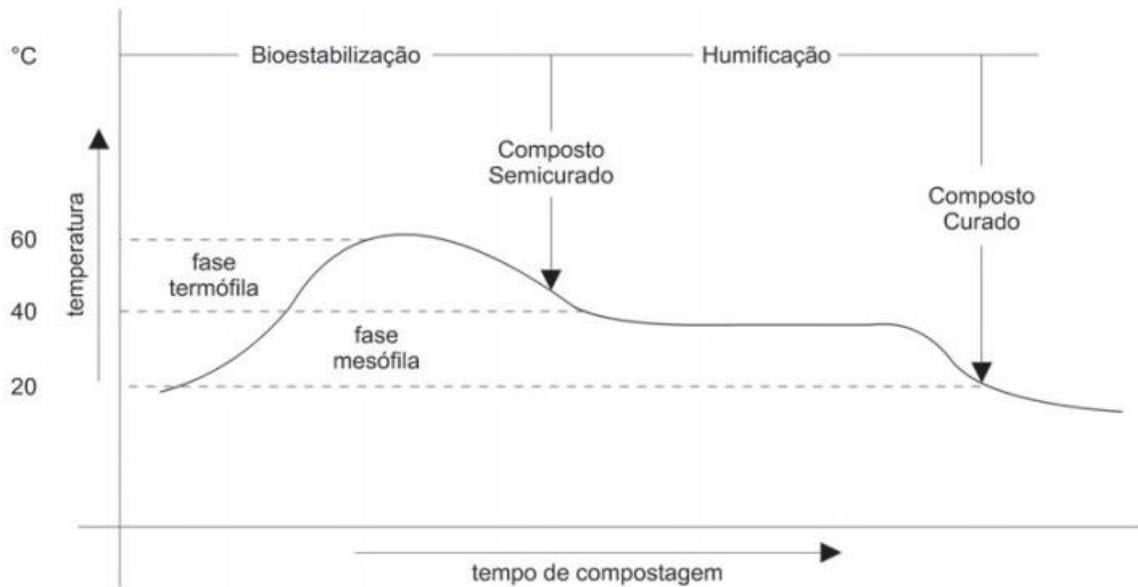
No que se refere ao processo biológico, este compreende a fase de bioestabilização (fermentação e digestão), onde os microrganismos atuam para estabilizar matéria orgânica e a

fase de maturação (decomposição da celulose e materiais similares). E a etapa química é o processo de mineralização da matéria orgânica, no qual os nutrientes presentes nas macromoléculas vão sendo liberados na forma iônica.

Segundo Kiehl (2002), a compostagem é caracterizada por ser “um processo controlado de decomposição microbiana de oxidação e oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido”. O caminho a ser percorrido durante o processo abrange a predominância de algumas fases; logo, se inicia com um composto cru ou imaturo, seguido de uma rápida fase fitotóxica, tendo logo em sequência a fase de bioestabilização, para então atingir a última etapa considerada como fase de maturação, enriquecida com a mineralização de alguns elementos importantes do material orgânico (SERPA FILHO, 2013).

No início do processo, as bactérias e fungos mesófilos começam a decompor a matéria orgânica, havendo a liberação de calor (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015). Em seguida, ocorre a fase fitotóxica, caracterizada pelo desprendimento de CO₂, calor e vapor d'água. A temperatura nesta etapa se encontra entre 45°C e 65°C, onde ocorre intensa atividade de bactérias e fungos termófilos com elevado consumo do oxigênio. As propriedades de fitotoxicidade consideradas prejudiciais às plantas são decorrentes da formação de ácidos inorgânicos e em maior quantidade dos ácidos orgânicos, principalmente ácido acético, são liberados no meio pela decomposição da matéria orgânica (KIEHL, 2002). Logo adiante, temos a presença da fase de bioestabilização em que a decomposição da matéria orgânica tende a decrescer, obtendo um composto que se aproxima da coloração escura e sem presença de odor. Ao finalizar esta fase, o material degradado não será mais tóxico às plantas (RITIELLI, 2016).

De acordo com Ritielli (2016), no momento em que forem registrados valores de temperatura próxima à do ambiente, pode-se considerar que o composto chegou ao seu grau de maturação, desenvolvendo um processo biológico mais lento pelos actinomicetos mesofílicos e os fungos, além de reduzir a necessidade de aeração. Nesta fase, o composto apresenta propriedades físicas, químicas, físico-químicas e biológicas em quantidades desejáveis pelas plantas e para o solo. Uma informação importante que deve ser ressaltada é que não se deve confundir maturidade com a qualidade do composto, pois o composto pode estar maturado e humificado e ainda assim apresentar baixa qualidade (KIEHL, 2002).

Figura 1 – Fases da compostagem.

Fonte: KIEHL (2002).

3.3 Fatores que influenciam o processo de compostagem

Para o bom desenvolvimento da compostagem (processo ecológico), é necessário entender a relação direta ou indireta que alguns fatores têm com a atividade microbológica do sistema, especialmente fatores de classe nutricional e ambiental, os quais estão associados ao controle do processo pelo homem e ao tipo de método utilizado no processamento do composto (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015).

Nos próximos tópicos serão discutidas as condições ótimas que esses fatores devem proporcionar para os microrganismos aeróbios, para que os mesmos consigam aumentar a eficiência de transformação do material orgânico nas presentes fases de estabilização e maturação do composto que variam de poucos dias a várias semanas de acordo com o ambiente e o método a ser utilizado (VALENTE et al., 2009).

3.3.1 Temperatura

A temperatura é um dos principais fatores que influenciam a compostagem, uma vez que intervém na taxa nos quais muitos processos biológicos ocorrem e, ao mesmo tempo, exerce um papel fundamental na evolução e sucessão da comunidade microbológica (GUERMANDI, 2015).

As fases, mesófila, termófila e de maturação determinam os intervalos de temperatura no processo de compostagem, as quais são caracterizadas por diferentes grupos de microrganismos.

As bactérias mesofílicas responsáveis pela quebra inicial de matéria orgânica, que predominam na fase inicial considerada mesófila (20 a 45°C) promovem a liberação de calor na composteira. A presença desse calor é a primeira indicação de que o processo de compostagem está se desenvolvendo. A matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e por outros microrganismos é utilizada por fungos e organismos heterotróficos que também são encontrados nesta fase, estes proliferam em ambientes ácidos, toleram uma ampla faixa de pH e possuem uma faixa ótima de crescimento entre 25-40°C (VALENTE et al., 2009).

A fase termofílica (45°C a 65°C) onde ocorre intensa atividade microbiológica com elevado consumo de oxigênio inicia-se após a morte dos organismos mesófilos devido ao aumento da temperatura. As elevadas temperaturas adquiridas nesta fase eliminam microrganismos patogênicos, além de minimizar com uma maior garantia a possibilidade de ocorrer sementes de plantas daninhas (PEREIRA; FIALHO, 2013).

Os valores de temperatura e quantidade necessária de tempo para eliminar os organismos patogênicos encontrados no processo de compostagem são descritos na tabela 1.

Tabela 1 – Temperatura e tempo de manutenção, requeridos para a destruição de alguns microrganismos patogênicos na compostagem.

Organismo	Tempo (min)	Temperatura (°C)
<i>Salmonella typhosa</i>	Instantâneo	55 a 60
	30	46
<i>Salmonella SSP.</i>	15 a 30	60
	60	55
<i>Shigela</i>	60	55
<i>Escherichia coli</i>	5	70
	15 a 20	60
	60	55
<i>Estomacha histotytyca (cistos)</i>	Instantâneo	68
<i>Taenia saginata</i>	5	71
<i>Trichinella spiralis (larvas)</i>	Instantâneo	62 a 72
	60	50
<i>Necator americanus</i>	50	45
<i>Brucella abortus</i>	50	45
<i>Estryreptococos fecais</i>	60	70
<i>Coliformes fecais</i>	60	70

Fonte: MASSUKADO, (2008)

Kiehl (2002) ressalta que a faixa ótima de temperatura para o processo de compostagem encontra-se entre 40 e 60°C, sendo a média ideal 55°C. “Temperaturas acima de 70°C são desaconselháveis por longos períodos, pois limitam a ação dos microrganismos mais sensíveis, insolubilizam as proteínas hidrosolúveis, provocam alterações químicas indesejáveis e causam o desprendimento de amônia, se o material possuir baixa relação C/N”. Para corrigir estas altas temperaturas é preciso fazer revolvimentos mais frequentes, irrigando-se durante a operação ou reduzindo-se o tamanho da leira, para favorecer a perda de calor por dissipação.

Se por exemplo o processo de compostagem não for conduzido desde o início pelas temperaturas recomendadas anteriormente, pode-se dizer que algum parâmetro físico-químico (pH, relação C/N, umidade, entre outros) não está sendo respeitado, limitando assim a atividade microbiana. Pereira Neto (2007) relaciona outros fatores que podem influenciar na temperatura, como o tipo e a quantidade de resíduo utilizado, o processo operacional e a configuração geométrica das composteiras. Estes elementos, se não forem combinados corretamente, podem provocar a eliminação de uma compostagem bem sucedida.

O estágio final da degradação do material compostável é caracterizado pela fase de maturação, no qual predomina a ação dos microrganismos mesófilos, ativos a temperaturas de 20 a 45°C. Durante a maior parte desta etapa, a temperatura é mantida entre 30 a 45°C, chegando ao final do processo com temperaturas próximas ao do ambiente em torno de 25 a 30°C (SERPA FILHO, 2013).

Caso houver a falta de água, o processo pode ser paralisado, pois o composto irá perder calor e sua temperatura se igualará com a do ambiente, o que não significa que ele tenha atingido a maturação (KIEHL, 2002).

Considerando todo o contexto mencionado acima, uma relação entre as temperaturas observadas, o tempo de compostagem e o grau de decomposição pode ser estabelecida se todas as condições favoráveis forem atendidas.

3.3.2 Aeração

Quando se pretende obter a bioestabilização do composto em um curto intervalo de tempo, o principal fator a ser estudado é a aeração, pois este mecanismo aumenta a velocidade de oxidação do material orgânico, evita elevados picos de temperatura e excesso de umidade na massa de compostagem, além de reduzir a emissão de maus odores (COSTA, 2015).

Algumas fases que ocorrem durante o processo de compostagem requerem uma presença maior de aeração do que em outras. Por exemplo, na fase inicial onde ocorre a rápida decomposição da matéria orgânica, a aeração é essencial devido à intensa atividade microbiana e, por outro lado, a necessidade de aeração será menor quando for atingida a fase de maturação, no qual a atividade microbiana é menos intensa (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015).

Conforme Valente (2009), o processo da compostagem pode ocorrer a predominância de ambientes aeróbios e anaeróbios. No processo aeróbio caracterizado pela ausência de maus odores, elevadas temperaturas e menor tempo de decomposição dos resíduos orgânicos, ocorrerá à ação das bactérias, dos fungos e dos actinomicetos para degradar a matéria orgânica na presença de oxigênio, liberando através de seu metabolismo elementos como o CO₂, H₂O e energia. Por outro lado, quando houver ausência de oxigênio, o processo predominante será o anaeróbio, onde os microrganismos realizaram a decomposição da matéria orgânica gerando como produto final CH₄, CO₂ e alguns ácidos orgânicos. Neste

processo serão evidenciadas baixas temperaturas, odores desagradáveis e maior tempo de degradação do composto.

Diante deste cenário, Valente et al. (2009) sugere que a compostagem deve ser promovida por meio aeróbio, devido à presença de oxigênio na massa favorecer a decomposição mais rápida e o mesmo ser caracterizado pela ausência de maus odores e gases causadores do efeito estufa como o CO₂, metano e o óxido nitroso.

Visto a importância da aeração no processo de compostagem, a mesma pode ser inserida no meio por vários métodos, os principais sendo: o revolvimento manual, mecânico ou por injeção de ar. Alguns fatores como o espaço para a implantação da compostagem, dimensão da composteira, recursos financeiros e disponibilidade de mão de obra, podem ter grande influência na tomada de decisão de qual método deverá ser utilizado (MASSUKADO, 2008).

Após a escolha do método, Kiehl (2002) bem como Fernandes e Silva (1999) recomendam executar os revolvimentos três vezes por semana, a fim de aerar o composto, introduzindo a oxigenação, uniformizar a leira, desfazer diferentes camadas estratificadas geradas na composteira, reduzir a quantidade de umidade nos resíduos, manter a temperatura de cada fase em sua faixa ideal, realizar o controle da desinfecção trocando a camada interna (altas temperaturas) pela externa (baixas temperaturas), com o propósito de remover os organismos patogênicos em todo o material a ser degradado e aumentar a porosidade da massa de compostagem, para que não ocorra a compactação dos resíduos.

Sendo assim se não forem feitos corretamente os revolvimentos ou até mesmo por um período consideravelmente relevante, se as composteiras não tiverem sido revolvidas, ocorrerá à presença de uma camada superior mais seca e menos densa e outra inferior mais úmida e mais densa, ocasionando nesta última o aparecimento de anaerobiose (KIEHL, 2002).

3.3.3 Umidade

Condições efetivas no processo de compostagem como a maximização da velocidade de degradação da matéria orgânica, a redução de efeitos negativos associados ao processo e a eliminação dos organismos patogênicos, são alcançadas quando a taxa de umidade estiver entre 45 e 55% (COTTA, 2015; LELIS, FERREIRA NETO 1999).

A inibição da atividade microbiológica bem como da velocidade de biodegradação pode ocorrer quando teores de umidade estiverem abaixo de 40%. Por outro lado, teores de umidade acima de 65% provocam o aparecimento de zonas de anaerobiose, devido ao fato da água concorrer com o ar pelos espaços porosos, dificultando a passagem do oxigênio na massa de compostagem (RITIELLI, 2016).

Para obter a correção de elevados teores de umidade durante o processo de compostagem é preciso de revolvimentos frequentes, incorporação de resíduos que absorvam água como, palhas, serragem, folhas e gramas secas, além da aeração forçada. Em contrapartida, se a massa de compostagem estiver com baixas proporções de umidade, será necessária a irrigação do composto em conjunto com os revolvimentos, distribuindo a água igualmente por todo o material compostável. Logo, se esta distribuição ocorrer em forma de jato único, o composto continuará seco, pois a água percorrerá pelos espaços vazios escorrendo pela base da composteira na forma de chorume, podendo existir a presença de mau cheiro e lixiviação de nutrientes (KIEHL 2002).

Deste modo, para manter valores dentro da faixa ideal de umidade (45-55%) é importante levar em consideração o método de compostagem a ser empregado e o tipo de resíduo orgânico e castanho (serragem, folhas secas e palhas) utilizado (GUERMANDI, 2015). Massukado (2008) destaca a fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares como sendo um excelente material a ser compostado, uma vez que contém teores ótimos de umidade de 55%.

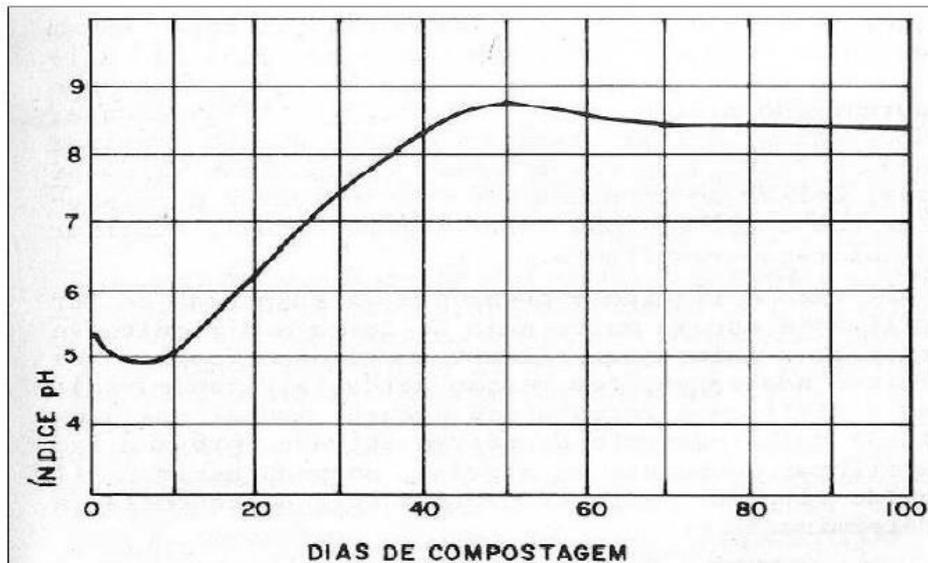
3.3.4 pH

A dinâmica microbiana no processo de compostagem pode ser influenciada pelo pH principalmente na fase inicial. A faixa de pH no início da compostagem apresenta valores entre 5,0 e 6,0, característicos da ação das bactérias e, em seguida, aumenta gradativamente ao decorrer do processo de compostagem e estabilização do composto, atingindo valores entre 7,0 e 8,0, permanecendo nesta faixa até ao final do processo (COSTA, 2015).

Esta variação pode ser explicada considerando primeiramente um comportamento ácido (pH 5,0-6,0) no início da decomposição da matéria orgânica no meio, devido à reação da matéria orgânica tanto de origem animal quanto de origem vegetal apresentar, regularmente, natureza ácida, formando ácidos orgânicos. Em seguida, esses ácidos orgânicos, como também os

ácidos inorgânicos que se formam, vão reagir com bases liberadas da matéria orgânica, neutralizando e transformando o meio em alcalino (7,0-8,0). Por fim, a reação entre os elementos químicos básicos e os ácidos húmicos produzirá humatos alcalinos e, em consequência dos mesmos, ocorrerão valores de pH acima de 8,0 (KIEHL, 2002). A variação do pH durante o processo de compostagem é representada na Figura 1.

Figura 2 - Variação do pH ao longo do processo de compostagem.



Fonte: KIEHL (2002)

Segundo Ritielli (2016), a atividade microbiana durante o processo de compostagem pode ser afetada se houver valores de pH muito baixos ou elevados demais na mistura. Se na fase inicial forem constatados valores de pH abaixo de 5,0, a fase termófila pode não ser atingida e, caso houver valores altos, estes provocarão deficiência de fósforo, de alguns micronutrientes, além de grandes chances de ocorrer volatilização da amônia e, consequentemente, a perda de nitrogênio (SCHALCH; MASSUKADO; BIANCO, 2015).

Deste modo, a faixa ideal do pH para um composto de qualidade é entre 6,0 e 7,0, obtendo uma maior presença de macro e micronutrientes (MASSUKADO, 2008; TOME JR, 1997).

3.3.5 Capacidade de Troca Catiônica (CTC)

A CTC é de grande relevância na compostagem, em razão de ser um indicativo importante do grau de maturação do composto, e por apresentar também através da alta capacidade de retenção de cátions, melhoria na ciclagem de nutrientes por mais tempo e em grandes

quantidades essenciais para o desenvolvimento de plantas e hortaliças (PEREIRA E FIALHO, 2013).

Para obter uma boa capacidade de troca catiônica no composto final, a mesma dependerá do tipo de material presente, do pH, do grau de decomposição da matéria orgânica e da superfície específica (COTTA, 2015).

Deste modo, de acordo com Pejon e Rodrigues (2015), a capacidade de troca catiônica aumenta durante o processo de humificação da matéria orgânica, devido às substâncias húmicas, da mesma forma que os argilominerais, serem coloides que apresentam um elevado número de partículas carregadas negativamente e por possuírem grande superfície específica, sendo que nesta última é onde ocorre a atração de cátions possibilitando a sua troca com o meio.

Estas cargas negativas autoras do acréscimo da CTC são resultados da ocorrência de diferentes grupos funcionais como, os carboxílicos (-COOH), fenólicos (-OH), álcoois (-OH) e metoxílicos (-OCH₃), uma vez que estes são encontrados nos ácidos orgânicos presente no húmus (COTTA et al., 2015).

Para obter uma CTC completa em proporções adequadas, a mesma deve conter todos os cátions permutáveis do solo (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, H⁺, Al³⁺), como também o equilíbrio nas quantidades disponíveis desses elementos (RONQUIM, 2010).

A série liotrópica Ca²⁺ > Mg²⁺ > K⁺ > Na⁺, referente à energia de retenção de cátions no solo, permite diferenciar qual elemento se encontra em maior abundância no ambiente, como também evidência as menores perdas de magnésio e cálcio por lixiviação em comparação com o potássio (PEJON; RODRIGUES, 2015). Um solo benéfico para o crescimento das plantas é aquele que contém maiores proporções de Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺, presentes na CTC. Em contrapartida, se a CTC possuir uma parcela de cátions tóxicos como o H⁺ e Al³⁺, o resultado será a obtenção de um solo desprovido de nutrientes (ROQUIM, 2010).

Conforme a Instrução Normativa nº 35/2006 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2006) o valor mínimo de CTC que deve estar presentes nos condicionantes do solo é de 200 mmol c/kg. Valores abaixo desta concentração apontam solos com pequena capacidade de retenção de cátions, o que por consequência afetará a aplicação de altas dosagens de adubação, sendo necessário reduzi-las em pequenas frações para serem

evitadas elevadas perdas por lixiviação. Reis (2005) enfatiza que a faixa ótima de CTC para um composto final é entre 600 a 800 mmol/kg.

3.3.6 Relação de C/N

O acompanhamento da relação C/N durante o processo de compostagem é essencial, pelo fato de estar relacionada com o tempo de degradação dos resíduos.

Para obter a decomposição rápida e eficiente da matéria orgânica é recomendada segundo Kiehl (2002) inicialmente uma relação de C/N entre 25/1 e 35/1. Esta faixa ideal de C/N é significativa para os microrganismos, pois os mesmos degradam o carbônico orgânico (fonte de energia) somente se houver nitrogênio (síntese de proteínas) suficiente para o seu desenvolvimento. Se no decorrer do procedimento a quantidade de carbono for alta e a de nitrogênio for baixa, os microrganismos vão exercer a função de eliminar o carbono e recuperar o nitrogênio, por consequência o processo demandará mais tempo, pelo fato de ter que retirar muito carbono até que seja atingida a proporção de nitrogênio adequada (MASSUKADO, 2008).

A relação de C/N apropriada dita anteriormente pode ser atingida através da mistura de diferentes resíduos, como os resíduos orgânicos domiciliares que são caracterizados por obter um elevado teor de nitrogênio, estes resíduos são chamados de resíduos verdes (frutas, legumes e verduras), como também temos os resíduos castanhos sendo aqueles que possuem um alto teor de carbono, como folhas secas, palhas e serragens.

Quando a relação inicial de C/N for elevada, acima de 50/1, o tempo para atingir a humificação da matéria orgânica será maior, limitando o crescimento microbiano em razão da falta de nitrogênio, além do carbono não ser todo degradado sendo eliminado na forma de gás carbônico. De outro modo, se a relação C/N for muito baixa, menor que 10/1, o composto apresentará excesso de nitrogênio comparado ao carbono, ocorrendo à eliminação desse excesso de nitrogênio por volatilização da amônia (NH₃), provocando odores desagradáveis ao meio e um composto menos fértil devido à carência de nitrogênio (KIEHL, 2002).

O autor também destaca que ao decorrer do processo de compostagem, o composto alcançará a bioestabilização quando a relação C/N estiver próxima de 18/1, especificando o início do processo de mineralização do nitrogênio, seguidamente irá se transformar em um composto

humificado com relação C/N em torno de 10/1, podendo ser aplicado em hortaliças como fertilizante orgânico.

Além da relação C/N estar relacionada com o tempo de compostagem, a mesma pode influenciar na temperatura, reduzindo o intervalo termofílico pelo fato da diminuição da parcela de resíduos castanhos. Manter uma proporção ideal de resíduos castanhos é importante também para se evitar a proliferação de vetores e fortes odores no processo de compostagem, devido a estes resíduos agirem como um meio filtrante para a absorção e umidade (REIS, 2005).

3.3.7 Granulometria ou tamanho das partículas

É de grande importância manter a faixa ideal do tamanho das partículas envolvidas na compostagem, uma vez que esta granulometria influencia em outras variáveis, como, a umidade, aeração, temperatura, compactação, e na ação dos microrganismos.

Segundo Costa (2015), os microrganismos conseguem decompor com melhor aproveitamento o resíduo a ser degradado, se a massa de compostagem contiver tamanhos menores de partículas, no qual terá uma maior superfície específica de contato favorecendo a decomposição mais acelerada da matéria orgânica. Caso contrário, ou seja, se as partículas forem maiores, ocorrerá uma redução na atividade microbiológica promovendo um tempo maior de maturação do composto (KIEHL, 2002).

Estas partículas finas, que favorecem elevada retenção de água, podem comprometer o processo de compostagem se o mesmo não for manuseado de forma adequada, ocasionando complicações de aeração, compactação e encharcamento. Estes dois últimos problemas citados podem inibir a propagação do oxigênio na leira, predominando a anaerobiose no processo e tendo como consequência o desprendimento de gases como o sulfídrico e as mercaptanas, provocando odores desagradáveis na compostagem. Em relação à aeração, a mesma estará mais disponível na massa de compostagem se o material utilizado apresentar granulometria grosseira, pois os espaços vagos presentes no meio vão favorecer a troca do gás carbônico pelo oxigênio (KIEHL, 2002).

Em vista disto, é aconselhável inicialmente no processo de compostagem que os resíduos a serem utilizados na montagem das composteiras sejam previamente triturados de acordo com a granulometria recomendada, com a finalidade de promover a homogeneização da mistura a

ser compostada, reduzir a compactação, melhorar a porosidade, elevar a eficiência da aeração e diminuir o tempo de compostagem (PEREIRA NETO, 2007).

3.4 Qualidade do composto

O composto orgânico produzido na compostagem desperta o interesse em muitos agricultores uma vez que atua como um excelente fertilizante orgânico para o solo, além de apresentar acréscimos das propriedades físico-químicas e biológicas, proporcionando um melhor comportamento das culturas (SANTOS, 2014).

Quando se trata das propriedades físicas, o material orgânico promove o aumento da capacidade de retenção de água que será um fator importantíssimo quando ocorrerem períodos críticos de secas, devido à produção estar diretamente associada à quantidade de água disponível no solo. Por outro lado, pode favorecer também as propriedades químicas e físico-químicas no sentido de aumentar a disponibilidade macro e micronutrientes e a capacidade de troca catiônica, e por fim possibilita avanços nas propriedades biológicas, referindo-se à proliferação de microrganismos satisfatórios que trabalham no controle de fitopatógenos (SANTOS, 2014).

De acordo com Massukado e Schalch (2010), para assegurar que o composto orgânico tenha qualidades suficientes exigidas pelos vários usos agrícolas, recomenda-se a realização de frequentes monitoramentos dos seus parâmetros físicos, físico-químicos e biológicos, pelo fato da degradação da matéria orgânica ocorrer em um ambiente aeróbio. A tabela 2 apresenta as fases em que um resíduo orgânico pode atingir no processo de compostagem e seus respectivos usos agrícolas.

Tabela 2 – Classificação do composto e seu respectivo uso agrícola.

Produto	Características	Uso agrícola
Matéria orgânica crua	Matéria prima que pode ser transformada em composto. Material cru que até então não início sua degradação.	Não recomendável para uso direto como fertilizante.
Composto imaturo	Matéria orgânica em decomposição incompleta. Não é considerado um composto bioestabilizado.	Pode ser aplicado em culturas perenes, em covas de plantas arbóreas. Quando inserido no solo é recomendado aguardar um tempo para depois semear.
Composto semicurado ou Bioestabilizado	Composto com relação C/N igual ou menor que 18:1, pH acima de 6 e que permaneceu por um bom período na fase termófila.	Pode ser aplicado no fundo do sulco de plantio juntamente com sementes ou em contato com as raízes das mudas transplantadas.
Composto maturado, humificado	Composto altamente bioestabilizado, tendo produzido húmus e sais minerais.	Pode ser utilizado para o preparo de substratos para vasos, canteiros de sementeiras de flores e hortaliças, culturas em sulco, covas ou em cobertura.

Fonte: Kiehl (2002).

A fase mais sugerida para a aplicação exata do composto orgânico no solo agrícola é a de maturação ou humificação onde é encontrado um material orgânico com pH de 6,5 e relação C/N inferior a 18 (ABREU JUNIOR, 2005).

A condutividade elétrica é sugerida como parâmetro de monitoramento da compostagem, pois indica a liberação de íons através da mineralização da matéria orgânica e também por que a salinidade de fertilizantes pode afetar o desenvolvimento vegetal (Jeong, 2017). Para evitar danos às plantas quando se utiliza composto, os sais solúveis totais não devem exceder 1,5 mS/cm para culturas de viveiro e 2,0 mS/cm para cultivo (Tittarelli, 2011).

Segundo Abreu Junior (2005), não é recomendado aplicar altas quantidades de composto numa plantação, pois se espera que sejam evitadas perdas de nutrientes por lixiviação e por erosão superficial. Logo, Oliveira, Lima e Cajazeira (2004) sugerem constantes aplicações em pequenas quantidades, obtendo resultados mais eficientes do que grandes quantidades aplicadas a longos intervalos.

3.5 Legislações referentes à aplicação de fertilizante orgânico

A crescente demanda da utilização de fertilizantes orgânicos na agricultura gerou nos últimos anos a preocupação com relação a sua aplicação, devido à mesma ter grande influência no desempenho das culturas como também no meio ambiente. Sendo assim houve a necessidade de publicações de leis e decretos, bem como instruções normativas sobre o uso do fertilizante orgânico (LACERDA; SILVA, 2014). Os resíduos orgânicos caracterizados pela sua elevada fonte de nutrientes foram incluídos como fertilizantes para as plantas pela Lei nº 6894/1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes, ou biofertilizantes, destinados à agricultura, e dá outras providências (BRASIL, 1980). Em seguida, esta lei foi alterada pela Lei 6934/1981, a qual redefiniu o conceito de inoculantes, acrescentou informações sobre registro, revisou os aspectos relacionados inspeção e fiscalização e estabeleceu sanções aplicáveis em caso de infração da Lei (BRASIL, 1981).

O decreto nº 4954/2004 aprovou o regulamento da Lei nº 6.894, de 16/12. Neste decreto, vale ressaltar algumas definições relevantes sobre a classificação dos fertilizantes.

O artigo 2º desse decreto contém as seguintes definições:

III - Fertilizante: substância mineral ou orgânica, natural ou sintética, fornecedora de um ou mais nutrientes de plantas, sendo:

b) Fertilizante orgânico: produto de natureza fundamentalmente orgânica, obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matérias-primas de origem industrial, urbana ou rural, vegetal ou animal, enriquecido ou não de nutrientes minerais;

l) Fertilizante orgânico simples: produto natural de origem vegetal ou animal, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

m) fertilizante orgânico misto: produto de natureza orgânica, resultante da mistura de dois ou mais fertilizantes orgânicos simples, contendo um ou mais nutrientes de plantas;

n) fertilizante orgânico composto: produto obtido por processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, a partir de matéria-prima de origem industrial, urbana ou rural, animal ou vegetal, isoladas ou misturadas, podendo ser enriquecido de nutrientes minerais, princípio ativo ou agente capaz de melhorar suas características físicas, químicas ou biológicas; e

o) fertilizante organomineral: produto resultante da mistura física ou combinação de fertilizantes minerais e orgânicos. (BRASIL, 2004)

A fim de detalhar as leis e o decreto anterior, bem como determinar limites e tolerâncias para obtenção de fertilizantes orgânicos de boa qualidade, foram publicadas diversas Instruções

Normativas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (LACERDA; SILVA, 2014) (Tabela 3).

Tabela 3 – Instruções Normativas e suas especificações quanto aos fertilizantes orgânicos, publicadas pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Instruções Normativas	Especificações
IN N° 10 de maio de 2004	Classifica os fertilizantes de acordo com a natureza, quantidade de nutrientes, por categoria e modo de aplicação (BRASIL, 2004a).
IN N° 10 de 28 de outubro de 2004	Aprova as definições e normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura (BRASIL,2004).
IN N° 27 de 5 de junho de 2006	Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas daninhas (BRASIL, 2006).
IN N° 25 de 23 junho 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 a presente instrução normativa (Brasil, 2009).

Fonte: Autoria própria

O composto proveniente da aplicação do método de compostagem em resíduos domiciliares orgânicos, de acordo com o anexo II, Art 2° da IN n° 25/09 pode ser enquadrado como fertilizante orgânico composto referente à classe “C”, ou seja, aquele que em sua produção, utiliza qualquer quantidade de matéria-prima oriunda do resíduo sólido, resultando em produto de utilização segura na agricultura.

Diante dessa classificação são determinados pelo Anexo III da I.N nº 25/09 os valores admitidos para cada parâmetro. (Tabela 4).

Tabela 4 – Variáveis admitidas pelo Anexo III da I.N nº 25 de 23 de junho de 2009 para fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Parâmetros	IN 25/2009 ¹
pH	Mín 6,5
Umidade % m/m (Equivale a g 100g ⁻¹)	Máx 50
Carbono orgânico %	Mín 15
Nitrogênio total %	Mín 0,5
Relação C/N	Máx 20
CTC ²	Conforme declarado
Cálcio (Ca) %	Mín 1
Magnésio (Mg) %	Mín 1
Enxofre (S) %	Mín 1
Boro (B) %	Mín 0,03
Cloro (Cl) %	Mín 0,1
Cobalto (Co) %	Mín 0,005
Cobre (Cu) %	Mín 0,05
Ferro (Fe) %	Mín 0,2
Manganês (Mn) %	Mín 0,05
Molibdênio (Mo) %	Mín 0,005
Níquel (Ni) %	Mín 0,005
Silício (Si) %	Mín 1,0
Zinco (Zn) %	Mín 0,1

1. Valores expressos na base a 65°C

2. É obrigatória a declaração no produto

Fonte: BRASIL, (2009).

Outra classificação importante para a comercialização dos fertilizantes orgânicos é a granulometria determinada pela IN 25/09, cujas suas especificações estarão contidas abaixo (Tabela 5).

Tabela 5 – Classificação granulométrica dos compostos de acordo com a IN nº25 de 23 de junho de 2009.

Natureza Física	Especificação Granulométrica		
	Peneira	Passante	Retido
Granulado	4 mm	Mínimo 95%	Máximo 5%
	1 mm	Máximo 5%	Mínimo 95%
Pó	2,0 mm	100%	0%
	0,84 mm	Mínimo 70%	Máximo 30%
	0,3 mm	Mínimo 50%	Máximo 50%
Farelado	3,36 mm	Mínimo 95%	Máximo 5%
	0,5 mm	Máximo 25%	Máximo 75%
Farelado Grosso	4,8 mm	100%	0%
	1,0 mm	Máximo 20%	Mínimo 80%

Fonte: MAPA, (2009) citado por GUERMANDI, (2015).

Caso os fertilizantes orgânicos não atenderem as especificações granulométricas descritas acima na Tabela 5, no rótulo ou na etiqueta de identificação deverá constar a expressão “PRODUTO SEM ESPECIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA” (LACERDA; SILVA, 2014).

4. METODOLOGIA

O experimento foi desenvolvido no Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG, *Campus I* (Figura 3), utilizando resíduos orgânicos oriundos do preparo dos alimentos do refeitório e de um comércio local.

Figura 3 – Local do experimento (Pátio externo do CEFET-MG Campus I).



Neste estudo, consideraram-se resíduos verdes, os resíduos orgânicos, frutas e verduras, e resíduos castanhos as folhas secas de árvores dos jardins da instituição. Os resíduos orgânicos utilizados do refeitório do CEFET-MG foram segregados de outros resíduos produzidos no local, como embalagens, guardanapos, papéis-toalhas, etc. A pesagem dos resíduos foi realizada no dia 25 de agosto de 2017 às 10h00min no local do experimento utilizando um balde (descontando-se o peso do mesmo) e uma balança modelo Balanza Ergo Digital Premium Luggage Scale BZ200 (Figura 4,5 e 6).

Figura 4 - Resíduos Orgânicos utilizados no experimento, obtidos no dia 25 de agosto de 2017 no refeitório e no Sacolão Super Varejão da Fartura.



Figura 5 – Resíduos castanhos das podas de árvores e jardins do Campus II utilizados no experimento, realizado no pátio externo no Campus I.



Figura 6 – Balança utilizada para a pesagem dos resíduos.



Após a pesagem, os resíduos orgânicos foram picados manualmente para a realização da montagem das composteiras e as folhas trituradas em um picador forrageiro elétrico (Trapp TRF 400) (Figura 7).

Figura 7 – Trituração dos resíduos orgânicos.



Foram utilizadas bombonas com capacidade de 80 litros, formato cilíndrico, cujas medidas são 70 cm x 38 cm (Altura x Largura) (Figura 8). Cada bombona foi preenchida com camadas intercaladas de resíduos, sendo uma camada de folhas secas trituradas (altura da camada= 15 cm) e resíduos orgânicos (altura da camada = 5 cm), sucessivamente até o preenchimento total da bombona. Buscou-se com essa proporção, manter uma relação C/N de aproximadamente 30:1, adequada às necessidades dos microrganismos decompositores (KIEHL, 1985). Após a montagem, os resíduos foram irrigados com água de COPASA.

Figura 8 – Bombonas utilizadas no experimento realizado no pátio externo do Campus I.



O experimento consistiu em três tratamentos (revolvimento diário, a cada três dias e semanal), com três repetições. Os revolvimentos dos resíduos tiveram início no dia 28 de agosto de 2017, sendo que o experimento foi conduzido por 30 dias. Os resíduos foram revolvidos com uma pá média (Figura 9) e posteriormente as bombonas foram tombadas no chão para que o material contido na base misturasse com todo o material utilizado no processo de compostagem.

Figura 9 – Instrumento utilizado para revolvimentos das bombonas.



O monitoramento dos parâmetros pH, umidade, temperatura e condutividade elétrica nas composteiras iniciou em 25 de agosto de 2017. Para a análise dos parâmetros, pH e umidade utilizou-se o equipamento Instrutherm pH 2500 (Figura 10) e, para a condutividade elétrica, o equipamento Instrutherm CD-880 (Figura 11), estabelecendo-se para o monitoramento desses parâmetros, o ponto central da leira (altura x largura). Para a temperatura temperatura foi utilizado o termômetro digital (modelo ITTH 1400) (Figura 12), com haste de 90 cm de comprimento, monitorando três alturas diferentes da bombona: inferior (10 cm da base), média (meio da leira) e superior (10 cm do topo).

Figura 10 – Equipamento utilizado para o monitoramento do pH e umidade.



Figura 11 – Equipamento utilizado para o monitoramento da condutividade elétrica.



Figura 12 – Equipamento utilizado para o monitoramento da temperatura.



Ao vigésimo dia após início do experimento (DAI), uma amostra de cada tratamento foi retirada e armazenada em local refrigerado, para análises de umidade 60-65°C e 110-110°C, e matéria orgânica por combustão (Kiehl, 1985), além do teste de germinação com sementes de

hortaliças (alface e rúcula). Após 30 DAI, o composto foi pesado e peneirado (Figura 13), utilizando-se uma peneira com malha de 5 mm, retendo o material orgânico que não foi totalmente decomposto.

Figura 13 – Peneiramento do composto realizado no dia 25 de setembro de 2017.



4.1 Percentagem de germinação com sementes de hortaliças

O teste de germinação com sementes de hortaliças foi realizado no dia 29 de setembro de 2017 no laboratório de Ecologia - CEFET-MG.

Para o teste de germinação foram utilizadas sementes de alface (*Lactuca sativa*) e rúcula (*Eruca sativa*). Primeiramente, foram pesadas três amostras de cada tratamento, com aproximadamente 20g cada e diluídas em 100 ml de água destilada. Cada solução permaneceu por 2 minutos na centrífuga. O teste foi realizado em caixas Gerbox. Após adicionar a solução, foram colocadas às sementes de hortaliças sendo 20 de alface e 20 de rúcula, em triplicata. As caixas Gerbox foram embaladas com papel alumínio e colocadas em uma câmara de germinação com temperatura ambiente (25°C). A contagem do número de sementes germinadas foi realizada com 72, 120 e 168 horas, em três dias de monitoramento (Figura 14).

Figura 14 – Teste de germinação com sementes de hortaliças.



4.2 Análise de umidade a 60-65°C e a 100-110°C

As análises de umidade e matéria orgânica foram realizadas no laboratório de Microbiologia do CEFET-MG com três dias de experimentos (25; 26 e 27/10/17).

Inicialmente para a análise de umidade a 60-65°C, a balança foi tarada para pesar os cadinhos de alumínio vazios e em seguida foi tarada novamente para pesar 15g de cada amostra úmida (Figura 15 e 17). Após a pesagem separadamente dos cadinhos e das amostras, foi feita a pesagem dos dois juntos e posteriormente foram levados para estufa, a uma faixa de 60-65°C, permanecendo por 12h. As amostras após sair da estufa foram deixadas para esfriar ao ar ambiente, sendo pesadas em seguida.

Cálculo exemplificado para obtenção da umidade a 60-65°C (KIEHL, 1985):

$$1. \text{ Umidade } 60-65^{\circ}\text{C} (\%) = \frac{[100 * (\text{Peso amostra úmida} - \text{Peso amostra seca } 60-65^{\circ}\text{C})]}{\text{Peso amostra úmida}}$$

Já para a análise da umidade a 100-110°C, foram pesados 5g da amostra seca da análise de umidade a 60-65°C; em seguida, foi feita a pesagem das amostras com os cadinhos e posteriormente inseridas na estufa em uma faixa de temperatura graduada entre 100-110°C, durante 12h (Figura 16). Após permanecerem na estufa, as amostras foram retiradas para serem resfriadas no dessecador e pesadas.

Cálculo exemplificado para obtenção da umidade a 60-65°C (KIEHL, 1985):

$$2. \text{ Umidade a } 100\text{-}110^{\circ}\text{C} (\%) = (\text{tara} + \text{amostra seca } 60\text{-}65^{\circ}\text{C}) + (\text{umidade perdida a } 100\text{-}110^{\circ}\text{C})$$

Sendo:

$$3. \text{ Umidade perdida a } 100\text{-}110^{\circ}\text{C} (\%) = 5 - [(\text{tara} + \text{amostra seca } 100\text{-}110) - (\text{tara cadinho})]$$

Figura 15 – Cadinhos de alumínio utilizados no experimento.



Figura 17 – Cadinhos da análise de umidade de 100-110°C na estufa.



Figura 16 – Pesagem do cadinho com amostra.



Para a análise de matéria orgânica a 550°C foram utilizadas 5g de cada amostra seca da análise de umidade a 100-110°C. Devido às amostras terem que permanecer na mufla durante uma hora a 550°C, os cadinhos utilizados foram os de porcelanas. Antes de serem encaminhados à mufla, foi feita a pesagem dos cadinhos de porcelana vazios e com a amostra de 5g (Figura 18). O método utilizado na análise foi de perda por combustão (KIEHL, 1985).

Iniciou colocando os cadinhos de porcelana com as amostras na mufla, as mesmas foram aquecidas lentamente para serem queimadas sem inflamar, pois segundo Kiehl (1985) se formarem labaredas poderá ocorrer perda de material (Figura 19). Após alcançar a temperatura de 550°C, as amostras permaneceram por mais uma hora na mufla. Em seguida foram retiradas, inseridas no dessecador para resfriar e logo depois foi realizada a pesagem (Figura 20).

Cálculo da matéria orgânica perdida (KIEHL, 1985).

$$4. \text{ Matéria orgânica total (\%)} = [(100 - \text{Umidade a } 60-65^{\circ}\text{C}) * \text{matéria orgânica perdida} / 5]$$

Sendo:

$$5. \text{ Matéria orgânica perdida (\%)} = (\text{Amostra seca da umidade a } 100-110^{\circ}\text{C}) - (\text{Amostra de cinza a } 550^{\circ}\text{C})$$

A partir do teor de matéria orgânica total pode-se calcular a porcentagem de carbono total da mostra, usando o seguinte fator: 1,8 (KIEHL, 1985).

$$6. \text{ Carbono Total (\%)} = \text{Matéria orgânica total} / 1,8$$

Figura 18 – Pesagem dos cadinhos de porcelanas com e sem amostra, antes da mufla.



Figura 19 – Cadinhos na mufla a 550°C.



Figura 20 – Resfriamento dos cadinhos no dessecador e em seguida a pesagem das amostras após mufla.



4.3 Comparação dos resultados das análises laboratoriais com a IN 25/09 do MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

Após 40 DAI, amostras de cada tratamento foram embaladas e encaminhadas através de um automóvel da instituição ao Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), para análises químicas, seguindo o Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos, oficializado pela instrução Normativa DAS nº 37 de 13 de outubro de 2017 (MAPA, 2017).

Os resultados das análises foram comparados com os padrões estabelecidos (Tabela 6), no qual expressa a síntese dos limites exigidos pela IN 25/09 do MAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento para comercialização.

Tabela 6 – Variáveis admitidas pelo Anexo III da I.N nº 25 de 23 de junho de 2009 para fertilizantes orgânicos mistos e compostos.

Parâmetros	IN 25/2009¹
pH	Mín 6,5
Umidade % m/m (Equivale a g 100g ⁻¹)	Máx 50
Carbono orgânico %	Mín 15
Nitrogênio total %	Mín 0,5
Relação C/N	Máx 20
CTC ²	Conforme declarado
Cálcio (Ca) %	Mín 1
Magnésio (Mg) %	Mín 1
Enxofre (S) %	Mín 1
Boro (B) %	Mín 0,03
Cloro (Cl) %	Mín 0,1
Cobalto (Co) %	Mín 0,005
Cobre (Cu) %	Mín 0,05
Ferro (Fe) %	Mín 0,2
Manganês (Mn) %	Mín 0,05
Molibdênio (Mo) %	Mín 0,005
Níquel (Ni) %	Mín 0,005
Silício (Si) %	Mín 1,0
Zinco (Zn) %	Mín 0,1

1. Valores expressos na base a 65°C

2. É obrigatória a declaração no produto

Fonte: BRASIL, (2009).

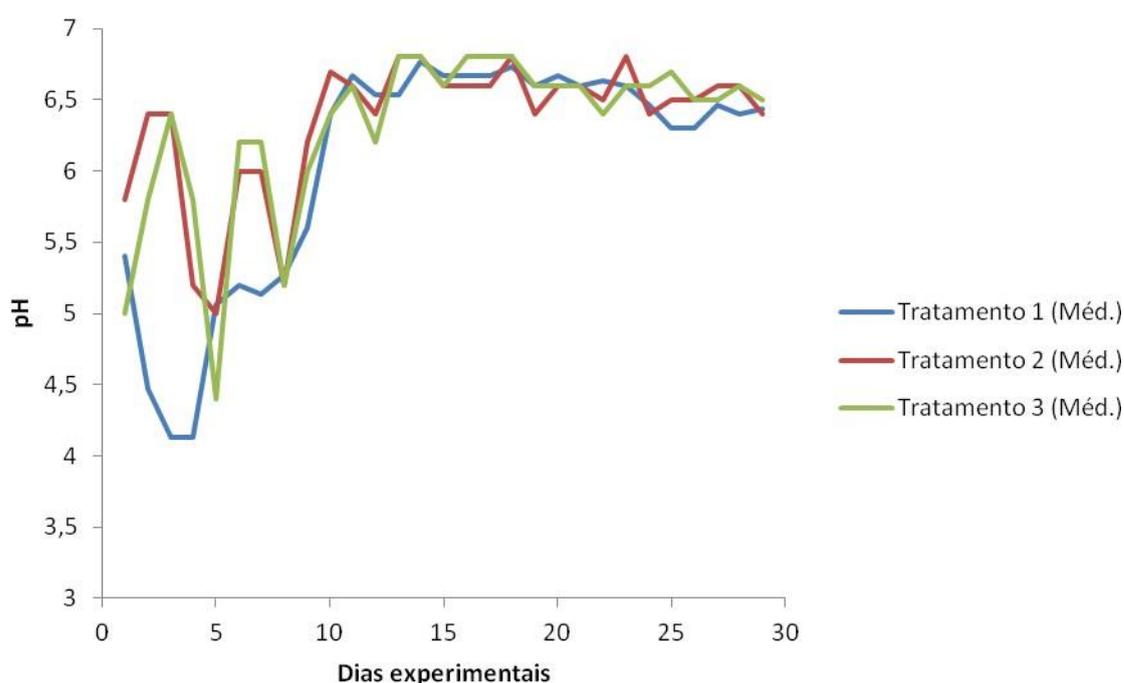
4.4 Análise Estatística pelo programa Sisvar

Os dados foram submetidos à análise de variância, com um delineamento inteiramente ao acaso. As médias foram analisadas pelo teste de Tukey a 5%, utilizando-se o programa SISVAR (FERREIRA, 1996).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Estatisticamente não houve diferença significativa pelo teste de Tukey a 5%, entre os tratamentos para os parâmetros pH, umidade e condutividade elétrica aos 30 DAI, pois o indicativo $Pr > F_c$ não apresentou valores abaixo de 0,005 (ANEXO I – Tabela 1).

Gráfico 1 – Comportamento do parâmetro pH, durante a condução do experimento.



Obs: Tratamento 1, 2 e 3 = revolvimento diário, a cada três dias e semanal, respectivamente.

Observou-se, na fase inicial da compostagem (0-5 dias), que o pH reduziu nos três tratamentos, indo de 5,5-6,5 para 3,8-5,0 (Gráfico 1). Segundo Diaz e Savage (2011), no início da compostagem, como consequência da atividade de bactérias que degradam material carbônico complexo a ácidos orgânicos, o pH diminui. Porém, à medida que a matéria orgânica avança no processo de decomposição, o pH progressivamente aumenta.

Os primeiros revolvimentos promoveram a homogeneização dos resíduos, de maneira que se pôde observar alguns picos de rebaixamento de pH. Posteriormente, esses picos não foram mais verificados, provavelmente devido à decomposição das macromoléculas de compostos de carbono já ter ocorrido. Assim, a partir do 15 DAI, os valores de pH aumentam e

estabilizam em 6,5 nos três tratamentos, permanecendo assim até os 30 DAI (Gráfico 1), final do experimento.

Segundo Merkel (1981), a faixa de umidade ideal para obter uma rápida decomposição é entre 40 e 60%, pois proporciona o suprimento de água ideal para o crescimento de organismos biológicos envolvidos e para as reações bioquímicas que ocorrem durante a compostagem. Teores de umidade acima de 65%, de acordo com Lima (2015) podem afetar a aeração, favorecendo o processo de anaerobiose, como odores, atração de insetos ou lixiviação de chorume. O material utilizado para compostagem continha muita água (frutas inteiras) e mesmo com a adição de material mais seco (folhas secas picadas), houve produção de líquido excedente (Figura 21). No decorrer da compostagem houve evaporação do vapor d'água, porém as bombonas fechadas não possibilitaram a sua liberação para o ambiente, o que ocasionou a condensação das gotículas d'água, e sua permanência na massa de resíduos, durante o processo. Orthodoxou *et al.* (2015), em experimento com compostagem também em recipiente fechado, mostrou uma alta correlação negativa entre umidade e temperatura.

Figura 21 – Lixiviação de Chorume nos três tratamentos durante o processo de compostagem.



Nas amostras encaminhadas para análise de umidade em laboratório, aos 20 DAI, não foi observada diferença entre 60-65°C; porém, para a umidade total (100-110° C), o tratamento com revolvimento diário, apresentou o menor valor, não havendo diferença entre os revolvimentos a cada três dias e o revolvimento semanal (Tabela 7). O revolvimento diário possibilitou uma evaporação maior do conteúdo de água presente na massa de resíduos. De acordo com Raabe (2018), o revolvimento promove a liberação do vapor d'água e sua evaporação.

Tabela 7 – Umidade a 60-65° C e Umidade a 100-110°C, aos 20 DAI

Tratamentos	60-65° C (%)	100-110° C (%)
Revolvimento diário	33,57 a*	35,60 b*
Revolvimento a cada três dias	34,04 a	44,96 ab
Revolvimento semanal	42,56 a	47,78 a

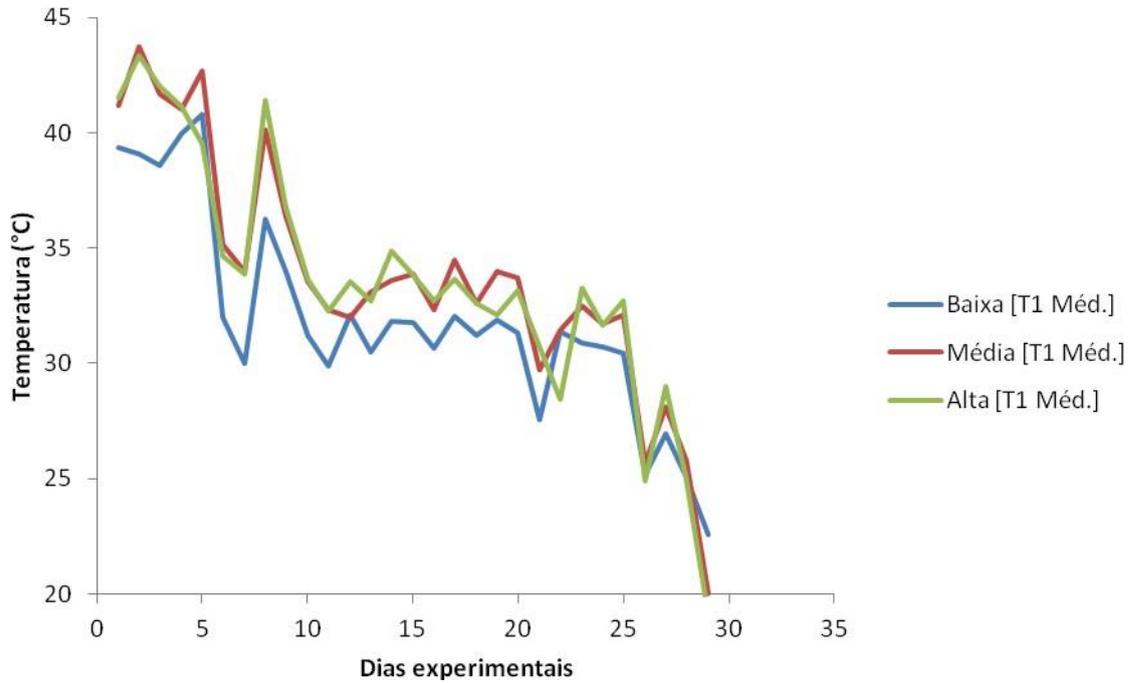
(*) Letras iguais na coluna – não houve diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0.005)

Qualquer processo de compostagem tem três estágios de temperatura - mesofílico, termófilo e um estágio de resfriamento (IVANKIN, PANDYA, SARAF, 2011). Segundo Insam e Bertoldi (2011), as faixas de temperatura das fases mesófila e termófila estão entre 25-40°C e 35-65°C, respectivamente. A temperatura na compostagem normalmente aumenta rapidamente para 55-65°C dentro de 24-72h do início do processo. Nessa fase "termofílica", as temperaturas podem ser altas o suficiente para matar patógenos, desvitalizar sementes de ervas daninhas e quebrar substâncias fitotóxicas (CEGLIE, ABDELRAHMAN, 2011).

Em temperaturas abaixo de 60°C, mais de 40% dos sólidos são degradados a primeira semana, quase inteiramente através da atividade bacteriana (STROM, 1985). Após a maior parte da degradação ter ocorrido a temperatura diminui e começa uma outra fase mesófila. Microrganismos mesofílicos ressurgem no processo e assumem essa última etapa, que corresponde também a fase de maturação ou cura de composto (GARCIA-PRENDES, 2001).

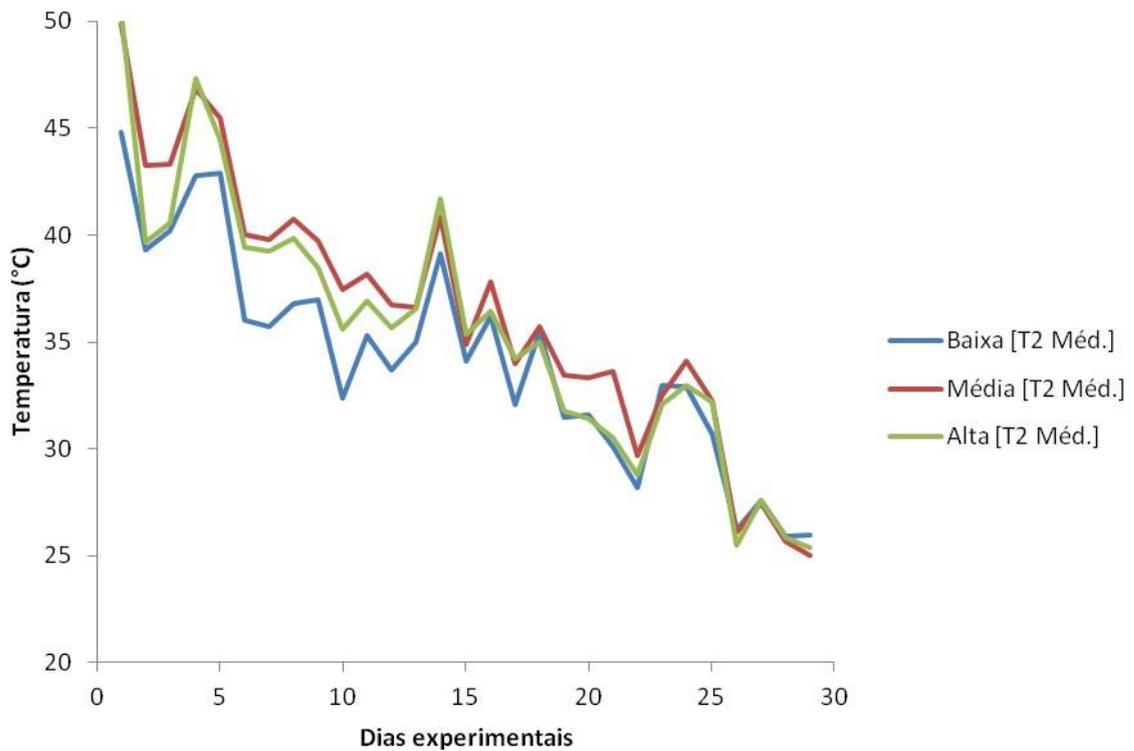
Durante a condução do experimento, observou-se uma redução da temperatura com o passar do tempo, em todos os tratamentos, apesar da frequência dos revolvimentos. O intervalo de temperatura que variou entre 53°C, no início à 20°C aos 30 DAI, dentre as três diferentes profundidades de monitoramento de temperatura (inferior, meio e superior) das bombonas (Gráfico 2,3 e 4).

Gráfico 2 – Comportamento do parâmetro temperatura (°C), em três diferentes posições nas bombonas (inferior, meio e superior), durante a condução do experimento.



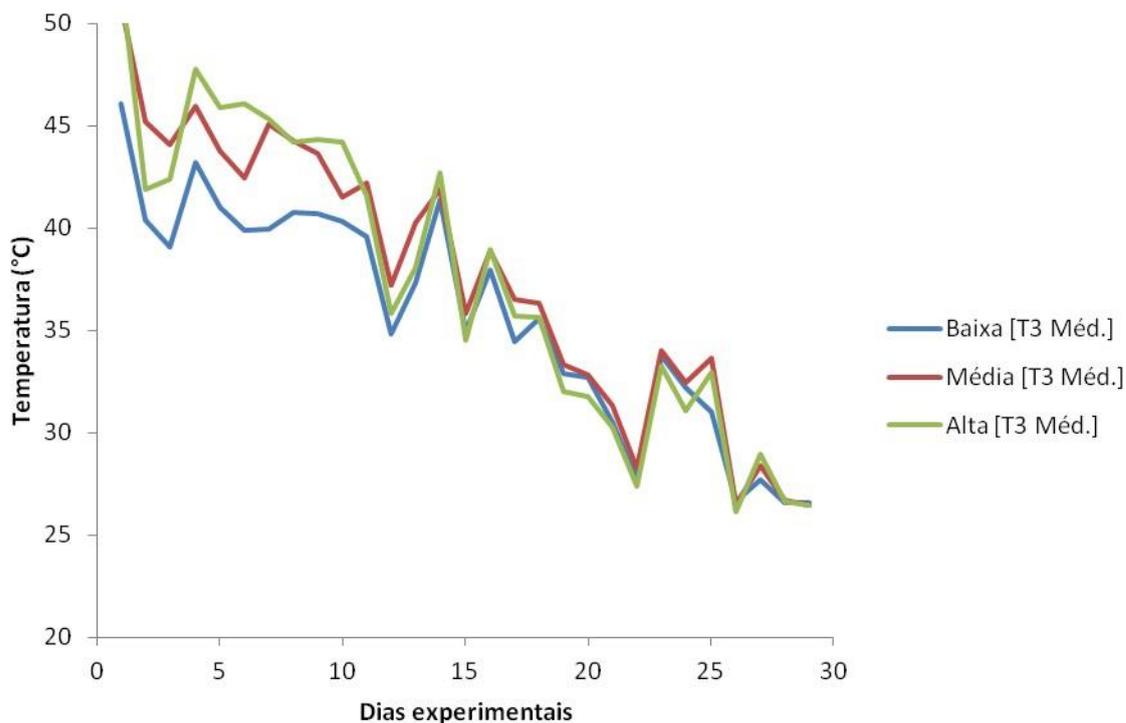
Obs: Tratamento 1, 2 e 3= revolvimento diário, a cada três dias e semanal, respectivamente.

Gráfico 3 – Comportamento do parâmetro temperatura (°C), em três diferentes posições nas bombonas (inferior, meio e superior), durante a condução do experimento.



Obs: Tratamento 1, 2 e 3= revolvimento diário, a cada três dias e semanal, respectivamente.

Gráfico 4 – Comportamento do parâmetro temperatura (°C), em três diferentes posições nas bombonas (inferior, meio e superior), durante a condução do experimento.



Obs: Tratamento 1, 2 e 3= revolvimento diário, a cada três dias e semanal, respectivamente.

Entretanto, para a garantia de higienização do composto, com eliminação de microrganismos patogênicos e sementes de ervas daninhas, alguns autores recomendam a combinação de temperatura e tempo de exposição. Segundo Zhang e Sun (2016), o composto gerado no processo estará livre desses indesejáveis, caso a temperatura permanecer acima de 55°C por três dias consecutivos. Já Bohn (2011) cita que para compostagem em recipientes fechados, com ambiente aeróbico, há necessidade de permanência de pelo menos uma semana, à temperatura de 65°C. Como não foram realizados testes microbiológicos no composto gerado e as temperaturas durante o experimento mantiveram-se abaixo dessas indicações, não é possível afirmar que o produto está livre de patógenos e/ou sementes daninhas. No entanto, a que se atentar para o fato de que os materiais utilizados são oriundos exclusivamente de restos de alimentos não processados e de folhas secas. Entretanto, folhas e galhos secos podem ter contaminação fecal (BOHN, 2011).

Ao final do experimento, o tratamento com revolvimento diário apresentou os menores valores de temperatura, porém, não diferindo do revolvimento a cada três dias. O

revolvimento semanal apresentou os maiores valores de temperatura, não diferindo do revolvimento a cada três dias, nas três diferentes profundidades analisadas (Tabela 8).

Tabela 8 – Temperatura em três diferentes profundidades das bombonas em 30 DAI

Tratamentos	Inferior T (°C)	Meio T (°C)	Superior T (°C)
Revolvimento diário	31.90 a*	33.79 a	33.66 a
Revolvimento a cada três dias	34.65 ab	36.36 ab	35.55 ab
Revolvimento semanal	35.71 b	37.57 b	37.37 b

(*) Letras iguais na coluna– não houve diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0.005)

Raabe (2018) esclarece que os revolvimentos, além de auxiliarem na oxigenação das composteiras, disponibilizando O₂ para os microrganismos, provocam também a liberação do excesso de calor, através da vaporização da água e da liberação de CO₂, oriunda da respiração microbiana.

A condutividade elétrica é sugerida como parâmetro de monitoramento da compostagem, pois indica a liberação de íons através da mineralização da matéria orgânica e também por que a salinidade de fertilizantes pode afetar o desenvolvimento vegetal (JEONG, 2017). Para evitar danos às plantas quando se utiliza composto, os sais solúveis totais não devem exceder 1,5 mS/cm para culturas de viveiro e 2,0 mS/cm para cultivo (Tittarelli, 2011). Ao final do experimento, não foram observadas diferenças significativas entre os tratamentos, em relação aos valores de condutividade elétrica. Os valores estão abaixo dos limites que podem ocasionar danos às plantas (Tabela 9).

Tabela 9 – Condutividade Elétrica aos 30 DAI.

Composteiras	(mS/cm)
Revolvimento diário	0,173a*
Revolvimento a cada três dias	0,120a
Revolvimento semanal	0,118a

(*) Letras iguais – não houve diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0.005)

Após 20 DAI, observou-se que não evidenciou diferença significativa para Matéria Orgânica e Carbono Total, entre os três tratamentos. Porém, houve uma redução dos teores de carbono: após os 40 DAI, o material produzido no experimento ainda continuou o processo de decomposição (Tabela 10). Segundo Kiehl (1998), quando o composto atinge a semicura, ou

bioestabilização, a relação C/N se situa em torno de 18/1, e quando atinge a maturidade, ou seja transformou-se em produto acabado ou humificado, a relação C/N se situa em torno de 10/1. Desta forma, o material ainda estava em processo de biestabilização, ou seja, não totalmente mineralizado.

Tabela 10 – Teores de Carbono Total, após 20 DAI e + 40 DAI e relação C/N.

Tratamentos	% Carbono (30DAI)	% Carbono (+ 40DAI)	C/N (+40DAI)
Revolvimento diário	23,72	16,71	36,33
Revolvimento a cada três dias	24,83	16,71	32,13
Revolvimento semanal	28,57	16,67	31,45

Os dados da tabela 11 permitem inferir que somente o pH e o carbono orgânico se enquadram nas exigências da legislação para os três tratamentos, (revolvimento diário, a cada três dias e semanal), apresentando valores superiores a 6,5 e 15 respectivamente. O nitrogênio e o cálcio atingiram o mínimo exigido somente para os tratamentos com revolvimentos a cada três dias e semanal. As demais variáveis como também os macros e micronutrientes presentes nos materiais oriundos dos tratamentos, apresentaram resultados insatisfatórios, ou seja, abaixo dos limites estabelecidos pela legislação.

Os teores de nutrientes em compostos orgânicos dependem das matérias primas utilizadas e, portanto, variam grandemente. De acordo com Kiehl (2002), um composto produzido com resíduos contendo folhas, cascas de frutas e capinas possui teores de P e K baixos.

No que se referem aos macronutrientes, os teores são considerados baixos para um composto orgânico curado (KIEHL, 1985). E os micronutrientes que, de acordo com Giracca e Nunes (2015), fazem parte das enzimas e têm função reguladora para o crescimento dos vegetais, também são necessários em pequenas quantidades. Portanto, acredita-se que os baixos teores dos macro e micronutrientes indiquem que a maturação não foi alcançada e a matéria orgânica ainda está sendo mineralizada nos três tratamentos, além das características dos resíduos que foram utilizados no experimento.

Os valores de CTC para os três tratamentos foram superiores a 1000 mmolc/kg. Reis (2005) enfatiza que a faixa ótima de CTC para um composto final é entre 600 a 800 mmol c/kg (Tabela 11).

Tabela 11 – Comparação dos resultados das variáveis obtidas pelo Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos de Varginha com os parâmetros admitidos pelo Anexo III da I.N nº 25/2009.

Parâmetros	Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos de Varginha			IN 25/2009 ¹
	Rev. Diário	Rev. a cada três dias	Rev Semanal	
pH (%)	8,73	8,50	8,54	Mín 6,5
Umidade % m/m (Equivale a g 100g ⁻¹)	72,05	67,30	64,71	Máx 50
Carbono orgânico %	16,71	16,71	16,67	Mín 15
Nitrogênio total %	0,46	0,52	0,53	Mín 0,5
Relação C/N	36,33	32,13	31,45	Máx 20
CTC ² (mmol/Kg)	1175,75	1210,45	1245,38	Conforme declarado
CTC/C	70,36	72,44	74,71	Conforme declarado
P ₂ O ₅ Total (%)	0,11	0,33	0,16	-
K ₂ O H ₂ O (%)	0,3	0,3	0,43	-
Cálcio (Ca) %	0,78	1,01	1,01	Mín 1
Magnésio (Mg) %	0,08	0,11	0,11	Mín 1
Enxofre (S) %	0,03	0,04	0,04	Mín 1
Boro (B) %	-	-	-	Mín 0,03
Cloro (Cl) %	-	-	-	Mín 0,1
Cobalto (Co) %	0,0003	0,0003	0,0003	Mín 0,005
Cobre (Cu) %	0,003	0,004	0,005	Mín 0,05
Ferro (Fe) %	0,102	0,132	0,127	Mín 0,2
Manganês (Mn) %	0,005	0,005	0,005	Mín 0,05
Molibdênio (Mo) %	-	-	-	Mín 0,005
Níquel (Ni) %	-	-	-	Mín 0,005
Silício (Si) %	-	-	-	Mín 1,0
Zinco (Zn) %	0,002	0,002	0,002	Mín 0,1

1. Valores expressos na base a 65°C

2. É obrigatória a declaração no produto

Obs: T1, T2 e T3 = Revolvimento diário, a cada três dias e semanal respectivamente.

Fonte: Laboratório Oficial de Fertilizantes e Correlatos de Varginha (2018); BRASIL, (2009).

Em relação ao teste de germinação, não houve diferença significativa entre os tratamentos, para ambas as hortaliças (rúcula e alface). Porém, a alface mostrou-se mais sensível, com uma taxa de germinação bem inferior à rúcula (Tabela 12).

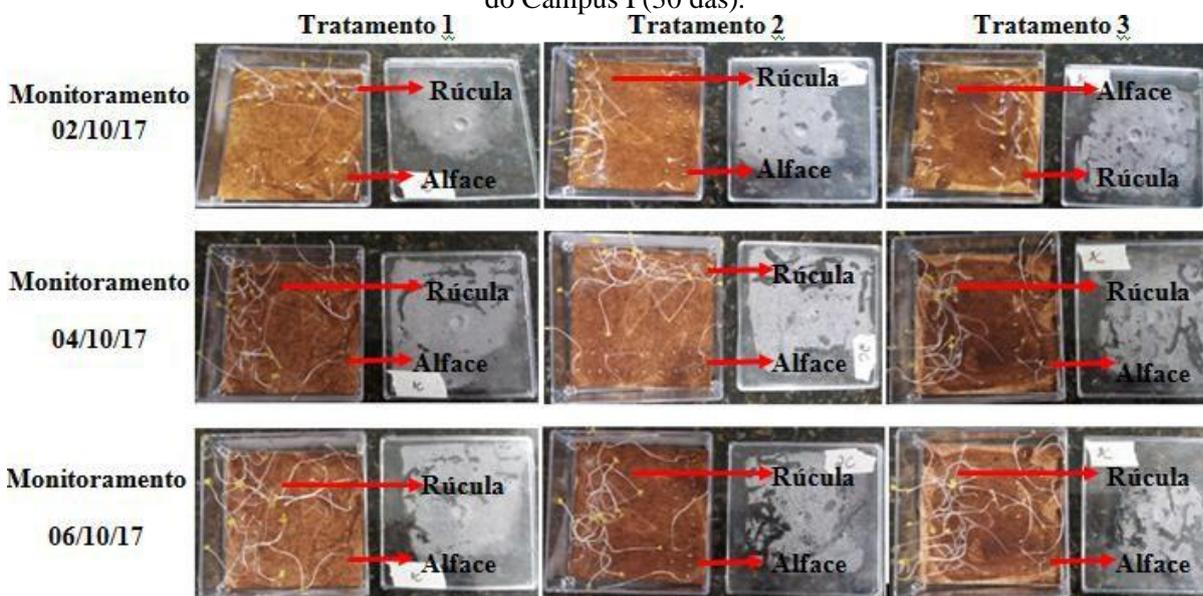
Tabela 12 - Germinação das sementes de rúcula e alface, em função dos tratamentos (revolvimento diário, a cada três dias e semanal), diluídos em água destiladas.

Composteira	Rúcula (%) *	Alface (%) *
Revolvimento diário	80,00 a	26,22 b
Revolvimento a cada três dias	83,33 a	30,00 b
Revolvimento semanal	88,33 a	43,33 b

(*) Letras diferentes – houve diferença estatística pelo teste de Tukey ($P < 0.005$)

As hortaliças são consideradas espécies mais adequadas aos testes de fitotoxicidade ao composto orgânico, devido a maior sensibilidade de substâncias que possam retardar ou impedir a germinação. A alface foi considerada uma das espécies mais sensíveis (EMINO, WARMAN, 2013). Observou-se uma baixa percentagem de germinação para a alface (Figura 22).

Figura 22 – Teste de germinação dos compostos gerados no experimento realizado no pátio externo do Campus I (30 dias).



A partir dos parâmetros utilizados, observou-se que os três tratamentos, independentemente das frequências de revolvimento, não alcançaram o término da fase de bioestabilização. Foi possível identificar as fases termófila e mesófila, nos três tratamentos. No entanto, a fase termófila, por não alcançado temperaturas superiores a 65° C, pode não ter possibilitado a eliminação de sementes daninhas e alguns fitopatógenos e/ou patógenos humanos. Entre os

tratamentos, percebeu-se que o revolvimento diário, proporcionou uma menor umidade e temperatura, o que poderia indicar uma maior aceleração na decomposição. Porém, a relação C/N não confirmou essa hipótese. Os teores de macronutrientes estão abaixo do adequado para um composto maturado ou humificado. A condutividade elétrica indicou que a quantidade de sais nos três tratamentos não causaria danos ao desenvolvimento fisiológico das plantas. O teste de germinação mostrou que a rúcula apresentou uma boa taxa de germinação, porém a alface se mostrou mais sensível. Entretanto, mais estudos são necessários com outras espécies e que inclua também o desenvolvimento vegetal, para verificar a fitotoxicidade de compostos na fase de bioestabilização.

6. CONCLUSÃO

Em face do exposto, mediante as condições experimentais, as diferentes frequências de revolvimentos não evidenciaram influência sobre a aceleração da etapa de bioestabilização.

O produto não é recomendado para fertilização de culturas alimentícias “in natura”. Porém, pode ser imediatamente utilizado como condicionador de solo, em covas para o plantio de espécies arbóreas, ou mesmo disposto sobre o solo, aguardando posterior semeio ou plantio.

Em áreas espacialmente reduzidas, porém, com grande geração de resíduos orgânicos, a etapa de bioestabilização pode ocorrer nas bombonas e depois removê-las para um local coberto, para que termine o processo de maturação.

Por ser uma prática simples e de fácil implantação, recomenda-se a compostagem, como uma importante alternativa para instituições de ensino, pois reutiliza de forma eficiente os resíduos do preparo de alimentos produzidos nos refeitórios universitários e de jardinagem, contribuindo para o aumento da vida útil dos aterros sanitários, além da redução dos gastos da instituição com caçambas para disposição dos resíduos de jardim e também a economia oriunda da utilização do composto produzido como fertilizante nas áreas verdes da instituição.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU JUNIOR, Cassio Hamilton et al. **Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal**. Piracicaba: Tópicos em Ciência do Solo, p.391-470, 2005.

ATCHLEY, Kate. **Hot Composting with the Berkeley Method**. The Kerr Center: for Sustainable Agriculture, Student Intern, 2013. Disponível em: <<http://kerrcenter.com>>. Acesso em: 03 jun.2017.

BERTOLDI, de Marco et al. **The Science of Composting**. UK: Springer Science, p.1452, 1996.

BOHN, Sonja et al. Improving the aeration of critical fine-grained landfill top cover material by vegetation to increase the microbial methane oxidation efficiency. **Waste management**, v. 31, n. 5, p. 854-863, 2011.

BRASIL. Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a política nacional de resíduos sólidos; altera a lei n. 9605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, 03 ago. 2010. Seção 1, p.3.

_____. Decreto n° 4954, de 14 de janeiro de 2004. Aprova o regulamento da Lei n° 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 15 jan. 2004. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2004/decreto/d4954.htm>. Acesso em: 23 mai. 2017.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Aprova 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, conforme anexos a esta instrução normativa. Instrução Normativa n° 25, de 23 de julho de 2009. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 jul. 2009. Disponível em: <<http://sistemasweb.agricultura.gov.br/sislegis/action/detalhaAto.do?method=recuperarTextoAtoTematicaPortal&codigoTematica=1229186>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Dispõe sobre fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, para serem produzidos, importados ou comercializados, deverão atender aos limites estabelecidos nos Anexos I, II, III, IV e V desta Instrução Normativa no que se refere às concentrações máximas admitidas para agentes fitotóxicos, patogênicos ao homem, animais e plantas, metais pesados tóxicos, pragas e ervas

daninhas. Instrução Normativa n° 27, de 05 de junho de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 28 jul. 2009. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-sda-27-de-05-06-2006-alterada-pela-in-sda-07-de-12-4-16-republicada-em-2-5-16.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Aprova normas sobre especificações e garantias, tolerâncias, registro, embalagem e rotulagem dos corretivos de acidez, de alcalinidade, de sodicidade e dos condicionadores de solo, destinados à agricultura, conforme anexos a esta instrução normativa. Instrução Normativa n° 35, de 04 de julho de 2006. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 jul. 2006. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/insumos-agropecuarios/insumos-agricolas/fertilizantes/legislacao/in-35-de-4-7-2006-corretivos.pdf>>. Acesso em: 23 mai. 2017.

_____. Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo. Aprova normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes minerais, destinados à agricultura, conforme anexos a esta instrução normativa. Instrução Normativa n°. 10, de 28 de outubro de 2004 /SARC **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 04 nov. 2004. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in_10_2004.pdf>. Acesso em: 23 mai. 2017.

_____. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Dispõe sobre a classificação e os procedimentos a serem adotados na inspeção e fiscalização da produção, importação, exportação e comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes e biofertilizantes, destinados à agricultura, conforme anexos a esta instrução normativa. Instrução Normativa n° 10, de 10 de maio de 2004. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 12 maio 2004b. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/PDF/in_10_2004.pdf>. Acesso em: 23 maio 2017.

_____. Lei n. 6894, de 16 de dezembro de 1980. Dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 17 dez. 1980. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/16894.htm>. Acesso em: 23 mai. 2017.

_____. Lei n. 6934, de 13 de julho de 1981. Altera a Lei n.º 6.894, de 16 de dezembro de 1980, que dispõe sobre a inspeção e fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes, estimulantes ou biofertilizantes, destinados à agricultura. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, 15 jul. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/1980-1988/L6934.htm>. Acesso em: 23 maio 2017.

CEGLIE, Francesco; ABDELRAHMAN, Hamada. Ecological intensification through nutrients recycling and composting in organic farming. In: **Composting for Sustainable Agriculture**. Springer International Publishing, 2014. p. 1-22.

COSTA, Amanda Rodrigues Santos et al. O processo da compostagem e seu potencial na reciclagem de resíduos orgânicos: The process of composting and its potential in the recycling of organic waste. **Revista Geama**, Recife, v. 2, n. 1, p.1-15, 2015.

COTTA, Jussara Aparecida de Oliveira et al. Compostagem versus vermicompostagem: comparação das técnicas utilizando resíduos vegetais, esterco bovino e serragem. **Revista Brasileira de Engenharia Ambiental e Sanitária**, São Carlos, v. 20, n. 1, p.65-78, 2015.

DIAZ, Luis; SAVAGE, George. Fatores que afetam o processo. Em: Diaz, l. F. por Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. (Ed.). **Ciência e tecnologia de compostagem**. Elsevier, 2011. p. 49-65.

DUARTE, Franciele Aparecida Plotásio et al. Proposta para a Destinação de Resíduos Orgânicos do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. **Congresso ABES FENASAN 2017**, São Paulo, p. 1-6, out. 2017.

EMINO, Everett; WARMAN, Phil. Biological assay for compost quality. **Compost Science & Utilization**, v. 12, n. 4, p. 342-348, 2004.

FELS, Loubna El; HAFIDI, Mohamed; OUHDOUCH, Yedir. Artemia salina as a new index for assessment of acute cytotoxicity during co-composting of sewage sludge and lignocellulose waste. **Journal Homepage: www.elsevier.com/locate/wasman**. Marrakech, Marrocos, p. 1-7, 2016.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual Prático para a compostagem de Biossólidos**. Londrina: Instituto de Pesquisas Agronômicas do Paraná, p.91,1996.

FERNANDES, Fernando; SILVA, Sandra Márcia Cesário Pereira da. **Manual prático para a compostagem de biossólidos: lodo PROSAB - Programa de Pesquisas em Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: ABES, p.84, 1999.

FERREIRA, Daniel Furtado. **Sisvar**. 1996. Disponível em: <<http://www.dex.ufla.br/~danielff/programas/sisvar.html>>. Acesso em: 15 maio 2018.

FREIRE, Glécia Mesquita et al. Aplicação de composto orgânico líquido via fertirrigação na cultura do meloeiro. **Bioscience Journal**. Uberlândia, p. 49-55, 2009.

GIRACCA, Ecila Maria Nunes; NUNES, José Luis da Silva. Solo. **Agrolink**. Fertilizantes. 2015. Disponível em: <<http://www.agrolink.com.br/fertilizantes/Solo.aspx>>. Acesso em: 11 jun. 2018.

GARCIA-PRENDES, Rafael. **Evaluation of dairy manure compost as a peat substitute in potting media for container-grown plants**. 100 f. Tese (Doutorado). University of Florida, Florida, 2001.

GUERMANDI, Júlia Inforzato. **Avaliação dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos dos fertilizantes orgânicos produzidos pelas técnicas de compostagem e vermicompostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos coletados em estabelecimentos alimentícios de São Carlos/SP**. 181f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Hidráulica e Saneamento, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2015.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico**: 2008. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Rio de Janeiro, p.219, 2010.

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

INSAM, Heribert; BERTOLDI, M. Microbiology of the Composting Process. In: Diaz, I. F.; de Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. (Ed.). **Compost science and technology**. Elsevier, 2011. p. 25-48.

IPEA – Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Diagnóstico dos resíduos sólidos urbanos. Relatório de pesquisa**. Brasília, p.82, 2012.

IVANKIN, Andrew Nikolaevich; PANDYA, Urja; SARAF, Meenu. Intensification of aerobic processing of the organic wastes into compost. In: **Composting for Sustainable Agriculture**. Springer, Cham, 2014. p. 23-42.

JEONG, Kwang-Hwa et al. Evaluation of pilot-scale in-vessel composting for Hanwoo manure management. **Bioresource Technology**, v. 245, p. 201-206, 2017.

JULIATTO, Dante. Luiz; CALVO, Milena Juarez; CARDOSO, Thaianna Elpídio. Gestão Integrada de Resíduos Sólidos para instituições públicas de ensino superior. Florianópolis, **Revista Gestão Universitária na America Latina- GUAL**, v.4, n.3, p.170-193, 2011.

KIEHL, Edmar José. **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. 3ª ed. Piracicaba, SP, p.171, 2002.

KIEHL, Edmar José. **Fertilizantes Orgânicos**. São Paulo: Agronômica Ceres Ltda, 1985.

LACERDA, Julian Junio Jesus; SILVA, Douglas Ramos Guelfi. Fertilizantes orgânicos: usos, legislação e métodos de análise: Boletim Técnico. 96. ed. Lavras: **Editora UFLA**, p.90, 2014.

LELLIS, Ítalo Cordeiro e; DUARTE, Franciele Aparecida Plotásio; FREITAS, Jéssica Elorde; VICTORIANO, Jéssica Thebaldi; ZAGO, Valéria Cristina Palmeira. 2016. "Projeto Piloto de Compostagem nos Campi I e II do CEFET-MG", p. 947-958. In: **Anais do XIV Encontro Nacional de Estudantes de Engenharia Ambiental [Blucher Engineering Proceedings v.3 n.2]**. São Paulo: Blucher, 2016.

LELIS, Marcelo Paula. Neves; FERREIRA PEREIRA NETO, João Tinôco. **A influência da umidade na velocidade de degradação e no controle de impactos ambientais da compostagem**. In: Congresso da associação brasileira de engenharia sanitária e ambiental, 1999. Anais...Rio de Janeiro: ABES, p.10, 1999.

MAPA. Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Fertilizantes e Corretivos. Brasília: **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, p. 24, 2017.

MASSUKADO, Luciana Miyoko; SCHALCH, Valdir. Avaliação da qualidade do composto proveniente da compostagem da fração orgânica dos resíduos sólidos domiciliares: Compost quality assessment from organic household waste composting. **Revista - DAE**, Planaltina, v.5, n.3, p.1-7, 2010.

MASSUKADO, Luciana Miyoko. **Desenvolvimento do processo de compostagem em unidade descentralizada e proposta de software livre para o gerenciamento municipal dos resíduos sólidos domiciliares**. 2008. 204 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

MERKEL, J. A. Composting. Em: **Gerenciando resíduos de gado**. AVI, Westport, CT, 1981. p. 306-324.

MILANEZ, Bruno et al. Avaliação Integrada de Gestão de Resíduos Sólidos Urbanos no Brasil: Uma proposta de metodologia. **Revista de Geografia**, Juiz de Fora, v.2, n.2, p.1-11, 2013.

MMA - MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Manual para implantação de compostagem e de coleta seletiva no âmbito de consórcios públicos**. Brasília- DF, 2010. MNISTÉRIO DAS CIDADES (MCIDADES). Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos – 2013. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/diagnostico-residuos-solidos>>. Acesso em: 24 maio 2017.

OLIVEIRA, Francisco Nelsieudes Sombra; LIMA, Hermínio José Moreira; CAJAZEIRA, João Paulo. **Uso da Compostagem em Sistemas Agrícolas Orgânicos**. Florianópolis: Embrapa Agroindústria Tropical, p.14, 2004.

ORTHODOXOU, Demetra et al. An investigation of some critical physico-chemical parameters influencing the operational rotary in-vessel composting of food waste by a small-to-medium sized enterprise. **Waste and Biomass Valorization**. v. 6, n. 3, p. 293-302, 2015.

PEJON, Osni José; RODRIGUES, Valéria Guimarães Silvestre. Fase Sólida: Composição Mineral do Solo. In: NUNES, Ramom Rachide; REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira. **Recurso do Solo: Propriedades e Uso**. São Carlos: Editora Cubo, p.54-184, 2015,

PEREIRA, Luiz Antônio Alves; FIALHO, Mirian Loureiro. Gestão da sustentabilidade: Compostagem otimizada em Resíduos Sólidos Orgânicos com a utilização de metodologia enzimática na implantação de uma Usina de Compostagem de lixo no município de Santa Juliana/MG. **International Journal of Knowledge Engineering and Management**. Florianópolis, v.2, n.2, p.52-85, 2013.

PEREIRA NETO, João Tinôco. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa – MG: UFV, 2007.

RAABE, Robert. **The Rapid Composting Method**. Disponível em: <<http://vric.ucdavis.edu/>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

REIS, Marisa Fernanda Power. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 2005. 239 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2005.

RITIELLI, Berticelli et al. Compostagem como alternativa de biorremediação de áreas contaminadas: Composting as Alternative bioremediation Contaminated Area. **Revista Ciatec - Upf**, Passo Fundo, v.8, n.1, p.12-28, 2016.

RONQUIM, Carlos Cesar. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. Disponível em:

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/31004/1/BPD-8.pdf> Acesso em: 18 maio 2017.

SANTOS, Amanda Thirza Lima et al. Aproveitamento da fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos para produção de composto orgânico. **Revista Brasileira de Ciências da Amazonas**, Rondonia, v.3, n.1, p.15-28, 2014.

SCHALCH, Valdir; MASSUKADO, Luciana Miyoko; BIANCO, Carolina Ibelli. Compostagem. In: NUNES, Ramom Rachide; REZENDE, Maria Olímpia de Oliveira. **Recurso do Solo: Propriedades e Uso**. São Carlos: Editora Cubo, p. 608-631, 2015.

SERPA FILHO, Rogério et al. Compostagem de Dejetos de Suínos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, São Carlos, v.6, n.1, p.47-78, 2013.

SIQUEIRA, Thais Menina Oliveira de; ABREU, Marcos José de. Fechando o ciclo dos resíduos orgânicos: compostagem inserida na vida urbana. **Ciência e Cultura**, [s.l.], v. 68, n. 4, p.38-43, dez. 2016.

STROM, Peter. Effect of temperature on bacterial species diversity in thermophilic solid-waste composting. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 50, n. 4, p. 899-905, 1985.

Tittarelli, Fabio et al. Quality and Agronomic Use of Compost. In: Diaz, I. F.; de Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W. (Ed.). **Compost science and technology**. Elsevier, 2011, p. 119-152.

THE ORGANIC STREAM. **The organic stream talk show**. Disponível em: <http://www.organicstream.org/category/the-organic-stream/>. Acesso em: 24 mai. 2017.

TOMÉ Júnior, J.B. **Manual para interpretação de análise do solo**. Guaíba: Agropecuária, 1997.

VALENTE, Beatriz Simões et al. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, v.58, p.59-85, 2009.

VITAL, Adriana de Fátima Meira et al. Implementação de uma composteira e de um minhocário como prática de educação ambiental visando a gestão de resíduos sólidos do CDSA. **Revista Didática Sistêmica**, Rio Grande, v.14, n.2, p.78-94, 2012.

ZHANG, Lu; SUN, Xiangyang. Influence of bulking agents on physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage composting of green waste. **Waste Management**, v. 48, p. 115-126, 2016.

ZAGO, Vália Cristina Palmeira; BARROS, Raphael Tobias Vasconcelos. **Diagnóstico dos resíduos urbanos orgânicos produzidos em Belo Horizonte-MG**. In: III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina. Anais III Conferência Internacional de Gestão de Resíduos na América Latina. São Paulo-SP, 2013.

ANEXO I

Tabela 1 – Análise de variância dos parâmetros pH, umidade e condutividade térmica.

		Análise de variância				
	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc *
pH	Tratamentos	2	3.616628	1.808314	3.700	0.0261
Umidade		2	154.697318	77.348659	2.699	0.0692
Condutividade Elétrica		2	0.058763	0.029382	4.771	0.0096
pH	Repetições	2	0.099387	0.049693	0.102	0.9034
Umidade		2	94.927203	47.463602	1.656	0.1929
Condutividade Elétrica		2	0.017920	0.008960	1.455	0.2362
pH	Erro	256	7243.009349	28.293005		
Umidade		256	7336.911877	28.659812		
Condutividade Elétrica		175	1.077612	0.006158		
pH	Total	260	128.845364			
Umidade		260	7586.536398			
Condutividade Elétrica		179	1.154295			

(*) Não houve diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,005)

Fonte: Sisvar - UFLA, 2018.

Tabela 2 - Análise de Variância do parâmetro Temperatura (baixa, média e alta).

		Análise de variância				
	FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc *
Temp. Baixa	Tratamentos	2	670.832490	335.416245	11.855	0.0000
Temp. Média		2	649.838851	324.919425	7.304	0.0008
Temp. Alta		2	600.394789	300.197395	6.140	0.0025
Temp. Baixa	Repetições	2	134.672261	67.336130	2.380	0.0946
Temp. Média		2	172.899310	86.449655	1.943	0.1454
Temp. Alta		2	204.390881	102.195441	2.090	0.1258
Temp. Baixa	Erro	256	7243.009349	28.293005		
Temp. Média		256	11388.93977	44.488046		
Temp. Alta		256	12516.98015	48.894454		
Temp. Baixa	Total	260	8048.514100			
Temp. Média		260	12211.67793			
Temp. Alta		260	13321.76582			

(*) Houve diferença estatística pelo teste de Tukey (P<0,005)

Fonte: Sisvar - UFLA, 2018.