



UNIVERSIDADE
ESTADUAL DE LONDRINA

MAURO ROBERTO DE ANDRADE

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES E DE
RESTAURANTE:
EFEITO DO TEMPO DE PROCESSO NA QUALIDADE DO
COMPOSTO FINAL**

MAURO ROBERTO DE ANDRADE

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES E DE
RESTAURANTE:
EFEITO DO TEMPO DE PROCESSO NA QUALIDADE DO
COMPOSTO FINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes

Londrina
2019

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do Programa de Geração Automática do Sistema de Bibliotecas da UEL

A553c ANDRADE, MAURO ROBERTO DE.
Compostagem de resíduos verdes e de restaurante : efeito do tempo de processo na qualidade do composto final / MAURO ROBERTO DE ANDRADE. - Londrina, 2019.
55 f. : il.

Orientador: Fernando Fernandes.
Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Estadual de Londrina, Centro de Tecnologia e Urbanismo, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2019.
Inclui bibliografia.

1. Engenharia - Tese. 2. Engenharia - Pós-graduação - Tese. 3. Compostagem - Tese. 4. Resíduos orgânicos - Tese. I. Fernandes, Fernando . II. Universidade Estadual de Londrina. Centro de Tecnologia e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 62

MAURO ROBERTO DE ANDRADE

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS VERDES E DE RESTAURANTE:
EFEITO DO TEMPO DE PROCESSO NA QUALIDADE DO
COMPOSTO FINAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil do Centro de Tecnologia e Urbanismo da Universidade Estadual de Londrina, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Dr. Fernando Fernandes
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Profa. Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça
Costa
Universidade Estadual Do Oeste Do Parana –
UNIOESTE

Prof. Dr. Efraim Rodrigues
Universidade Estadual de Londrina – UEL

Londrina, 01 de agosto de 2019.

ANDRADE, Mauro Roberto de. **Compostagem de resíduos verdes e de restaurante: efeito do tempo de processo na qualidade do composto final**. 2019. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2019.

RESUMO

A compostagem, sobretudo é uma técnica simples que reduz impactos ambientais, favorecendo a ciclagem de nutrientes, com baixo custo de adoção. Já bastante empregada no meio rural e com grande potencial de utilização no meio urbano, tem-se como resultado final um produto que se enquadra como fertilizante orgânico. Neste trabalho objetivou-se analisar o melhor tempo para a compostagem dos resíduos orgânicos de grama, poda de árvores e resíduos alimentares. Montaram-se três leiras com quantidade idêntica de resíduos, submetendo-as a diferentes tempos de processo. Os tratamentos adotados foram: L1 45, L270 e L390 dias, e para maturação somou-se mais trinta dias em cada um dos tratamentos. Ao término dos períodos de estabilização e maturação analisou-se os parâmetros físico-químicos, por meio do monitoramento de redução de massa, temperatura, pH, CE, relação C/N e análise dos níveis dos macronutrientes (N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S) e micronutrientes (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, Ni, Zn). Fez-se ainda o teste do índice de germinação (IG) para avaliar os parâmetros de fitotoxicidade do composto estabilizado e maturado. Com os resultados obtidos foi possível concluir que os três tratamentos apresentaram características de qualidade de composto orgânico estável. Tanto no composto estabilizado como no composto maturado, o potássio (K) e o N foram os elementos que mais se destacaram entre os macronutrientes, e o Fe e o Na são os dois elementos que apresentam os níveis mais elevados dentre os micronutrientes, com (IG) superior a 100% nos três tratamentos, demonstrando ausência de fitotoxicidade. O tratamento (L1 45) demonstrou maior viabilidade econômica, pelo fato de ser o tratamento com menor tempo no pátio de compostagem, sem prejudicar suas características de qualidade, enquadrando-se como fertilizante orgânico, segundo a instrução normativa do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Dessa forma, o tratamento (L1 45) possibilita reduzir os custos com mão de obra, os custos com movimentação de máquinas, além de permitir uma redução no tamanho da área para o processo da compostagem.

Palavras-chave: Compostagem de resíduo de grama. Resíduos alimentares. Resíduo de poda de árvore. Instrução normativa do MAPA.

ANDRADE, Mauro Roberto de. **Evaluation of a system of composting from vegetable waste and residues from restaurants produced on the campus of the state university of londrina.** 2019. 55 p. Dissertation (Master in Civil Engineering) - State University of Londrina, Londrina, 2019.

ABSTRACT

Composting is above all a simple technique that reduces environmental impacts, favoring the cycling of nutrients, with low adoption costs. Already heavily employed in rural areas and with great potential for use in the urban environment, we have as final result a product that fits as organic fertilizer. The objective of this work was to analyze the best time for composting organic grass waste, tree pruning and food waste. Three lanes with an identical amount of waste were assembled, subjecting them to different process times. The treatments adopted were; stabilization L145, L270 and L390 days, and for maturation another thirty days were added in each of the treatments. At the end of the stabilization and maturation periods the physicochemical parameters were analyzed by mass, temperature, pH, EC, C / N and macronutrient (N, P₂O₅, K₂O, Ca, Mg, S) and micronutrients (B, Cu, Fe, Mn, Mo, Na, Ni, Zn). The germination index (GI) test was also performed to evaluate the phytotoxicity parameters of the stabilized and matured compound. With the results obtained, it was possible to conclude that the three treatments showed stable organic compound quality, with (IG) higher than 100% in the three treatments, demonstrating absence of phytotoxicity. The treatment (L1 45) showed greater economic viability, since it is the treatment with less time in the composting yard, without harming its quality characteristics, being classified as organic fertilizer, according to the normative instruction of the Ministry of Livestock and Supply . In this way, it allows to reduce the labor costs, the costs of moving machines, besides allowing a reduction in the size of the area for the composting process.

Keywords: Composting of grass residue. Food residue. Tree pruning residue. MAPA normative Instruction.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Estimativa de produção de resíduos no Campus Universitário	26
Tabela 2	– Características das leiras de compostagem.....	27
Tabela 3	– Índice de classificação para teste de germinação.....	29
Tabela 4	– Valores de temperaturas máximas e mínimas atingidos no processo.....	32
Tabela 5	– Valores de pH ao final da fase de estabilização e ao final da maturação	33
Tabela 6	– Evolução de condutividade elétrica durante o processo de compostagem.....	34
Tabela 7	– Evolução dos sólidos voláteis, fixos e COT.....	38
Tabela 8	– Evolução do teor de umidade nas leiras de compostagem	39
Tabela 9	– Dados do Experimento e especificação do MAPA	39
Tabela 10	– Níveis de macronutrientes.....	40
Tabela 11	– Níveis de micronutrientes.....	41
Tabela 12	– Dados do índice de germinação.....	42
Tabela 13	– Tratamento estatístico dos dados	44
Tabela 14	– Quantidade de resíduo gerado e recolhido no campus da UEL.....	45
Tabela 15	– Estimativa máxima de resíduos gerados em um mês no campus da UEL	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – A influencia da temperatura durante o processo de compostagem.....	16
Figura 2 – Aspecto visual do resíduo de poda de árvore	23
Figura 3 – Aspecto visual do resíduo de restaurante	24
Figura 4 – Parâmetros e frequencia de análise.....	24
Figura 5 – Composto sendo peneirado	26
Figura 6 – Cronograma das ações do experimento	27
Figura 7 – Montagem das leiras.....	28
Figura 8 – Evolução das temperaturas na leira 1	30
Figura 9 – Evolução das temperaturas na leira 2.....	31
Figura 10 – Evolução da temperatura na leira 3	31
Figura 11 – Evolução pH durante o processo de compostagem.....	33
Figura 12 – Pesagem do composto estabilizado.....	35
Figura 13 – Redução de massa durante o processo de compostagem	36
Figura 14 – Aspecto visual da Leira 3	37
Figura 15 – Comportamento do N durante o processo de compostagem	43
Figura 16 – Dimensionamento do pátio de compostagem	47

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CE	Condutividade elétrica
Cfa	Classificação climática de Koppen-Geiger
C/N	Relação carbono nitrogênio
COT	Carbono orgânico total
CTC	Capacidade troca catiônica
DA	Digestão anaeróbia
DQO	Demanda química de oxigênio
IAPAR	Instituto Agrônomo do Paraná
IG	Índice de germinação
IN	Instrução normativa
MAPA	Ministério Agricultura Pecuária e Abastecimento
MO	Matéria orgânica
MS	Matéria seca
PNRS	Política nacional de resíduos sólidos
PPM	Parte por milhão
RPG	Resíduo poda de grama
RRU	Resíduo restaurante universitário
RSO	Resíduo sólido orgânico
RSU	Resíduo sólido urbano
ST	Sólidos totais
STF	Sólidos totais fixos
STV	Sólidos totais voláteis
UEL	Universidade Estadual de Londrina

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	OBJETIVOS	11
2.1	OBJETIVO GERAL	11
2.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	11
3	REVISÃO BIBLIGRÁFICA	11
3.1	TÉCNICA DA COMPOSTAGEM	11
3.2	FATORES QUE AFETAM A COMPOSTAGEM	12
3.2.1	Tamanho De Partículas E Agente De Volume.....	13
3.2.2	Relação Carbono/Nitrogênio	14
3.2.3	Temperatura	14
3.2.4	Teor De Água	16
3.2.5	Aeração	17
3.3	COMPOSTAGEM DE PODA VEGETAL E RESTOS ALIMENTARES	18
3.3.1	Resíduo Orgânico De Restaurante.....	18
3.3.2	Resíduo De Poda Vegetal	18
3.4	ASPECTOS NORMATIVOS	19
3.5	MATURAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	19
3.6	BENEFÍCIOS DA COMPOSTAGEM PARA SOLO E PLANTAS	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA DO EXPERIMENTO.....	22
4.2	DESCRIÇÃO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS.....	22
4.2.1	Poda De Árvores	22
4.2.2	Gramma	23
4.2.3	Resíduo Alimentar	23
4.3	PARÂMETROS ANALISADOS E FREQUÊNCIA DE ANÁLISE	24
4.4	VOLUME DE RESÍDUOS GERADOS	25
4.5	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	26
4.5.1	O Cronograma Das Ações Do Experimento	27
4.5.2	Características Das Leiras.....	27

4.5.3	Índice De Germinação	28
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5.1	PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	30
5.1.1	Temperatura	30
5.1.2	pH E Condutividade Elétrica.....	32
5.1.3	Balanço De Massa	34
5.1.4	Evolução Do Teor De Sólidos.....	37
5.1.5	Umidade	38
5.1.6	Características Nutricionais Do Material Compostado	39
5.2	ÍNDICE DE GERMINAÇÃO.....	42
5.3	ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
6	DIRETRIZES PRELIMINARES PARA O APROVEITAMENTO DO RESÍDUO ORGÂNICO NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO	45
6.1	DIMENSIONAMENTO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM	46
7	CONCLUSÃO	48
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49

1. INTRODUÇÃO

O gerenciamento dos resíduos sólidos resultante das inúmeras atividades humanas apresenta-se como um dos maiores desafios da atualidade. A busca constante pelo crescimento econômico tem promovido forte impacto ambiental por gerar um grande volume de resíduos. O problema aumenta quando o descarte é feito em locais impróprios e técnicas cada vez mais onerosas para seu tratamento.

A técnica da compostagem apresenta-se como uma alternativa viável para tratamento dos resíduos orgânicos pelo baixo custo de implantação e a relativa simplicidade operacional, obtendo-se como resultado uma biomassa estabilizada, livre de patógenos e que favorece a reciclagem dos nutrientes quando incorporado ao solo como fertilizante agrícola (COSTA *et al*, 2006).

Os resíduos vegetais gerados nos espaços verdes dos centros urbanos podem ser processados por meio da compostagem. O resíduo verde resultante da atividade de jardinagem, como a poda de árvores e aparas de gramados, quando coletado separadamente de outros tipos de resíduos, tornam-se a base de um insumo agrícola de alta qualidade pelos níveis de nutrientes que apresentam.

O campus da Universidade Estadual de Londrina possui uma área superior a um milhão e quinhentos mil metros quadrados de superfície, sendo que o manejo de jardinagem dessas áreas gera grande quantidade de biomassa que na maioria das vezes recebe disposição final ambientalmente inadequada. Este resíduo é simplesmente depositado em uma área de descarte, dentro do próprio campus, sem receber tratamento ambiental.

Além dos resíduos vegetais, a universidade gera no restaurante universitário, entre 300 a 500 kg de resíduos de alimentos diariamente. A mistura desses resíduos mostra-se bastante promissora para a técnica da compostagem, devido suas características físico-químicas. A poda de árvores e aparas de gramado possuem uma relação C/N alta enquanto o resíduo alimentar de restaurante uma relação C/N baixa, possibilitando por meio da mistura, uma complementação desejável para a prática da compostagem.

Além disso, segundo BUSTAMANTE *et al.*, (2013) a poda de árvores é um resíduo rico em carbono com baixa densidade que agrega estrutura e volume, evitando a compactação da massa do composto o que favorece a oxigenação no interior da pilha do composto.

Atualmente, a exemplo de outras universidades brasileiras, A UEL encontra dificuldade econômica e técnica para gerir estes resíduos.

Portanto, a compostagem pode se revelar como um tratamento economicamente vantajoso e tecnicamente adequado para a gestão dos resíduos alimentares associado aos resíduos vegetais gerados no campus universitário da UEL.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Este trabalho tem como principal objetivo avaliar o processamento dos resíduos vegetais e de restaurante produzidos no campus da Universidade Estadual de Londrina, por meio do método da compostagem.

2.2 Objetivos Específicos

2.2.1 Caracterizar de forma quantitativa os resíduos vegetais e de restaurante produzidos no campus.

2.2.2 Monitorar o desenvolvimento da compostagem da mistura desses resíduos por meio do método de leiras revolvidas.

2.2.3 Com base nos resultados do experimento, efetuar o pré-dimensionamento de uma área de compostagem, em escala real, para o tratamento integral dos resíduos gerados no campus da universidade.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Técnica da compostagem

A prática da compostagem é provavelmente tão antiga quanto os primeiros cultivos agrícolas, mas foi o engenheiro agrônomo britânico sir Albert Howard quem sistematizou e apresentou para o ocidente a compostagem que ele observou quando trabalhou na Índia nas décadas de 20 e 30 (INÁCIO *et al.*, 2009). Dois importantes títulos de Howard – *The Waste Products of Agriculture* (1931) e *An Agricultural Testament* (1939) – difundiram o método de compostagem nos países ocidentais.

Segundo CAMPBELL, (1999) e: KEENER, (2000), a compostagem de resíduos orgânicos é um dos métodos mais antigos que se conhece de reciclagem de nutrientes.

Consiste em um processo biológico de transformar o material orgânico existente nos resíduos em material estabilizado podendo ser utilizado como adubo orgânico para a agricultura, hortas e jardins, e até mesmo na recuperação de áreas degradadas.

De acordo com, KIEHL (2004) a compostagem é um processo controlado de decomposição microbiana, de oxidação e de oxigenação de uma massa heterogênea de matéria orgânica no estado sólido e úmido, compreendendo uma fase inicial rápida mesofílica, que se caracteriza por células microbianas em estado de latência, porém com uma intensa atividade metabólica, apresentando uma elevada síntese de DNA de enzimas (CORRÊA, 2003). Posteriormente, ocorre uma fase de bioestabilização, atingindo finalmente a terceira fase, onde ocorre maturação, acompanhada da mineralização de determinados componentes da matéria orgânica, como nitrogênio, fósforo, cálcio e magnésio, que passam da forma orgânica para a inorgânica, ficando disponíveis às plantas (KIEHL, 1985).

A compostagem é geralmente aplicada a resíduos não fluidos, ou seja, resíduos sólidos provenientes de diversas fontes como resíduos urbanos, agroindustriais e agropecuários, (AMINEKHODJA *et al.*, 2006). No entanto, os resíduos líquidos também podem ser passíveis de compostagem, sendo que para isso devem-se alterar as características físicas destes, por meio de agentes estruturantes como cama de frango, casca de arroz, serragem e maravalha. VERGNOUX *et al.* (2009) afirmam que esta tecnologia é utilizada para as mais diversas fontes orgânicas, sendo que para todos os resíduos, o método de compostagem apresenta características e processos similares.

3.2 Fatores que afetam a compostagem

Como se trata de um processo biológico desenvolvido por microrganismos há necessidade de controle sobre alguns fatores como a umidade, oxigenação, temperatura, concentração de nutrientes, tamanho da partícula e o pH (SCHALCH *et al.*, 1995), para propiciar características ótimas de degradação, estabilização e humificação da matéria orgânica bruta. Além disso, este controle tem como objetivo a obtenção de um produto final estável e sanitizado, rico em compostos húmicos e cuja utilização no solo não oferece riscos ao meio ambiente.

A eficiência do processo de compostagem está diretamente relacionada a fatores que proporcionam condições ótimas para que os microrganismos aeróbios possam se multiplicar e atuar na transformação da matéria orgânica.

O conjunto de fatores condicionantes para o bom desenvolvimento de um sistema biologicamente complexo como a compostagem deve ser balizado por uma série de parâmetros, sendo que cada tipo de material a ser compostado exige uma combinação ótima de umidade, aeração, relação C/N, pH, granulometria e altura de leira (COSTA *et al.*, 2017).

3.2.1 - Tamanho de partículas e agente de volume

Uma característica que é fundamental para o processo de compostagem é a dimensão das partículas dos materiais. O processo de decomposição inicia-se junto à superfície das partículas, onde exista oxigênio difundido na película de água que as cobre, e onde o substrato seja acessível aos microrganismos e às suas enzimas extracelulares (ONWOSI *et al.*, 2017; CERDA *et al.*, 2018). Como as partículas pequenas têm uma superfície específica maior, estas serão decompostas mais rapidamente desde que exista arejamento adequado.

Partículas finas aumentam a superfície de contato favorecendo o ataque microbiano, melhorando a eficiência do processo de degradação, diminuindo conseqüentemente o tempo de compostagem (BERNAL *et al.*, 2009).

Porém é preciso ter cuidado, pois partículas muito finas promovem compactação do material em decomposição, dificultando a aeração da leira (PEREIRA NETO, 2007). Ao contrário, partículas grosseiras necessitarão de maior tempo para degradação (KIEHL, 2010; ONWOSI *et al.*, 2017).

Segundo Fernandes e Silva, (1999) é importante que os substratos utilizados apresentem de 30 a 36% de porosidade com dimensões de 1 a 5 cm. Sendo assim, a trituração é imprescindível para esta técnica, uma vez que auxilia na sustentação, aeração e porosidade. Já para KIEHL (2010) o tamanho da partícula deve estar entre 2,5 e 7,5 cm.

Uma das formas de corrigir o tamanho de partícula do material a ser degradado é por meio da adição de agente de volume. Este tipo de material, rico em carbono com baixa densidade, evita a compactação do material em degradação, viabilizando o processo de compostagem (BERNAL *et al.*, 2009).

3.2.2 - Relação Carbono/Nitrogênio

A relação C/N é um índice utilizado para avaliar os níveis de maturação de substâncias orgânicas e seus efeitos no crescimento microbológico, já que a atividade dos microrganismos heterotróficos, envolvidos no processo, depende tanto do conteúdo de C para fonte de energia, quanto de N para síntese de proteínas (SHARMA *et al.*, 1997). Desta forma, a relação C/N deve ser determinada no material a ser compostado, para efeito de balanço de nutrientes, e também no produto final, para efeito de qualidade do composto (MORREL *et al.*, 1985).

Diversos pesquisadores afirmam que a relação C/N ideal para iniciar o processo de compostagem está entre 25/1 e 35/1 (ZUCCONI e BERTOLDI, 1986; LOPEZ-REAL, 1994; FONG *et al.*, 1999; KIEHL, 2004), uma vez que durante a decomposição os microrganismos absorvem C e N da matéria orgânica na relação 30/1, sendo que das 30 partes de C assimiladas, 20 são eliminadas na atmosfera na forma de gás carbônico e 10 são imobilizadas e incorporadas ao protoplasma celular (GORGATI, 2001; KIEHL, 2004). Durante o processo de compostagem verifica-se, portanto, uma redução da relação C/N em decorrência da oxidação da matéria orgânica pelos microrganismos, que liberam CO₂ pela respiração (ZHANG e HE, 2006), diminuindo assim a concentração de C.

Quando parte do C disponível é de difícil degradação, como a celulose, a lignina e a hemicelulose, aconselha-se uma relação C/N inicial maior, pois o C biodisponível é inferior ao C total. BENITO *et al.* (2006) trabalhando com compostagem de resíduos de podas, verificaram que a relação C/N variou entre 22/1 e 48/1.

Apesar dos valores sugeridos pelos pesquisadores para a relação C/N ótima na compostagem, constata-se que não poderá ser um valor absoluto, mas sim, que deve variar com as características do material a compostar.

De acordo, IMBAR *et al.* (1993) e SILVA (2005) afirmam que além da natureza do material, a condução da compostagem também afeta de maneira significativa a concentração de C total durante o processo de compostagem.

3.2.3 - Temperatura.

A temperatura é considerada por muitos pesquisadores como o mais importante indicador da eficiência do processo de compostagem, estando intimamente relacionada com a atividade metabólica dos microrganismos, a qual é diretamente afetada pela taxa de aeração (PEREIRA NETO, 1988).

Todavia, considerando que o desenvolvimento da temperatura, durante a compostagem, é afetado por fatores como a umidade do substrato, a disponibilidade de nutrientes, oxigênio, o tamanho das leiras, entre outros, não se pode afirmar que o composto estará maduro, quando a temperatura da biomassa atingir valores próximos a temperatura ambiente. Por sua vez, a diminuição da temperatura da biomassa poderá ocorrer em função de uma redução da umidade e/ou de uma menor concentração de nutrientes no substrato e/ou, ainda, devido a um menor tamanho das leiras, o que segundo PEREIRA NETO (2007), proporciona uma maior perda de calor para o ambiente.

Dessa forma, a temperatura pode ser sim, um indicativo do equilíbrio microbiológico no interior da biomassa, que é proporcionado pela inter-relação entre fatores como umidade, tamanho da leira e partículas, disponibilidade de nutrientes, relação C/N e aeração.

Elevadas temperaturas são desejáveis, pois proporcionam a eliminação de microrganismos patógenos e sementes de plantas invasoras, além de auxiliar na degradação do material orgânico - (HECK *et al.*, 2013; CHEN *et al.*, 2014).

A Comissão Europeia (2014) determina que o material em compostagem deve apresentar temperaturas superiores a 55°C por no mínimo duas semanas, assegurando a eliminação de patógenos e sementes de plantas invasoras. Porém, temperaturas superiores a 65°C reduzem a atividade microbiológica (FERNANDES e SILVA, 1999) e ainda, podem contribuir para perdas de nitrogênio, por meio de volatilização da amônia, gerando conseqüentemente odores desagradáveis (PEREIRA NETO, 2007).

Segundo Carneiro (2012), o controle da temperatura nas leiras pode ser realizado via revolvimentos, quando temperaturas superiores a 65°C são detectadas, o aumento da intensidade de revolvimentos pode auxiliar na redução.

Segundo RODRIGUES *et al.* (2006), a decomposição inicial é conduzida por microrganismos mesófilos, que utilizam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis da matéria orgânica. Sendo assim, como o metabolismo dos microrganismos é exotérmico, parte do calor gerado, durante a oxidação da matéria orgânica, acumula-se no interior da leira (TANG *et al.*, 2004), elevando a temperatura de 25°C para 40-45°C, em um período de 2 a 3 dias (KIEHL, 1985), sendo que quando a temperatura atinge valores acima dos 45°C, a atividade microbiológica mesofílica é suprimida pela implantação de uma comunidade microbiana termofílica (TIQUIA, 2005).

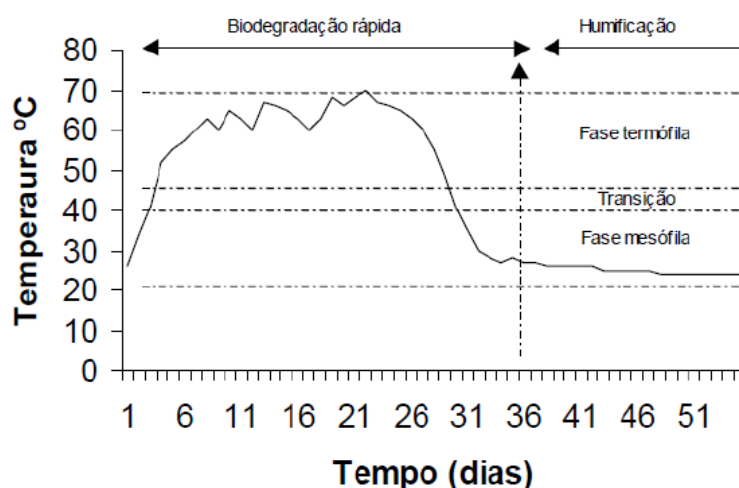
Segundo PEIXOTO (1988) e SNELL (1991), na fase termófila ocorre a máxima decomposição dos compostos orgânicos, sendo considerada uma fase de degradação

ativa de polissacarídeos como o amido, a celulose e as proteínas, transformando-os em subprodutos que serão utilizados pela microbiota (PEREIRA NETO, 2007). A degradação do substrato, por parte dos microrganismos, acarreta a diminuição da relação C/N, que se encontra entre 15/1 e 18/1, sendo caracterizado como um material bioestabilizado (KIEHL, 2004).

Porém, à medida que os estoques de C são exauridos, a temperatura decresce gradualmente, até igualar-se à temperatura ambiente (VINNERAS e JONSSON, 2002). Nesta fase, surgem novamente as comunidades mesófilas, que irão atuar na humificação do composto (ZUCCONI e BERTOLDI, 1986).

A Figura 1 evidencia a importância do controle da temperatura para o desenvolvimento adequado da compostagem;

Figura 1 - Esquema das etapas de compostagem



Fonte: FERNANDES, F.; SILVA, (1999).

3.2.4 Teor de Água

A umidade é indispensável para a atividade metabólica e fisiológica dos microrganismos, sendo que a considerada ideal para a compostagem varia entre 50 e 60%. STENTIFORD, (1996); e RICHARD *et al.* (2002) afirmam que materiais com 30% de umidade inibem a atividade microbiana, e que umidade acima de 65% proporciona uma decomposição lenta, condições de anaerobiose e lixiviação de nutrientes.

O excesso de umidade reduz a penetração de oxigênio na leira, uma vez que a matéria orgânica decomposta é hidrófila e as moléculas de água se aderem fortemente à

superfície das partículas, saturando os seus micro e macroporos (ECOICHEM, 2004), afetando as propriedades físicas e químicas do composto (TIQUIA *et al.*, 1998b).

Neste caso, o teor de água nas leiras deve estar sempre na faixa ideal, pois a escassez ou excesso pode aumentar o tempo de estabilização do material orgânico MILLER, (2009).

3.2.5 Aeração

A aeração é o fator mais importante a ser considerado no processo de decomposição da matéria orgânica, por meio da compostagem (PEIXOTO, 1988), sendo classificado como o principal mecanismo capaz de evitar altos índices de temperatura durante o processo de compostagem, de aumentar a velocidade de oxidação, de diminuir a liberação de odores e reduzir o excesso de umidade de um material em decomposição (PEREIRA NETO, 1994; KIEHL, 2004).

A compostagem corresponde à decomposição dos substratos orgânicos na presença de oxigênio, sendo que os principais produtos do metabolismo biológico são CO₂, H₂O e energia. De outra forma, na digestão anaeróbia a decomposição dos substratos orgânicos ocorre na ausência de oxigênio, produzindo CH₄ e CO₂, além de produtos intermediários, como ácidos orgânicos de baixo peso molecular (PEREIRA NETO, 1996; KIEHL, 2004). Entretanto, quando se busca a compostagem como tratamento de resíduos orgânicos, procura-se oferecer um ambiente aeróbio para que os microrganismos se desenvolvam, diminuindo assim a emissão de odores e de gases causadores do efeito estufa como o metano e o óxido nitroso.

As leiras podem ser aeradas por meio de revolvimentos manuais ou mecânicos, fazendo com que as camadas externas se misturem às internas, que estão em decomposição mais adiantada (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1994; SILVA *et al.*, 2001). RICHARD *et al.* (2002) afirmam que as concentrações de oxigênio acima de 10% são consideradas ótimas para a manutenção da compostagem em condições de aerobiose.

Segundo Fernandes e Silva (1999), de um modo geral, é possível dividir a compostagem em três tipos, baseados principalmente no método de inserção de oxigênio:

- Sistema de leiras revolvidas, onde a aeração é feita por meio do revolvimento da massa, fazendo com que o oxigênio presente no ar seja incorporado aos resíduos.

-Sistema de leiras estáticas aeradas, onde o material a ser compostado é depositado sobre uma tubulação perfurada que promove a circulação de ar dentro da leira, injetando-o ou aspirando-o.

-Sistemas fechados ou reatores biológicos, nos quais os resíduos são dispostos dentro de sistemas fechados, onde geralmente é controlada a aeração.

Entretanto, independente do sistema adotado, a aeração deve ser muito bem controlada, uma vez que um suprimento excessivo de ar pode fazer com que a perda de calor seja mais intensa do que a produção de calor microbiano (LAU *et al.*, 1992).

3.3 Compostagem de Poda Vegetal e Restos Alimentares

3.3.1 Resíduo Orgânico de Restaurante

O resíduo alimentar possui como característica elevado teor de umidade e baixa relação C:N, indicando ser um material rico em nitrogênio. Do ponto de vista da compostagem, é um resíduo potencialmente de rápida degradação, mas problemático quanto à atração de vetores e que precisa ser misturado a resíduos menos úmidos e com relação C:N mais alta - (INÁCIO *et al.*, 2010).

No trabalho experimental de compostagem conduzido pela Embrapa Solos em parceria com a INFRAERO no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, onde foram utilizados resíduos alimentares, aparas de grama e esterco de cavalo, a relação C:N e nitrogênio encontradas para o resíduo alimentar foi de 13:1 e 26,9 g/kg de nitrogênio. Já para o resíduo de grama a relação C:N foi de 38:1 e 11g/kg de nitrogênio. (INÁCIO *et al.*, 2010).

3.3.2 Resíduo de Poda Vegetal

O resíduo de poda vegetal é composto por aparas de gramas, folhas e galhos de árvores triturados. Este material possui grande quantidade de carbono, apresentando conseqüentemente alta relação C:N. Apresenta carbono de fácil degradação pelos microrganismos (folha e grama), e também carbono recalcitrante (galhos). É um excelente agente de volume para leiras de compostagem, contribuindo para a aeração e controle da granulometria da massa a ser degradada (COSTA *et al.*, 2017).

O aspecto dos resíduos vegetais são, geralmente, palhoso e acastanhado, como podem ser observados em madeiras e vegetais secos, ricos em carbono. Ao passo que as características dos resíduos de alimentos assemelham-se aos estercos de animais e restos vegetais agrícolas, materiais ricos em nitrogênio (OLIVEIRA *et al.*, 2008).

3.4. Aspectos normativos

O MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO estabeleceu a Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009. Esta IN estabelece as normas sobre as especificações, garantias, tolerâncias, registro, rotulagem de fertilizantes simples, mistos, compostos organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura.

A IN Nº 25/2009 classifica compostos orgânicos obtidos por meio da compostagem de resíduos agroindustriais como fertilizante orgânico composto. Esta classificação apresenta em sua definição que fertilizante orgânico composto é todo produto oriundo de processo físico, químico, físico-químico ou bioquímico, natural ou controlado, proveniente de materiais de origem industrial, animal, vegetal, urbana ou rural.

Especificamente para resíduos vegetais e resíduos alimentares a normativa classifica em seu artigo 2º: *“Os fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos e organominerais serão classificados de acordo com as matérias-primas utilizadas na sua produção em Classe “A”: fertilizante orgânico que, em sua produção, utiliza matéria-prima de origem vegetal, animal ou de processamentos da agroindústria, onde não sejam utilizados no processo, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos, resultando em produto de utilização segura na agricultura;*

O quadro 1 apresenta os parâmetros exigidos pelo MAPA.

Quadro1: Especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos (adaptado)

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B,C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (min.)	0,5				
*C orgânico (mín.)	15				10
*CTC(1)	Conforme declarado				
pH (min.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20				40
*Relação CTC/C (1)	Conforme declarado				

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

3.5 Maturação do processo de compostagem

NEGRO *et al.* (2000) afirmam que é difícil avaliar a maturação de um composto a partir de um único parâmetro químico, bioquímico e toxicológico, já que o processo de

compostagem é microbiológico e muito complexo. Por outro lado, a avaliação da maturidade de compostos orgânicos tem sido reconhecida como um dos mais importantes problemas relacionados ao processo de compostagem e utilização agrícola segura do produto final. GARCIA-GOMEZ *et al.* (2005) afirmam que é um desafio a utilização de métodos precisos para avaliar a maturidade desses compostos.

JIMÉNEZ E GARCIA (1989) afirmam que a redução do conteúdo total da matéria orgânica é determinada por meio da concentração de sólidos totais e voláteis, do teor de cinzas, da DBO - demanda bioquímica de oxigênio e da relação C/N, sendo frequentemente utilizados como métodos para medir o grau de maturidade do composto. Porém, sabe-se que estes parâmetros dependem das características do material a ser compostado, podendo ser utilizados somente em situações onde não há grandes variações na composição deste material. Portanto, a maturação de compostos orgânicos não deve ser avaliada com base em apenas um parâmetro (BERNAL *et al.*, 2009; ONWOSI *et al.*, 2017; CERDA *et al.*, 2018).

A qualidade de um composto pode ser medida por meio de sua estabilidade e humificação (LIMA, 2006). Conforme MILLER (1992), um composto humificado é aquele que não produz efeitos inibitórios ou fitotóxicos às plantas. Tiquia e Tam (1998) utilizando material proveniente de compostagem de cama de suínos, que recebeu a adição de dejetos líquidos, observaram que a fitotoxicidade do material para a germinação de sementes é significativamente afetada pelo tempo de compostagem. No dia zero de compostagem, devido à alta toxicidade do material, praticamente não ocorreu germinação das sementes e, no 49º dia de compostagem, a germinação chegou a valores de 80% e 100%, similares ao controle. Este aumento no percentual de germinação se deve ao fato do processo de compostagem eliminar os fatores fitotóxicos, à medida que ocorre a maturação do material. No entanto, a maturação completa não é desejável, porque o valor do composto orgânico como adubo depende em parte do seu conteúdo orgânico (HUANG *et al.*, 2004).

3.6 Benefícios do composto para solo e plantas

A relação da matéria orgânica com a qualidade dos solos e sua biota já havia sido notada por cientistas no final do século XIX. Bottomley (1914) realizou vários experimentos com plantas e micro-organismos do solo com a finalidade de testar a turfa como fertilizante. Este material foi incubado com uma cultura mista de micro-organismos

provenientes do solo e a solução resultante foi chamada de “humato” ou “húmus ácido”. Bottomley descreveu este material essencialmente como um extrato aquoso proveniente de turfa e micro-organismos. Este extrato foi considerado um excelente meio de cultura para bactérias e para crescimento de plântulas de trigo, por conter elementos adicionais aos nutrientes minerais. Esses elementos suplementares, também chamados por Bottomley de “estimulantes ativos”, estariam presentes somente no extrato de turfa tratado com micro-organismos do solo.

Nos ambientes tropicais, a matéria orgânica do solo tem importância elevada. É amplamente reconhecida por seus efeitos benéficos à física e química dos solos devido a melhor agregação e retenção de água, maior CTC e disponibilidade de nutrientes. O processo pelo qual as fontes orgânicas liberam, a medida que se decompõe, minerais solúveis prontamente disponíveis para serem absorvidos pelas plantas é chamado de mineralização.

Os adubos orgânicos fornecem nutrientes, melhoram as condições do solo e também apresentam bioatividade, ou seja, efeitos estimulantes nas plantas. Efeitos como indução de crescimento e melhoria na qualidade nutricional vêm justificando a crescente comercialização de bioestimulantes e fertilizantes de base orgânica. A função de promoção de crescimento de extratos aquosos da matéria orgânica do solo tem sido estabelecida por autores diversos (DELL’AGNOLA; NARDI, 1987; SCHMIDT *et al.*, 2007; ZANDONADI *et al.*, 2016).

Estudos de pesquisadores italianos (SCAGLIA *et al.*, 2015) sugerem que a ação fitoestimulante está associada a presença de hormônios vegetais, como a auxina e alta presença de ácidos fenil-acéticos atribuídos à biodegradação de aminoácidos aromáticos presentes na biomassa. Estes fito-hormônios induzem o desenvolvimento do sistema radicular, principalmente dos pelos radiculares responsáveis pela absorção de água e nutrientes.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Localização geográfica e características da área experimental

O experimento foi conduzido em área coberta com piso impermeabilizado no Campus Universitário da UEL – Universidade Estadual de Londrina - PR, situado na Rodovia Celso Garcia Cid - Pr 445 Km, com coordenadas geográficas 23^o 19' 53" latitude Sul e 51^o 12' 35" longitude Oeste.

O clima no município de Londrina é Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfa) em locais de menores altitudes, de verões quentes, geadas pouco frequentes e chuvas com tendência de concentração nos meses de verão (MAACK, 1968). A temperatura média dos últimos 30 anos é de 21^o C, com média anual máxima de 27,3^o C e a média anual mínima de 16^o C (IAPAR, 2009). A média anual de umidade relativa do ar é de 70,4%. A faixa de precipitação no ano é de 1.400 a 1.600 mm, sendo que a faixa de precipitação nos meses menos chuvosos, junho, julho, agosto é de 225 a 250 mm nos meses mais chuvosos, dezembro, janeiro e fevereiro, é de 500 a 600 mm.

4.2 Descrição dos resíduos utilizados

4.2.1 Poda de árvores

O objetivo é analisar o processamento por meio da compostagem dos resíduos orgânicos gerados no campus da Universidade Estadual de Londrina. Como os resíduos de poda das árvores exigem trituração e a UEL encontra-se com o equipamento em manutenção, foi obtido junto a Copel – Companhia Paranaense de Eletricidade - que faz a poda das árvores das ruas e avenidas do Município, os resíduos necessário para este trabalho de pesquisa.

As podas de arvores na UEL geram troncos e galhos com diâmetros maiores que são vendidos como lenha. Já os galhos mais finos juntamente com as folhas são levados para uma área de descarte dentro do próprio campus universitário onde é armazenado sem nenhum tipo de tratamento. A Figura 2 apresenta o aspecto visual do resíduo de poda de árvore durante a montagem das leiras.

Figura 2 - Aspecto visual da poda de árvore



4.2.2 Grama

O corte da grama é feito com roçadeira mecanizada, porém a aparada da grama na sua grande maioria não é recolhida por falta de mão de obra, sendo deixada no próprio local. O recolhimento é feito somente nos locais de maior circulação e na frente dos prédios. O material que não é recolhido, com o tempo se decompõe no próprio terreno.

4.2.3 Resíduo alimentar

O resíduo alimentar gerado no restaurante universitário da UEL é resultante em grande parte das sobras provenientes dos alimentos não consumidos que permanecem nas bandejas dos usuários, somados aos descartes durante o preparo dos vegetais na cozinha.

A Figura 3 demonstra o aspecto visual dos resíduos alimentares do restaurante universitário, no momento do recolhimento, percebe-se o elevado teor de umidade. O resíduo de restaurante após o armazenamento em câmara fria a 8^oC por 24 horas foi diretamente para a confecção das leiras, sem passar pela trituração.

Figura 3 - Aspecto visual do resíduo de restaurante



4.3 Parâmetros analisados e frequência de análise

Os parâmetros e a frequência de análises ocorreram conforme demonstrados na Figura 4. As medições da temperatura ocorreram diariamente e em três diferentes profundidades; 30, 60 e 80 cm.

Figura 4 – Parâmetros e frequência de análise

Parâmetro	Frequência	Método/Equipamento
Temperatura (30, 60 e 80 cm)	Diária	Termômetro Digital Haste Metálica Jenco Model 701
Série de sólidos (ST)(SF) (SV)	A cada 10 dias	Standart Methods
Umidade	semanal	Standart Methods
Extrato Solúvel em H ₂ O:		Said-Pullicino et.al.(2007)
pH	semanal	pHmetro
Cond. Elétrica	Início e Fim	Condutividade de bancada
Índice Germinação	Fim	(Zucconi et.al. 1981, adaptado)
Caracterização Agronômica:	Início e Fim	Análises Realizada no Laboratório: LaborSolo
N Total	“	Micrométodo da liga de raney / Kjeldahl
P ₂ O ₅ Total	“	Espectrofotométrico/Espectrofotômetro
K ₂ O Solúvel	“	Fotométrico de chama/Fotômetro

Cálcio Total	“	Plasma / ICP
Magnésio Total	“	Plasma / ICP
Enxofre Total	“	Plasma / ICP
Boro Total	“	Colorimétrico Azometina H/Espectrofotômetr
Relação C/N	“	Cálculo
C orgânico	“	Volumétrico de dicromato de potássio
CTC/C	“	Cálculo

4.4 Volume de resíduos gerados

Os mais de um milhão e quinhentos mil metros quadrados de superfície do campus da Universidade Estadual de Londrina são ocupados, em sua maioria, por áreas verdes compostas de arborização e extensas áreas de gramado que produzem grandes quantidades de resíduos vegetais. O resíduo de aparar de grama é a biomassa mais disponível e em maior quantidade, apesar de não ser recolhida em quase sua totalidade.

Após o corte do gramado, a grama é deixada, por falta de mão de obra, sobre o terreno para que ocorra uma decomposição natural. As aparas de grama são rasteladas e recolhidas somente em frente aos prédios e nas áreas de maior circulação. A quantidade parcial de resíduo de grama varia bastante de acordo com a estação do ano, mas na média são recolhidos, por mês, 7 metros cúbicos na primavera e verão e 3 metros cúbicos no outono.

O resíduo de poda de árvores também é bastante irregular quanto aos volumes gerados. A UEL conta com uma equipe que faz a retirada de árvores derrubadas pelo vento, árvores doentes com riscos de queda, além da poda de condução junto à rede elétrica do campus. Os troncos e galhos com diâmetros maiores são vendidos como lenha.

Já os galhos mais finos juntamente com as folhas são levados para uma área de descarte dentro do próprio campus universitário onde é armazenado sem nenhum tipo de tratamento.

Outra fonte geradora de resíduo é o restaurante universitário que serve em média 3.800 refeições dia, gerando em média 400 quilos de descarte todos os dias. Na Tabela 1 são apresentadas as quantidades de resíduos vegetais gerados no campus da Universidade Estadual de Londrina.

Tabela 1 - Estimativa de produção de resíduos do Campus Universitário da UEL.

Tipo Resíduo	Quantidade (média)
Poda de Árvore	De 50 a 80 m ³ /ano
Poda de Grama (parcial)	Verão 7 m ³ /mês
	Outono 3 m ³ /mês
Resíduo de Restaurante	400 Kg/dia

4.5 Condução do experimento

Foram montadas três leiras com composição e quantidades de resíduos idênticas, variando-se o tempo que cada leira foi submetida ao processo da compostagem.

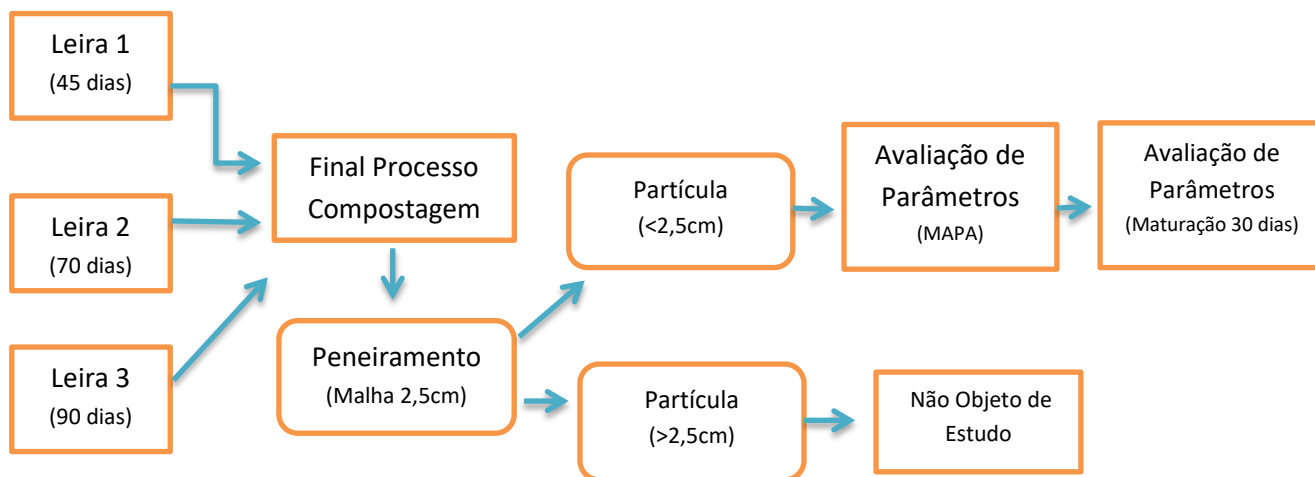
Finalizado o tempo proposto de compostagem, quando se interrompeu o processo, as leiras foram pesadas e peneiradas (malha de 2,5 cm), conforme Figura 5. Do material que passou na peneira foi coletada amostra para análise dos parâmetros exigidos pela normativa do Ministério da Agricultura.

Figura 5 – Composto sendo peneirado após processo de compostagem.



4.5.1 O cronograma das ações do experimento estão demonstradas na Figura 6.

Figura 6 – Cronograma das ações do experimento



4.5.2 Características das leiras

As três leiras possuem composição e características idênticas e seus pesos, úmido e seco, e os percentuais de cada resíduo são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Características das Leiras de Compostagem

Tratamento	Composição da Leira	Peso Úmido (Kg)	% Na mistura	Peso Seco (Kg)	% Umidade Amostra
Leiras (1, 2 e 3)	Poda árvore	330	82	155	53
	Res.Restaurante	150	9	17	89
	Res. Grama	20	9	17	14

As leiras foram planejadas para apresentarem peso em matéria natural de 500 kg e relação C:N de 46:1, com pequena variação para mais ou para menos. A dimensão final de cada leira foi de 1,80 de comprimento por 1,50 de largura e 1,20 de altura.

4.5.3 Montagem das leiras

Para a confecção do experimento utilizaram-se resíduos frescos para a montagem das leiras. Tanto a poda de árvore como os resíduos de grama foram podados e coletados na véspera procurando dessa forma diminuir a perda de umidade.

As pilhas foram montadas em camadas iniciando-se na base com o resíduo de poda de árvore seguido por uma camada de grama formando uma espécie de colchão para acomodar o resíduo de restaurante que apresenta uma consistência mais líquida, conforme a Figura 7. O resíduo de restaurante não sofreu trituração.

Figura 7 – Montagem das leiras de compostagem



Os revolvimentos ocorreram de forma manual e a frequência foi determinada segundo Carneiro (2012), com dois revolvimentos semanais nos primeiros 30 dias, passando para um revolvimento semanal para o restante do processo de compostagem. Durante os revolvimentos procurou-se corrigir os teores de umidade das leiras, mantendo-o entre 50 e 60% faixa considerada ideal para a compostagem (RODRIGUES *et al.*, 2006).

4. 6 Índice de germinação

Ao término da compostagem para cada leira, 45, 70 e 90 dias, foram coletadas amostras para realizar o teste do índice de germinação de acordo com ZUCCONI *et al.*(1981). Para a determinação do índice de germinação, adicionou-se 3 ml de cada extrato obtido em cada placa de Petri com papel de filtro de celulose duplo esterilizado, contendo oito sementes de *Lipidium sativum* (agrião de jardim). As placas foram incubadas a 25⁰ C com ausência de luz por 72 horas em uma câmara de germinação (DBO). Com as mesmas características, dez placas Petri foram preparadas com água destilada para controle. Para cada tratamento (leira) foram utilizadas dez placas (repetições).

O índice de germinação é calculado como produto da porcentagem de sementes viáveis, o número de sementes germinadas e o crescimento das raízes após 72 horas. O resultado da germinação do teste controle é considerado 100%. O resultado é um índice de germinação (%) ou índice de fototoxicidade.

Belo (2011) apresenta a classificação dividida em faixas, conforme a Tabela 3:

Tabela 3 - Índice de classificação para o teste de germinação.

% Germinação	Classe Toxicológica
Menor que 30%	Muito Fitotóxico
Entre 30 e 60%	Fitotóxico
Entre 60 e 80%	Moderadamente fitotóxico
Entre 80 e 100%	Não fitotóxico Composto Maturado
Acima de 100%	Fitoestimulante

4.7 Análise Estatística

O experimento trabalhou com três leiras de compostagem com a composição e os percentuais de participação dos ingredientes idênticos. O que se variou foi o tempo que cada leira foi submetida ao processo de compostagem.

Como neste caso, o número de graus de liberdade do resíduo é baixo (9), é indicado a utilizar-se um teste de comparações múltiplas menos rigoroso do que o teste de Tukey. Com isso, foi utilizado o teste de Duncan ao nível de 5% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Processo de Compostagem

5.1.1 Temperatura

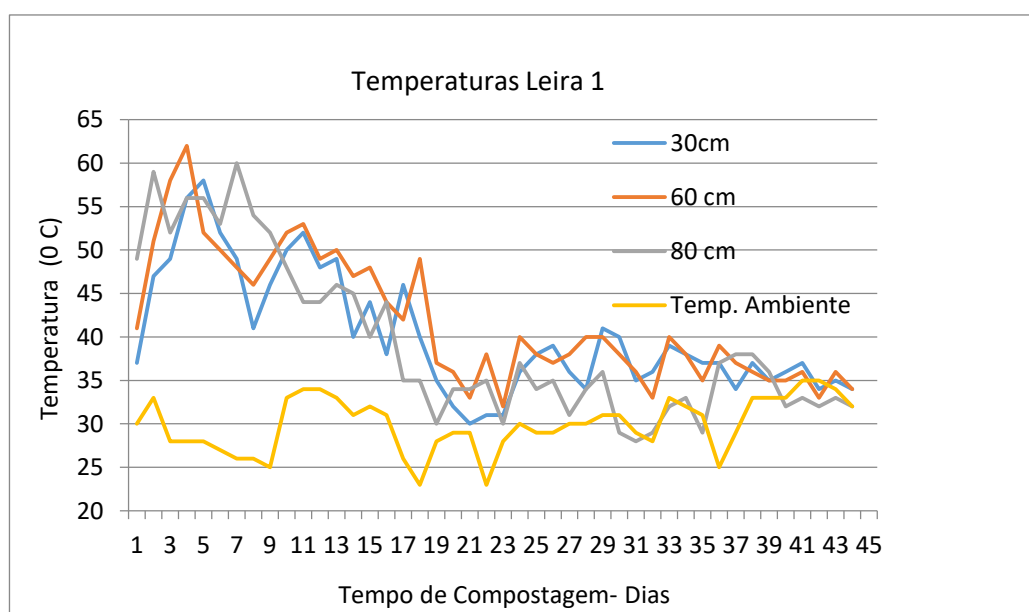
Vários pesquisadores consideram a temperatura o indicador de maior importância para um processo de compostagem eficiente. A temperatura está diretamente associada a relação metabólica dos microrganismos, a qual é afetada pela taxa de aeração (PEREIRA NETO, 1988).

No presente estudo, a temperatura das três leiras tiveram comportamentos semelhantes, com temperaturas mais elevadas no início do processo. Observou-se somente pequenas variações no tempo de duração, e na profundidade das leiras, para os picos de temperaturas. Temperaturas mais elevadas no início do processo foi também observado por (Kiehl, 1985),

As evoluções das temperaturas das três leiras de compostagem do experimento estão demonstradas nas Figuras 7, 8 e 9.

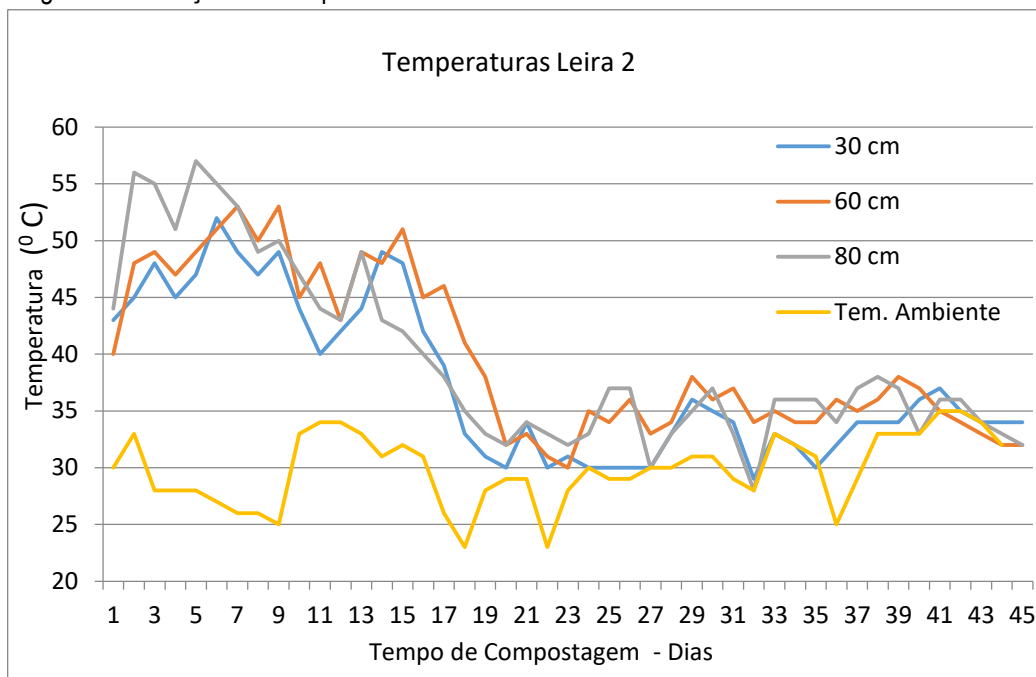
Percebe-se que os picos de temperatura na leira 1, Figura 8, ocorreram durante os primeiros 13 dias para as três profundidades, 30, 60 e 80 cm., mantendo-se na maior parte do tempo acima de 50°C. Após o vigésimo primeiro dia, a temperatura passou a elevar-se muito pouco durante os revolvimentos, mantendo-se à partir de então com temperaturas mesófilas.

Figura 8 - Evolução das Temperaturas da Leira 1



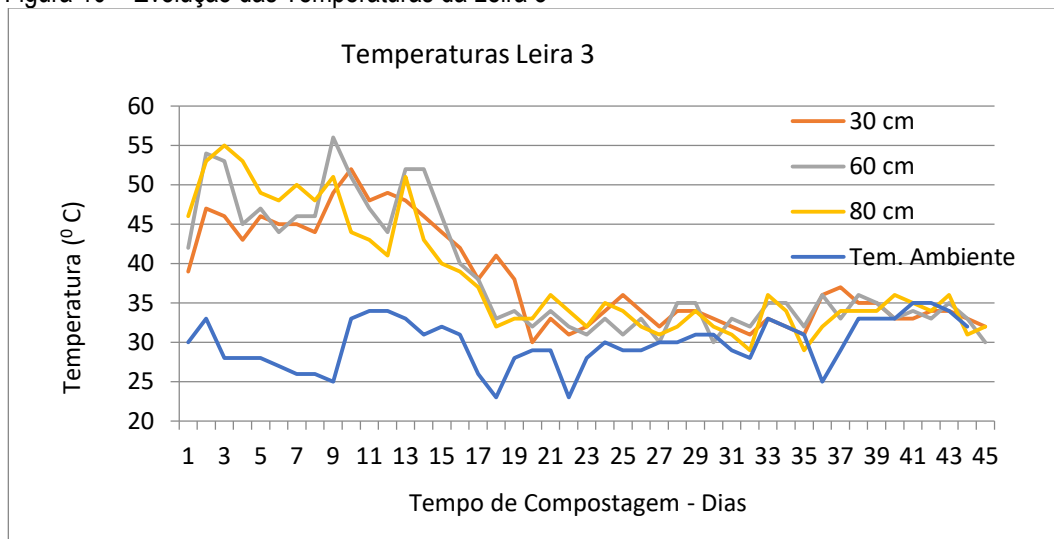
A leira 2, Figura 9, apresentou a temperatura mais elevada à profundidade de 80 cm., mantendo-se com picos de temperatura acima dos 45°C até o décimo sexto dia, entrando em seguida na fase mesófila.

Figura 9 - Evolução das temperaturas da leira 2



A leira 3, Figura 10, registrou o comportamento da temperatura muito semelhante as leiras anteriores, sendo que no décimo dia apresentou a maior elevação da temperatura na profundidade de 60 cm. Os picos de temperaturas acima dos 45°C foram observados até o decimo sétimo dia, mantendo-se a partir daí com temperaturas mesófilas.

Figura 10 – Evolução das Temperaturas da Leira 3



Percebe-se que todas as leiras alcançaram temperaturas termófilas (45 a 70°C) no início da compostagem, mas a partir do 21^o dia, as temperaturas foram diminuindo atingindo-se temperaturas mesófilas (30 a 45°C).

A diminuição das temperaturas pode estar atrelada a redução dos materiais mais facilmente biodegradáveis, como proteínas e o carbono lábil, restando, à partir da terceira semana, principalmente matéria orgânica recalcitrante de difícil degradabilidade, como a celulose e a lignina. Fato observado por Vinneras (2002), à medida que os estoques de C são exauridos, a temperatura decresce gradualmente, até igualar-se à temperatura ambiente.

A Tabela 4 apresenta o valor das temperaturas máximas e mínimas atingidas e o tempo de duração da fase termófila para as três leiras.

Tabela 4 - Valores de temperaturas máximas e mínimas durante o processo de compostagem

Parâmetro	Leira 1	Leira 2	Leira 3
Temperatura Máxima (°C)	62	56	56
Data (Temperatura Máxima)	4 ^o dia	3 ^o dia	10 ^o dia
Temperatura Mínima (°C)	29	28	29
Duração Fase Termófila (Dias)	19 dias	18 dias	17 dias

É fundamental que a compostagem atinja temperaturas termofílicas para que ocorra a redução de microrganismos patogênicos, garantindo a sanidade final do composto. Neste experimento observou-se que todas as leiras alcançaram temperaturas termófilas por mais de duas semanas, estando em conformidade com os requisitos europeus de sanitização de compostos orgânicos (COMISSÃO EUROPEIA, 2014).

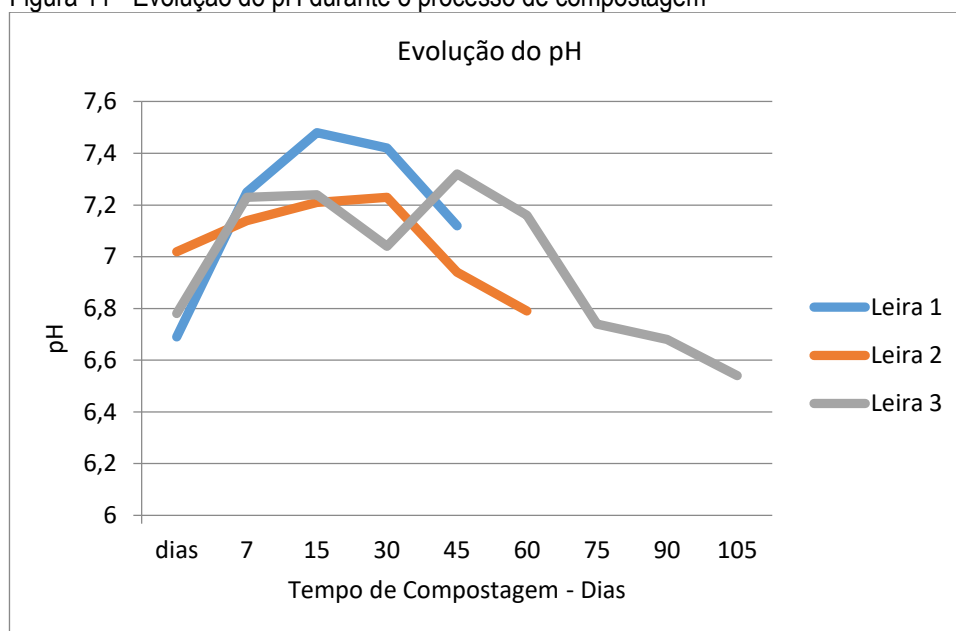
5.1.2 pH e Condutividade Elétrica

Segundo VALENTE *et.al*, os principais materiais de origem orgânica, utilizados como matéria-prima na compostagem, são de natureza ácida, como sucos vegetais, sangue, urina, fezes, dentre outros. Essa observação justifica o pH se apresentar levemente ácido no início da compostagem.

No presente trabalho, observou-se que no início da compostagem, os valores de pH das leiras encontravam-se pouco abaixo de 7 apresentando elevação com o decorrer da compostagem superando 7,4, voltando a apresentar queda no final do processo de compostagem, indo ao encontro do que outros autores observaram.

A evolução do pH das três leiras encontram-se demonstradas na Figura 11.

Figura 11 - Evolução do pH durante o processo de compostagem



Encerrado o período de compostagem, foi medido o pH de cada uma das leiras e medido novamente após 30 dias, fase correspondente ao período de maturação. Essa avaliação é importante para detectar possíveis mudanças no comportamento do composto maturado. Após os 30 dias do período de maturação, tecnicamente o produto está pronto para ser utilizado como fertilizante orgânico. Os resultados são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores de pH ao final do tempo de compostagem e ao término de maturação.

	Leira 1 (45 dias)	Leira 2 (70 dias)	Leira 3 (90 dias)
pH início (7 dias)	6,69	7,02	6,78
pH ao Término do Processo	7,42	6,79	6,33
pH após 30 dias. (maturação)	6,72	6,55	6,54

Observa-se que as leiras 1 e 2 apresentaram queda no pH, após os 30 dias de maturação. A leira 3 apresentou uma leve oscilação para cima no pH, após os 30 dias de maturação. Segundo Peixoto (1998), admite-se a possibilidade de pequenas quedas ao final do processo, sem prejuízo da qualidade do material. Não obstante, constata-se que o

pH das três leiras permaneceram muito próximos ao final do processo e dentro dos parâmetros exigidos pela IN do MAPA.

O parâmetro de CE apresentou-se elevado inicialmente e reduziu nos primeiros dias de processo, demonstrando correlação com massa seca e COT, que apresentaram comportamento semelhante no mesmo período. Este fato pode ser explicado por dois fatores. O resíduo de restaurante conter elevado teor de sais. O alto teor de sódio elevou a CE na fase inicial, reduzindo no decorrer do processo, possivelmente, pela lixiviação de sais ocasionada pela adição de água além da capacidade de absorção das leiras, após as primeiras semanas da compostagem.

No início da compostagem, com o material ainda pouco degradado, encontrou-se certa dificuldade de promover as regas sem causar lixiviação. A grama e as partículas maiores da poda de árvores possuem características hidrofóbicas que dificultam a absorção de água. Porém, após o início da degradação do material, tornou-se mais fácil a manutenção da umidade no interior das pilhas. A Tabela 6 apresenta os valores de condutividade elétrica.

Tabela 6 – Evolução da condutividade elétrica durante o processo de compostagem

	Leira 1	Leira 2	Leira 3
08/11/2018	1.872 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.720 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.695 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$
20/11/2018	1.520 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.487 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.544 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$
14/12/2018	1.634 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.705 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.651 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$
09/01/2019	-	1.684 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$	1.682 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$
29/01/2019	-	-	1.712 $\mu\text{s}/\text{cm}^{-1}$

A leira 3, demonstra comportamento semelhante as demais, porém, com menor variação na CE. Fato que pode ser explicado por ser a leira submetida ao período mais longo de compostagem, sendo que a partir do vigésimo dia a lixiviação de sais não foi mais observada, resultando a partir de então o aumento na concentração de sais devido as perdas de carbono. A leira 3 foi a que apresentou o maior valor de condutividade elétrica ao final do processo.

5.1.3 Balanço de Massa

O balanço de massa é utilizado para avaliar o rendimento de composto orgânico após o processo de compostagem. Esses valores são obtidos por meio da diferença entre o peso inicial e final do material submetido à compostagem, desconsiderando os valores de umidade.

Estes valores são de suma importância no ato do dimensionamento de um pátio de compostagem, ou seja, a determinação da área empregada por pilha submetida ao processo, quanto maior a eficiência na redução da massa, menor o espaço requerido.

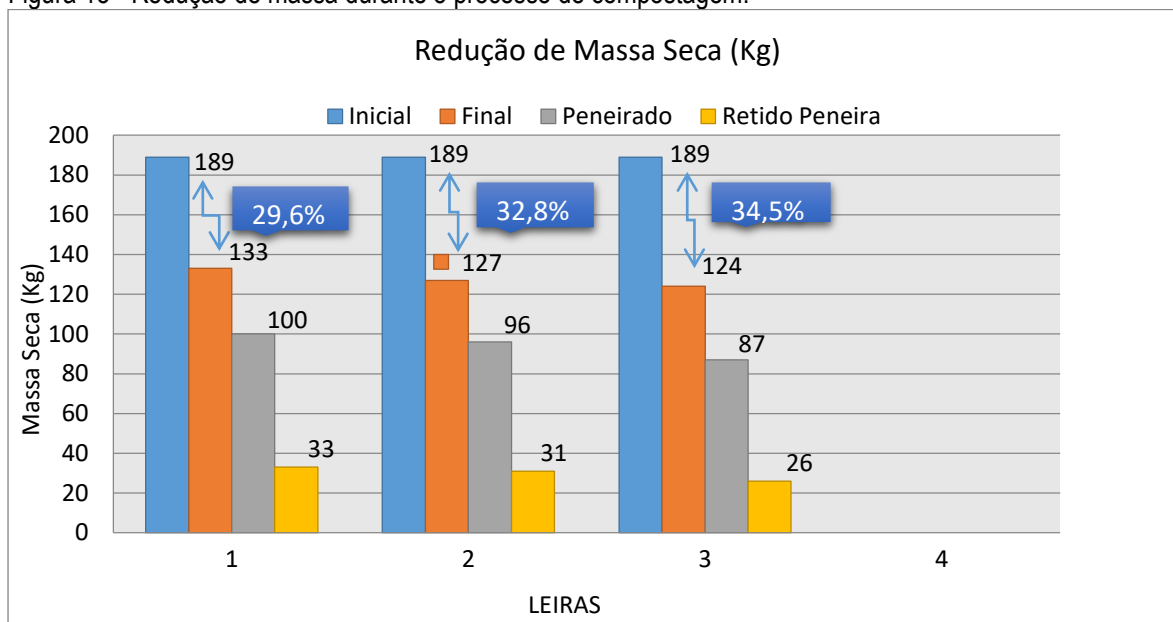
Figura 12 - Pesagem do composto após o término do período de estabilização.



Experimentos realizados por ORRICO *et al.* (2007), avaliando a eficiência da compostagem de dejetos de caprinos alimentadas com diferentes dietas, obteve valores máximos em torno de 55 a 56% de redução de massa seca. Costa *et al.* (2017), constataram redução de 50% de massa seca em compostagem de resíduos agroindustriais com poda urbana durante 91 dias.

Na Figura 13 são apresentados os valores de redução de massa do experimento. Observa-se que a redução de massa foi 29,6 % para leira 1 com 45 dias, 32,8% para leira 2 com 70 dias e 34,5% para a leira 3 com 90 dias.

Figura 13 - Redução de massa durante o processo de compostagem.



Observa-se que o período inicial foi onde ocorreu a maior degradação da matéria orgânica, fato que se comprova quando comparamos a leira 1 com a leira 3. Percebe-se que a diferença de redução de massa entre a leira 1 e a leira 3 é relativamente pequena, apesar da leira 3 ter permanecido o dobro de tempo no processo de compostagem.

Percebe-se ainda que ao comparar os resultados desse trabalho, com o de outros autores, nota-se que a redução de massa para este experimento foi inferior, fato que pode ser explicado muito possivelmente pelo tamanho inadequado das partículas do resíduo de poda de árvore, conforme demonstrado na Figura 12, associado a relação C/N muito alta no início do processo.

O composto após a pesagem foi peneirado, confirmando a existência de grande quantidade de material com granulometria acima de 2,5 cm que ficou retido na peneira, fato que ajuda a explicar os baixos percentuais de redução de massa no presente estudo.

Pode-se então afirmar que o composto orgânico apresenta em sua composição uma concentração de moléculas orgânicas recalcitrantes que possuem degradação mais lenta. Característica especialmente desejada para regiões de clima tropical onde os solos são, geralmente, mais pobres em matéria orgânica.

Segundo SALOMÃO (1998) e LEPSCH (2002), regiões com temperatura elevada e com solos com boa aeração, a mineralização ocorre rapidamente, liberando mais depressa

os nutrientes para as plantas. Assim, as condições são favoráveis para o aumento da atividade microbiana, resultando, geralmente, em um solo pobre em matéria orgânica.

Neste aspecto, a decomposição mais lenta de parte do composto, apresenta a vantagem de incrementar os teores de matéria orgânica, além de permanecer por mais tempo no solo. A Figura 14 ilustra o aspecto da L₁ maturada.

Figura 14 - Aspecto Leira 1 maturada



5.1.4 Evolução do Teor de Sólidos

Por meio deste parâmetro pode-se acompanhar a degradação do resíduo durante o processo de compostagem.

Ao longo do experimento pôde-se observar a diminuição dos sólidos voláteis, como enunciado por Queiroz (2007), que observou a redução da porcentagem de sólidos voláteis à medida que a matéria orgânica era degradada, ocorrendo conseqüentemente um aumento relativo no percentual de sólidos fixos.

A Tabela 7 apresenta a evolução dos sólidos voláteis, sólidos fixos e carbono orgânico total para as três leiras durante o processo de compostagem.

Tabela 7 – Percentuais da Evolução dos Sólidos Voláteis, Sólidos Fixos e COT.

Dias	Leira 1			Leira 2			Leira 3		
	SV	SF	COT	SV	SF	COT	SV	SF	COT
12/11/2018	90	10	50	91,4	8,6	50,8	89,6	10,4	49,8
20/11/2018	87,5	12,4	48,6	88,8	11,2	49,3	87,3	12,7	48,5
17/12/2018	85,5	14,5	47,5	86,8	13,2	48,2	86,7	13,3	48,1
11/01/2019	-	-	-	82,7	14,1	45,9	85,4	14,6	47,4
30/01/2019	-	-	-	-	-	-	84,6	15,4	47

Percebe-se que a redução de sólidos voláteis de 90% para 85,5%, na leira 1, indicando neste caso que a redução da matéria orgânica não foi acentuada, tendo como provável explicação o fato dos resíduos de poda de árvore terem recebido uma trituração insuficiente, mantendo muitas partículas com granulometrias acima do considerado ideal para a compostagem.

Percentualmente, nota-se um pequeno acréscimo na degradação da material orgânica na leira 2, passando de 91,4% para 82,73%, fato que pode ser explicado pelo maior tempo de compostagem quando comparada à leira 1.

Para a leira 3, apesar do período mais longo do processo, este percentual não foi representativo. Fato que se explica pela redução da atividade microbiana, demonstrado pelo resfriamento das leiras que atingiram a temperatura ambiente a partir dos 40 dias. Esta redução microbiana se deu, muito provavelmente, pelo fato do material de maior biodegradabilidade ter sido exaurido, que no caso deste experimento é representado pela fração dos resíduos de restaurante, restando somente os resíduos de poda de árvore e grama que possuem compostos orgânicos com degradação mais lenta.

5.1.5 Umidade

Durante o revolvimento das leiras, foram coletadas amostras para determinação do teor de umidade. Sabe-se que existe uma faixa de valores de teor de umidade que propicia um melhor desenvolvimento do processo da compostagem. Vários autores citam que esses valores encontram-se entre 50% e 60% (STENTIFORD, 1996 RODRIGUES *et al.*, 2006) Sempre que o teor de umidade estava abaixo de 50% fez-se uma rega para alcançar a faixa ideal recomendada. No início da compostagem procurou-se fazer regas leves para

evitar perdas de nutrientes por meio de escurimentos. As características hidrofóbicas da grama e das partículas maiores do resíduo da poda de árvore são mais acentuadas no início do processo. Os valores com os índices de umidade encontram-se na Tabela 8.

Tabela 8 – Evolução do teor de umidade nas leiras durante o período de compostagem

	Leira 1	Leira 2	Leira 3
12/11/2018	56,70%	57,81%	55,99%
16/11/2018	56,84%	56,73%	55,78%
20/11/2018	55,56%	55,55%	54,30%
29/11/2018	55,73%	54,81%	53,88%
14/12/2018	55,32%	54,61%	51,90%
03/01/2019	-	53,97%	52,41%
16/01/2019	-	-	51,62%

Observa-se que a umidade manteve-se dentro do faixa ideal para todas as leiras durante todo o tempo do processo de compostagem.

O parâmetro de umidade não indica a estabilização do composto, porém a IN Nº 25 do MAPA limita a umidade em 50% para a comercialização. Neste caso, os compostos orgânicos produzidos estão pouco acima dos limites exigidos pela normativa do Ministério, fato que foi corrigido durante o período de maturação quando não foram mais executadas as regas.

Para todos os outros parâmetros os valores dos compostos orgânicos estabilizados em 45 dias, 70 dias e 90 dias estão dentro dos limites determinados pelo MAPA, o que permite o seu uso como composto orgânico.

Os parâmetros preconizados pela IN 25 do MAPA para os Fertilizantes Orgânicos classe A, estão demonstrados na Tabela 9, juntamente com os resultados obtidos após o período de estabilização de cada leira.

Tabela 9:

Dados Obtidos no Experimento e as Especificações do MAPA para Fertilizantes Orgânicos Classe A. (adaptado).

Garantia	Parâmetros IN 25 (classe A)	Leira 45 dias	Leira 2 70 dias	Leira 3 90 dias
Umidade (max.)	50	55,3	54,0	51,6
N Total (min.)	0,5	2,0	2,5	2,5
C Total (min.)	15	22,0	26,1	33,2
pH (min.)	6,0	7,4	6,8	6,3
Relação C/N(max.)	20	11	10,4	13,3

5.1.6 Características nutricionais do composto estabilizado e maturado

O incremento da CTC dos solos tropicais, decorrente da adubação orgânica, constitui importante mecanismo de melhoria da fertilidade desses solos além de favorecer

a ciclagem microbiana de nutrientes (SANCHEZ, 1997). Portanto, a utilização de resíduos vegetais associados aos resíduos alimentares na forma de composto orgânico pode favorecer as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo visto que pode disponibilizar elementos necessários à nutrição da planta.

Ao final do processo, o material compostado pode ser avaliado pelos níveis de nutrientes que apresenta em sua composição. Na Tabela 10 são apresentados os níveis de macronutrientes das três leiras ao final dos períodos de estabilização e maturação.

Tabela 10 – Níveis de macronutrientes nas três leiras estabilizadas e maturadas

Elementos	Leira 1	Leira 2	Leira 3	Maturada (+30 dias)		
	45 dias	70 dias	90 dias	Leira 1	Leira 2	Leira 3
	%	%	%	%	%	%
N	1,27	1,96	2,5	2,69	2,39	2,61
P ₂ O ₅	0,25	0,66	0,71	0,54	0,53	0,62
K ₂ O	2,08	1,87	1,85	1,73	1,74	1,85
Ca	0,95	2,34	2,46	1,48	2,21	2,49
Mg	0,18	0,39	0,38	0,31	0,34	0,38
S	0,14	0,27	0,28	0,20	0,26	0,28

A análise foi realizada na amostra seca a 65°C

Tanto no composto estabilizado como no composto maturado, o potássio (K) e o (N) foram os elementos que mais se destacaram entre os macronutrientes.

O potássio é aproveitado pelas plantas predominantemente na forma iônica. A absorção do nutriente depende principalmente do processo de difusão, dentro da solução do solo e, em proporção menor, de fluxo de massa. Os sais de K apresentam em geral alta solubilidade, podendo atingir concentrações bastante elevadas na solução do solo, o que permite também ocorrer, esgotamento por lixiviação e excesso de absorção pelas plantas (MIELNICZUK, 2005). O K adicionado via adubação química pode ser intensamente lixiviado no perfil do solo, dependendo da quantidade de chuva, da dose de nutriente, da textura do solo, da CTC, entre outros fatores (HAVLIN *et al.*, 1999). As vantagens da aplicação de K via fertilizante orgânico é que aumenta a CTC, melhora as características físicas do solo reduzindo processos erosivos, diminuindo assim possíveis perdas de nutrientes por lixiviação.

O fósforo é um elemento de grande importância para a agricultura por exercer importante função na fotossíntese, divisão e respiração celular.

No Brasil, os solos geralmente apresentam baixos teores de fosforo tornando este elemento importante pois sua limitação pode limitar os índices de produtividade. (mobilidade do fosforo)

Esta baixa mobilidade esta associada a forte afinidade química do P com o Ca, Fe e Al^{++} . MALAVOLTA & PELEGRINO (1954) julgam que a fixação do fosfato em Terra Roxa, a princípio, se deve a formação de fosfatos de ferro e de alumínio. HSU (1965) observou que em solos ácidos as formas ativas de Fe e de Al conduzem a rápida precipitação do fosfato. Portanto, a correção da acidez do solo neutraliza o Ferro e o Alumínio, tornando fósforo disponível à absorção das plantas.

Os níveis de micronutrientes estão expressos na Tabela 11 para as três leiras ao final do período de estabilização e maturação.

Tabela 11 – Níveis de micronutrientes nas três leiras estabilizadas e maturadas

Elementos	Leira 1	Leira 2	Leira 3	Maturada (+30 dias)		
	45 dias	70 dias	90 dias	Leira 1	Leira 2	Leira 3
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
B	37,97	N.D	20,39	16,23	N.D.	0,88
Cu	592,2	290	182,9	246,40	211,40	203,40
Fe	4.222,50	6.192,00	4.015,00	3.623,50	2.847,00	4.009,00
Mn	222,8	236,9	191,8	189,75	183,50	216,70
Mo	N.D.	9,78	1,99	N.D	N.D	N.D
Na	2.349,00	2.854,00	2.748,00	2.138,00	2.746,00	2.813,00
Ni	9,81	N.D.	10,01	13,04	N.D.	5,82
Zn	344,50	315	217,30	294,45	286,50	305,30

A análise foi realizada na amostra seca a 65°C

O Fe e Na são os dois elementos que apresentam os níveis mais elevados dentre os micronutrientes. Estes dois elementos tiveram, de modo geral, pequena redução nos teores após o período de maturação. A exceção foi com o Na da L₃ que apresentou leve acréscimo ao final da maturação.

Teores elevados de sódio podem causar a salinização dos solos, dependendo principalmente das doses aplicadas e das características do solo que irá receber o fertilizante. O excesso de sais solúveis leva à redução do potencial osmótico da solução do solo, dificultando a absorção de água pela planta, causando desbalanço nutricional e afetando o desenvolvimento das culturas (CARVALHO & STAMFORD, 1999; AMORIM *et al.*, 2002). Em porcentagem superior a 15%, recomenda-se a aplicação de corretivos

químicos, como gesso, calcário ou enxofre elementar, com o intuito de formar sulfato de sódio para lixiviação. Quando a porcentagem de sódio é inferior a 15%, havendo uma boa drenagem da área, apenas a lavagem de sais com água de irrigação de boa qualidade é suficiente (OLIVEIRA *et al.*, 2002).

O Brasil apresenta grandes extensões de solos com significativos teores de óxidos de ferro, sendo os mais comuns, a hematita e goethita responsáveis pelas cores vermelha e amarela, respectivamente, dos nossos solos. Apesar dos altos teores totais de Fe no solo, esse elemento apresenta-se, originalmente, na estrutura dos minerais primários e, após sofrer oxidação, precipita-se como oxihidróxidos de baixa solubilidade, tornando-se pouco disponível às plantas (Schwertmann & Taylor, 1989; Guerinot & Yi, 1994; Kämpf & Curi, 2000).

As principais relações entre os óxidos ferro estão relacionadas à adsorção de poluentes (metais pesados) dos solos e à fixação do fósforo nos solos tornando este nutriente indisponível às plantas, como já citado.

5.2 Índice de Germinação

O índice de germinação é um teste que permite constatar a presença ou não de compostos fitotóxicos prejudiciais ao desenvolvimento das plantas, sugerindo o grau de estabilização do material compostado. Bernal *et al.* (2009) recomenda valores superiores a 50 % de IG, para ausência de compostos fitotóxicos.

No caso do presente experimento, encerrado o período de estabilização, as três leiras apresentaram índices de germinação superiores a 100%, conforme os dados da Tabela 12.

Tabela 12 - Resultado do IG para as três leiras de compostagem.

Leiras	Índice de Germinação (%)
45 dias	120 ±11,8
70 dias	131 ±17,2
90 dias	119 ±24,9
CV (%)	15,21

Não foram observadas diferenças estatísticas entre os compostos orgânicos obtidos após 45, 70 e 90 dias com relação ao Índice de Germinação.

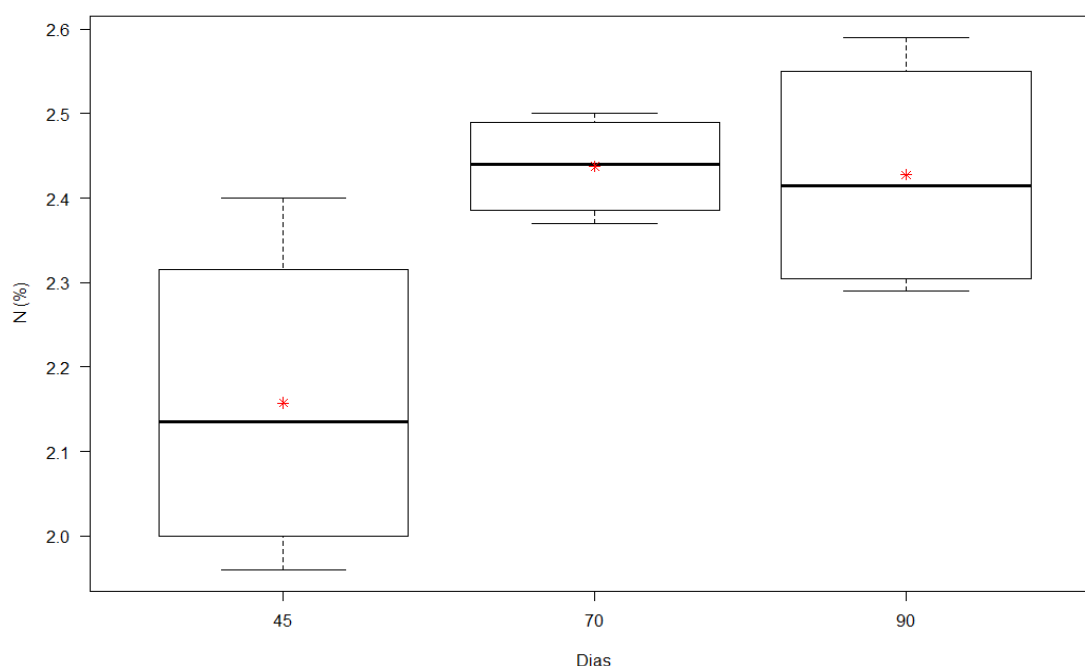
Percebe-se resultados superiores a 100% (IG) para as três leiras, fato que demonstra ausência de fitotoxicidade. Por outro lado, de acordo com Belo (2011), compostos orgânicos que apresentam IG superior a 100%, podem ser classificados como material estimulante para a germinação e crescimento de raízes, com características benéficas para o desenvolvimento inicial da cultura.

Neste caso, os três tratamentos podem ser classificados como compostos fitoestimulantes.

5.3 Análise estatística

Aplicou-se o teste de normalidade dos resíduos e o teste de homogeneidade de variância, para os dados obtidos nas análises de nitrogênio, e estão apresentados na Figura 15, no gráfico Boxplot, afim de auxiliar na visualização.

Figura 15 – Comportamento do N durante o processo de compostagem, no gráfico Boxplot.



Percebe-se pelo boxplot que o tempo de 45 dias foi o que apresentou menor valor de nitrogênio.

Para validar a análise da variância foi verificado os pressupostos de normalidade dos erros e homogeneidades variância dos erros. Assim, aplicou-se o teste de Shapiro-wilk para normalidade e o teste de Bartlett para homogeneidade sendo validada a análise da variância.

Como os p-valores, para os testes de normalidade e homogeneidade das variâncias, são maiores que 5%, os pressupostos para a validade da ANOVA são atendidos.

Aplicou-se o teste de Duncan e os resultados estão demonstrados na tabela 13.

Tabela 13 – Aplicação de teste de Duncan para níveis de N

Tratamentos (dias)	Médias
70 ^a	2.4375
90 ^a	2.4275
45 ^b	2.1575

Pelo quadro da ANOVA verifica-se que o p-valor para tratamento é menor que 5% (p-valor=0,03953) indicando que ao menos um tratamento difere de outro, em média. Como o número de graus de liberdade do resíduo é baixo (9), utilizou-se o teste de Duncan ao nível de 5% de significância, teste de comparações múltiplas menos rigoroso do que o teste de Tukey. Pelo teste, observa-se que 70 e 90 dias não diferem, sendo que 45 dias diferiu dos demais.

6. DIRETRIZES PRELIMINARES PARA O APROVEITAMENTO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO

A montagem das leiras, bem como os dados obtidos neste experimento, pode auxiliar no dimensionamento de um pátio de compostagem, para a universidade processar os resíduos de poda vegetal, com restos alimentares, através da técnica da compostagem.

Observou-se que o material da leira 1, com 45 dias de compostagem, encontra-se estabilizado atendendo os parâmetros técnicos exigidos pela IN 25 do MAPA. Portanto, este período é o mais recomendado pelo fato do material ficar menos tempo no pátio, reduzindo desta forma mão de obra e o tamanho da área para se instalar a compostagem.

Dos três tipos de resíduos orgânicos gerados no campus universitário, somente o resíduo de restaurante apresenta certa regularidade, mesmo assim interrompe a geração durante os três meses de recesso escolar que compreende os meses de janeiro, fevereiro e julho, além dos períodos de greve que deixaram de ser raros. Os demais resíduos são gerados e recolhidos de forma irregular, obedecendo-se características de sazonalidade e férias da equipe de trabalho.

A quantidade média de resíduo gerado no campus universitário por mês está apresentada na tabela 14.

Tabela 14 Quantidades (média) de resíduos gerados e recolhidos no campus da UEL

Mês	Poda Árvore (m ³)	Grama (m ³)	Resíduo de Restaurante (Kg/mês)
Jan	-	7	-
Fev	-	7	-
Mar	15	7	400
Abr	15	3	400
Mai	5	3	400
Jun	-	-	400
Jul	-	-	-
Ago	-	-	400
Set	10	3	400
Out	15	4	400
Nov	15	7	400
Dez	5	7	400

Fonte: Restaurante universitário e departamento de manutenção da UEL.

Para tratar integralmente os resíduos do campus da universidade, considerando a sazonalidade nas gerações, sugere-se a mistura de resíduos, apresentado na tabela 15, que representa os meses com maior volume de geração, para os resíduos de poda de árvore, 15 mil quilos/mês e o resíduo de restaurante com oito mil e oitocentos quilos de resíduo/mês, levando-se em conta 22 dias por mês. A participação percentual de cada resíduo na mistura foi calculada de modo a se obter a relação C/N de 30:1, considerada ideal.

Tabela 15 – Estimativa máxima de resíduos gerados em um mês no Campus da UEL.

	Peso úmido (Kg)	Umidade (%)	Peso Seco (Kg)	% na mistura
Resíduo Restaurante	8.800	89	968	32,6
Poda de Árvore	15.000	53	7.050	55,5
Gramma	3.200	14	2.752	11,8

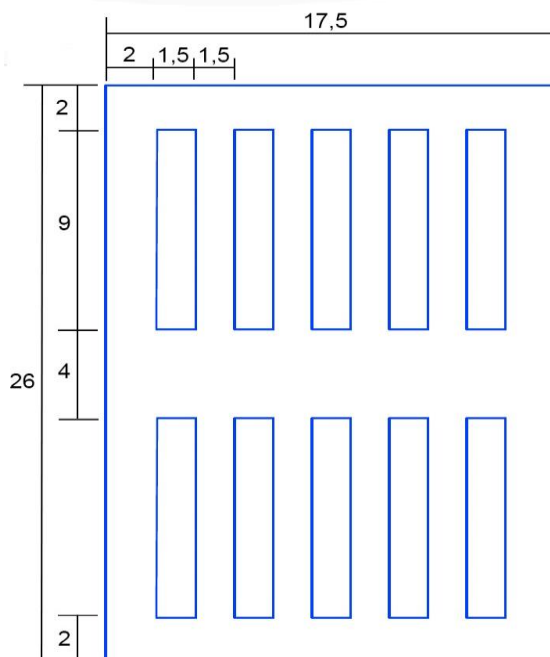
Percebe-se um aumento na quantidade de resíduo de restaurante, de 32,6 %, superior ao percentual utilizado no experimento que foi de 9%. Elevando-se o nível de nitrogênio das leiras de compostagem na escala real, muito provavelmente, aumentará a velocidade de degradação da matéria orgânica.

6.1 Dimensionamento do pátio de compostagem

Considerando o volume da escala real de 27 mil quilos de matéria “in natura”, conforme tabela 15, serão necessárias 10 leiras com dimensões de 9 metros de comprimento por 1,50 de largura e 1,30 de altura.

Com base nos parâmetros acima, a área do pátio de compostagem deve ser de aproximadamente 450 m², conforme Figura 16, já levando em conta a área de circulação de máquinas e espaço para o revolvimento das leiras.

Figura 16 - Pátio de compostagem com capacidade para processar 27 mil quilos de resíduos.



Adotando-se o período de 45 dias de compostagem e se comparando ao período de 90 dias, tem-se uma redução no número de revolvimentos de 16 para 10 durante o período de estabilização. Esta redução no tempo da compostagem, além de reduzir a permanência do material no pátio, significa menor custo com máquinas e mão de obra, considerando-se que os revolvimentos deverão ser feitos com trator.

Durante este manejo se recomenda o monitoramento e possíveis correções nos teores de umidade, temperatura e pH.

No planejamento do tamanho da área, deve-se considerar a possibilidade de ocorrências de chuvas fortes e vendavais que têm se tornado comum nos últimos anos. Estes eventos extremos podem acarretar em aumentos no volume de resíduo da poda de árvores. Neste caso, sugerimos a trituração do material e a montagem das leiras somente com o resíduo de poda de árvore, mantendo-se os revolvimentos e o monitoramento do teor da umidade. Este material por possuir uma relação C/N muito alta, necessita de um período maior para sua estabilização.

7. CONCLUSÃO

A técnica da compostagem mostrou-se eficiente para processar os resíduos vegetais associados aos resíduos alimentares gerados no Campus da Universidade Estadual de Londrina.

As três leiras, com tempos de compostagem 45, 70 e 90 dias, apresentaram ao final, características de composto estabilizado, podendo ser utilizado como fertilizante agrícola.

A leira 1, com menor período de estabilização, 45 dias, atende aos parâmetros determinados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, enquadrando-se legalmente para uso agrícola.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMINE-KHODJA, A., O. TRUBETSKAYA, O. TRUBETSKOY, L. CAVANI, C. CIAVATTA AND G. GUYOT. 2006. **Humic-like substances extracted from composts can promote the photodegradation of irgarol 1051 in solar light.** Chemosphere, 62: 1021- 1027

AMORIM, J.R. de A.; FERNANDES, P.D.; GHEYI, H.R.; AZEVEDO, N.C. de. **Efeito da salinidade e modo de aplicação da água de irrigação no crescimento e produção de alho.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.167-176, 2002.

BARATTA JUNIOR, Alamir Punaro; MAGALHÃES, Luís Mauro Sampaio. **Aproveitamento de resíduos de poda de árvore da cidade do Rio de Janeiro para compostagem.** Revista de Ciências Agro-ambientais, Alta Floresta, v. 8, p.113-125, 2010.

BELO, S. R. S. **Avaliação de fitotoxicidade através de *Lepidium sativum* no âmbito de processos de compostagem.** 2011. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.

BENITO, M.A., A. Masaguer and R. de A. Moliner. 2006. **Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability.** Bioresource Technol., 97: 2071- 2076.

BERNAL, M. P.; ALBURQUERQUE, J. A.; MORAL, R. **Composting of animal manures and chemical criteria for compost maturity assessment.** A review. Bioresource Technology, v. 100, n. 22, p. 5444–5453, 2009.

BERNAL, M. P.; NAVARRO, A. F.; ROIG, A.; CEGARRA, J.; GARCÍA, D. **Carbon and nitrogen transformation during composting of sweet sorghum bagasse.** Biology and Fertility of Soils, v. 22, n. 1–2, p. 141–148, 1996.

BRASIL. Instrução Normativa nº 27 de 05 de junho de 2006. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2006.

BRASIL. Instrução Normativa nº 25, 23 de julho de 2009. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2009

BRASIL. Instrução Normativa nº 46 de 06 de outubro de 2011. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Brasília, DF, 2011

BUTLER, T. A.; SIKORA, L. J.; STEINHILBER, P. M.; DOUGLASS, L. W. **Compost age and sample storage effects on maturity indicators of biosolids compost.** Journal of Environmental Quality, v. 30, n. 6, p. 2141–2148, 2001.

CAMPBELL, S. **Manual de compostagem para hortas e jardins: como aproveitar bem o lixo orgânico doméstico.** São Paulo: Editora Nobel, 1995.135p.

CARMO, D. L. do; SILVA, C. A. **Métodos de quantificação de carbono e matéria orgânica em resíduos orgânicos.** Revista Brasileira de Ciência do Solo, v. 36, n. 4, 2012.

CARNEIRO, L. J. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

CARVALHO, F.G.; STAMFORD, N.P. **Fixação do N₂ em leucena (*Leucaena leucocephala*) em solo da região semi-árida brasileira submetido à salinização**. Revista Brasileira de Ciência do Solo, v.23, p.237-243, 1999.

CERDA, A.; ARTOLA, A.; FONT, X.; et al. **Composting of food wastes: Status and challenges**. *Bioresource Technology*, v. 248, p. 57–67, 2017.

CHEN, Y.; YU, F.; LIANG, S.; et al. **Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application**. *Waste Management*, v. 34, n. 11, p. 2014–2021, 2014.

COMISSÃO EUROPEIA. **End-of-waste Criteria for Biodegradable Waste Subjected to Biological Treatment (Compost & Digestate): Technical Proposals**, 2014 <<http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=6869>>.

CORRÊA, E.K. 2003. **Produção de suínos sobre cama**. Gráfica Universitária. UFPEL. Pelotas. 75 p.

COSTA, M.S.S. DE M., L.A. DE M. COSTA, A. PELÁ, C.J. DA SILVA, L.D. DE CARLI E U.F. MATTER. 2006. **Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaças de aves**. Rev. Bras. Engenh. Agríc. Amb., 10: 692-698.

COSTA, J. P. V.; BASTOS, A. L.; REIS, L. S.; MARTINS, G. O.; SANTOS, A. F. **Difusão de fósforo em solos de Alagoas influenciada por fontes do elemento e pela umidade**. Revista Caatinga, v. 22, n. 3, p. 229- 235, 2009.

DAI PRÁ, M.A. 2006. **Desenvolvimento de um sistema de compostagem para o tratamento de dejetos de suínos**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia). Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel. Universidade Federal de Pelotas. Pelotas, RS. 127 p

ECO-CHEM. **Composting process**. 2004. [http:// www.ecochem.com/t_compost_faq2.html](http://www.ecochem.com/t_compost_faq2.html). Acesso em: 2/7/2004.

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Solos/Embrapa Informática Agropecuária/Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 2009. 627p.

FERNANDES, F.; SILVA, S.M.C.P. **Manual prático para compostagem de biossólidos**. Edição. PROSAB/FINEP, Rio de Janeiro, 1999.

FIALHO, L. L.; DA SILVA, W. T. L.; MILORI, D. M. B. P.; SIMÕES, M. L.; MARTINNETO, L. **Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods**. *Bioresource Technology*, v. 101, n. 6, p. 1927–1934, 2010.

FONG, M., J.W.C. WONG AND M.H. WONG. 1999. **Review on evaluation of compost maturity and stability of solid waste**. Shanghai Environ. Sci., 18: 91-93.

GARCIA-GOMEZ, A., M.P. BERNAL AND A. ROIG. 2005. **Organic matter fractions involved in degradation and humification processes during composting**. Compost. Sci. Util., 13: 127-135.

GAVILANES-TERÁN, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; IDROVO-NOVILLO, J.; et al. **Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador**. Waste Management, v. 48, p. 127–134, 2016.

GORGATI, C.Q. 2001. **Resíduos sólidos urbanos em áreas de proteção aos mananciais** - município de São Lourenço da Serra - SP: compostagem e impacto ambiental. Tese (Doutorado em Agronomia). Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Botucatu. 70 p.

HAVLIN, J.; BEATON, J. D.; TISDALE, S. L.; NELSON, W. L. **Soil fertility and fertilizers: an introduction nutrient management**. Upper Saddle River: Prentice Hall. 1999. 499 p.

HECK, K.; MARCO, É. G. DE; HAHN, A. B. B.; et al. **Temperatura de degradação de resíduos em processo de compostagem e qualidade microbiológica do composto final**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 17, n. 1, p. 54–59, 2013.

HINSINGER, P. **Biology availability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: A review**. Plant and Soil, v. 237, p. 173-195, 2001.

Huang, G.F.A., J.W.C. Wong, Q.T. Wu and B.B. Nagar. 2004. **Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust**. Waste Manage., 24: 805-813

IGLESIAS JIMÉNEZ, E.; PÉREZ GARCÍA, V. **Determination of maturity indices for city refuse composts**. Agriculture, Ecosystems and Environment, v. 38, n. 4, p. 331– 343, 1992.

INÁCIO, C.T. & MILLER, P.R. (2009) **Compostagem, ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos. 156p.

INÁCIO, C.T.; PROCÓPIO, A.S.; TEIXEIRA, C.; MILLER, P.R. (2009) **Dinâmica de O₂, CO₂ e CH₄ em leiras estáticas de compostagem durante a fase termofílica**. In: Congresso Brasileiro de Resíduos Orgânicos. Anais... Vitória: SBCS. CD-ROM.

IMBAR, Y., Y. HADAR AND Y. CHER. 1993. **Recycling of cattle manure: the composting process and characterization of maturity**. J. Environ. Qual., 22: 857-863

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ (IAPAR). **Cartas climáticas do Estado do Paraná**. Londrina, IAPAR, 1994, 49p. (IAPAR, Documento 18).

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

Jiménez, E.I. and V.P. Garcia. 1989. Evaluation of city refuse compost stability: a review. Biol. Wastes, 27: 115-142.

KEENER, H. M.; ELWELL, D. L., MONNIN, M. J. **Procedures and equations for sizing of structures and windrows for composting animal mortalities**. Applied Engineering in Agriculture, v. 6, p. 681-692, 2000.

KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo, 1985.

KIEHL, E.J. (2004) **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4. ed. Piracicaba: E. J. KIEL. 173 p

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos**. São Paulo, 2010

LAU, A.K., K.V. LO, P.H. LIAO AND J.C. YU. 1992. **Aeration experiments for swine waste composting**. Bioresource Technol., 41: 145-152

LIMA, C.C. de. 2006. **Caracterização química de resíduos da produção de biodiesel compostados com adição mineral**. Tese (Doutorado em Ciências). Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 167 p

LÓPEZ-BUCIO, J. L.; M. de la VEJA, O. M. de la; GUEVARA-GARCÍA, A.; HERRERA-ESTRELLA L. **Enhance phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate**. Natural Biotechnology, v. 18, p. 450-453, 2000.

LOPEZ-REAL, J. 1994. **Composting through the ages**. Conferência Down to Earth Composting. Dundee.

MAPA. 2005. **Instrução Normativa nº. 23, de 31 de agosto de 2005**. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, Diário Oficial, Seção 1, p.12.

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para fertilizantes e corretivos**. Brasília: MAPA/DAS/CGAL, 2014. 220p.

MATOS, A. T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa, 2014.

MIELNICZUK, J. **Manejo conservacionista da adubação potássica**. In: YAMADA, T.; ROBERTS, T. L. (Ed.). **Potássio na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2005. p.165-178.

MILLER, F.C. (1992) **Composting as a process based on the control of ecologically selective factors**. In: Meeting, F.B. Soil Microbial Ecology, n. 18, p. 515-543.

MORREL, J.L., F. COLIN, J.C. GERMON, P. GODIN AND C. JUSTE. 1985. **Methods for evaluation of the maturity of municipal refuse compost**. In: Gasser, J.K. Composting of agricultural and other wastes. Elsevier. London. p. 56-72

NEGRO, M.J., F. VILLA, J. AIBAR, R. ALARCON E P. CIRIA. 2000. **Produção e gestão de composto**. Informações Técnicas do Departamento de Agricultura de Zaragoza, 88: 32 p.

OLIVEIRA, L.B. de; RIBEIRO, M.R.; FERREIRA, M. da G. de V.X.; LIMA, J.F.W.F. de; MARQUES, F.A. **Inferências pedológicas aplicadas ao perímetro irrigado de Custódia, PE.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, v.37, p.1477-1486, 2002.

ONWOSI, C.O.; IGBOKWE, V.C.; ODIMBA, J.N.; IFEANYICHUKWU, E.E.; MARY, O.; NWANKWOALA, I.N.; LEWIS, I.E. **Composting technology in waste stabilization: On the methods challenges and future prospects.** Journal of Environmental Management, Espanha, v.190, p.140-157, 2017.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. DE. **Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura.** Engenharia Agrícola, v. 29, n. 3, p. 483–491, 2009. Associação Brasileira de Engenharia Agrícola.

PEIXOTO, R. T. dos G. **Compostagem: Opção para o manejo orgânico do solo.** Londrina: IAPAR, 1988.

PEREIRA NETO, J.T. 1996. **Manual de compostagem.** UNICEF. Belo Horizonte. 56 p.

PEREIRA NETO, J.T. 1994. **Tratamento, reciclagem e impacto ambiental de dejetos agrícolas.** In: **Conferência sobre Agricultura e Meio Ambiente**, 1., 1992, Viçosa. Anais. UFV-NEPEMA. Viçosa. p. 61-74

PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** Viçosa: Editora UFV, 2007.

RICHARD, T., N. TRAUTMANN, M. KRASNY, S. FREDENBURG AND C. STUART. 2002. **The science and engineering of composting.** The Cornell composting website, Cornell University. http://www.compost.css.cornell.edu/composting_homepage.html. Acesso em: 12/08/2002.

ROCHA, A. T.; DUDA, G. P.; NASCIMENTO, C. W. A.; RIBEIRO, M. R. **Fracionamento de fósforo e avaliação de extratores de P-disponível em solos da ilha de Fernando de Noronha.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 9, n. 2, p. 178-184, 2005.

SCHALCH, L. W. C. ALMEIDA, E. M. AGUIAR, **Gerenciamento integrado de resíduos sólidos.** In: Anais do World - Wide Symposium Pollution in Large Cities – science and Technology for Planning Environmental Quality; 1995 febr 22-25; Venice/Padova, italy. ANDIS; 1995. p.311-

SHARMA, V.K., M. CANDITELLI, F. FORTUNA AND C. CORNACCHIA. 1997. **Processing of urban and agroindustrial residues by anaerobic composting:** review. Energ. Convers. Manage., 38: 453-478.

SILVA, M.S., L.A. COSTA, M. SESTAK, D. OLIBONE, A.V. KAUFMANN, S.R. ROTTA E R. SESTAK. 2001. **Monitoramento da temperatura em dois sistemas de compostagem (com e sem aeração forçada) de resíduos sólidos da indústria de desfibração de algodão com diferentes tipos de inóculo.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia

Agrícola, 30, 2001, Foz do Iguaçu. Anais... Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola. Cascavel.

SILVA, F.A. DE M. 2005. **Qualidade de compostos orgânicos produzidos com resíduos do processamento de plantas medicinais**. Tese (Doutorado em Agronomia). Faculdade de Ciências Agronômicas. Campus Botucatu. Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho". Botucatu/SP. 92 p.

SNELL, J.R. 1991. **Role of temperature in garbage composting**. In: **The biocycle guide to the art e science of composting**. J.G. Press. Emmaus. p. 224-256

TANG, J.C., T. KANAMORI AND Y. INQUE. 2004. **Changes in the microbial community structure during thermophilic composting of manure as detected by quinone profile method**. *Process Biochem.*, 39: 1999-2006.

TEIXEIRA, L. B. et al. **Processo de Compostagem, a Partir de Lixo Orgânico Urbano, em Leira Estática com Ventilação Natural**. Edição. EMBRAPA/MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO, Belém, 2004.

TIQUIA, S.M. 2005. **Microbiological parameters as indicators of compost maturity**. *J. Appl. Microbiol.*, 99: 816-828.

TUOMELA, M., M. VIKMAN AND A. HATAKKA. 2000. **Biodegradation of lignin in a compost environment: a review**. *Bioresource Technol*, 72: 169-183.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI, T. B. G. A.; JAHNKE, D. S.; BRUM JÚNIOR, B. de S.; CABRERA, B. R.; MORAES, P. de O.; LOPES, D. C. N. **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos**. *Archivos de Zootecnia*, v.58, p.59-85, 2009.

VERGNOUX, A., M. GUILIANO, Y. LE DRÉAN, J. KISTER, N. DUPUY AND P. DOUMENQ. 2009. **Monitoring of the evolution of na industrial compost and prediction of some compost properties by NIR spectroscopy**. *Sci. Total Environ.* <http://www.sciencedirect.com>. Acessado em: 12/ 03/2009.

VINNERAS, B. AND H. JONSSON. 2002. **Thermal composting of faecal matter as treatment and possible disinfection method - Laboratory scale and pilot-scale studies**. *Bioresource Technol.*, 84: 275-282.

ZANDONADI , D. B. **Os Desafios da Olericultura. Bioestimulantes e produção de hortaliças**. Embrapa Hortaliças - Artigo de divulgação na mídia, <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1051012>

ZHANG, Y. AND Y. HE. 2006. **Co-compostig solid swine manure with pine sawdust as organic substrate**. *Bioresource Technol.*, 97: 2024- 2031.

ZUCCONI, F. AND M. BERTOLDI. 1986. **Organic waste stabilization throughout composting and its compatibility with agricultural uses**. In: Wise, D.L. *Global bioconversions*. CRC Press. Boca Raton. p. 109-137.

ZUCCONI, F.; PERA, A.; FORTE, M.; BERTOLDI, M. de. 1981. **Evaluating toxicity of immature compost.** BioCycle, v.22, p.54-57, 1981.