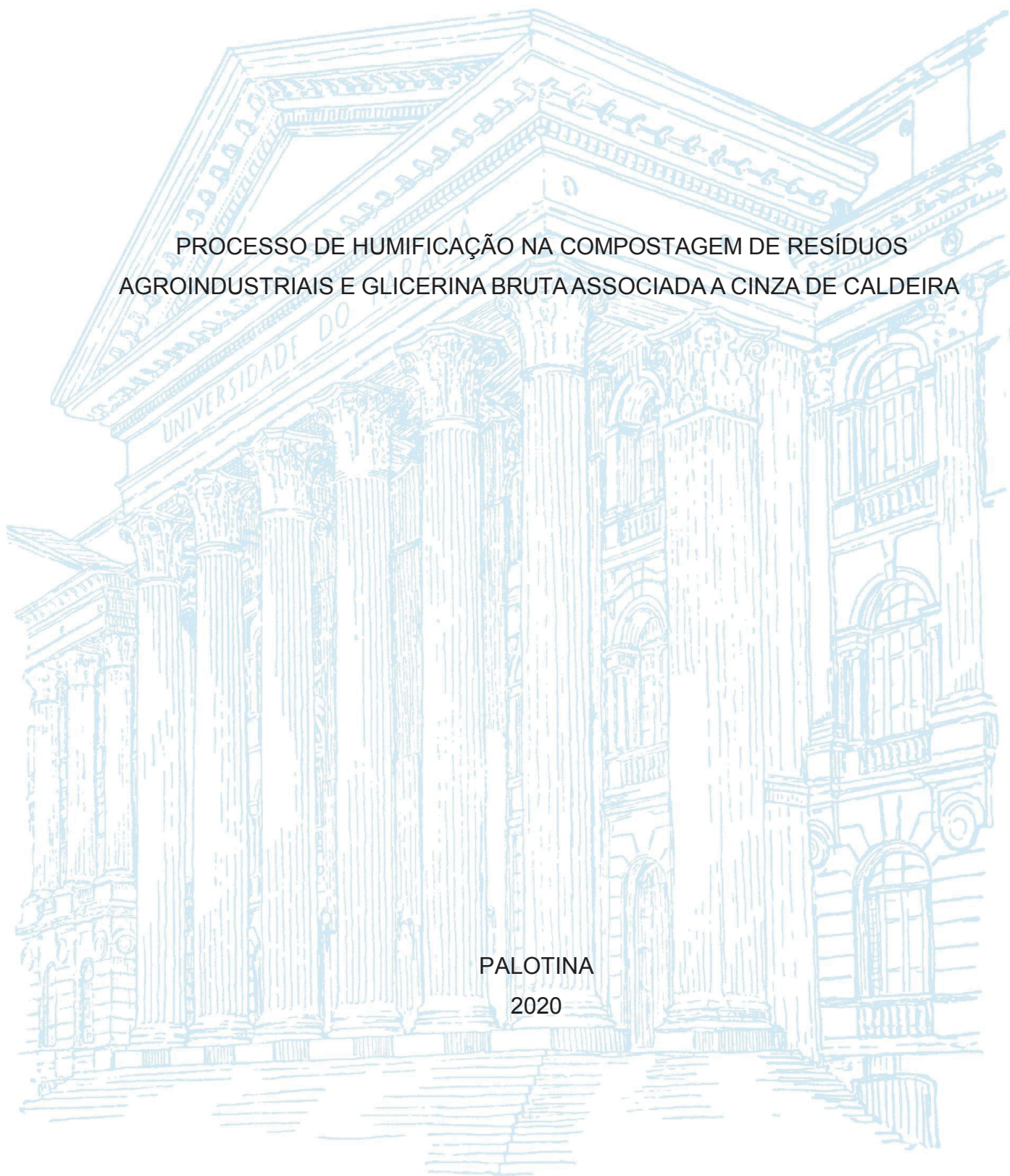


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

THAÍS CORDEIRO QUEIROZ DE OLIVEIRA LIMA

PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS E GLICERINA BRUTA ASSOCIADA A CINZA DE CALDEIRA

PALOTINA  
2020



THÁIS CORDEIRO QUEIROZ DE OLIVEIRA LIMA

PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
AGROINDUSTRIAIS E GLICERINA BRUTA ASSOCIADA A CINZA DE CALDEIRA

Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Bioenergia, Setor de Palotina, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Bioenergia.

Orientador: Prof (a). Dr (a). Jonathan Dieter

Coorientadora: Prof (a). Dr (a). Francielly Torres dos Santos

PALOTINA

2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

L732 Lima, Thaís Cordeiro Queiroz de Oliveira  
Processo de humificação na compostagem de resíduos agroindustriais e glicerina bruta associada a cinza de caldeira / Thaís Cordeiro Queiroz de Oliveira Lima – Palotina, 2020.  
50f.

Orientador: Jonathan Dieter  
Coorientadora: Francielly Torres dos Santos  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná,  
Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Bioenergia.

1. Agroindústria. 2. Cama de frango. 3. Estabilização. 4. Infravermelho de refletância total atenuada. 5. Maturação. I. Dieter, Jonathan. II. Santos, Francielly Torres dos. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDU 636.5



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR PALOTINA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO BIOENERGIA - UEL -  
UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR -  
40002012041P8

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em BIOENERGIA - UEL - UEM - UEPG - UNICENTRO - UNIOESTE - UFPR da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da dissertação de Mestrado de **THÁIS CORDEIRO QUEIROZ DE OLIVEIRA LIMA** intitulada: **PROCESSOS DE HUMIFICAÇÃO NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS E GLICERINA BRUTA ASSOCIADAS A CINZA DE CALDEIRA**, sob orientação do Prof. Dr. JONATHAN DIETER, que após terem inquirido a aluna e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Palotina, 09 de Março de 2020.

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

21/03/2020 19:45:46.0

FRANCIELLY TORRES DOS SANTOS

Presidente da Banca Examinadora (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ - CAMPUS PALOTINA )

Assinatura Eletrônica

11/03/2020 17:26:34.0

ELIANE HERMES

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ )

Assinatura Eletrônica

12/03/2020 10:45:58.0

JONATHAN DIETER

Orientador - Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

11/03/2020 16:28:14.0

MAURICIO GUY DE ANDRADE

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

*Dedico este trabalho à Deus por ter me presenteado com anjos que contribuíram com a conclusão de mais uma etapa. Ao meu noivo por ter enfrentado tudo ao meu lado. Às nossas famílias por todo apoio, carinho e confiança.*

## AGRADECIMENTOS

À Deus pela minha saúde, paciência e disposição durante toda essa caminhada, me trazendo força e ânimo para seguir em frente mesmo com todas as dificuldades encontradas.

À Jean Jacques, meu noivo, amigo, companheiro, que aceitou segurar na minha mão e me acompanhou em mais um desafio. Você foi essencial para tornar meus dias mais leves, após longos dias de análises. Palavras não são suficientes para descrever o quanto você foi maravilhoso em cada momento desta conquista.

Aos meus pais, Carlos e Lenira, que mesmo distantes me acompanharam diariamente nesta caminhada, sempre me incentivando a continuar.

À Regina, por contribuir de forma positiva em mais uma etapa acadêmica.

À Ivamberto, pelo grande apoio e contribuição para a realização de mais um objetivo. Sua ajuda foi única e inesquecível. Obrigada por toda força que me deu para iniciar este mestrado.

À minha avó materna, Neusa, pelo apoio com suas palavras cheias de fé.

À minha avó paterna, Fátima, pelo carinho e palavras positivas nos momentos de desânimo e saudades.

Aos meus irmãos, Felipe e Anaís, por conseguirem sempre se fazer presente e me fazer sorrir em momentos de cansaço e estresse.

À minha família de forma geral, por toda força, apoio e torcida de sempre.

À Jonathan Dieter pela orientação. À Francielly Torres pela co-orientação, paciência e amizade durante esses anos, sem você tudo teria sido ainda mais difícil.

Aos técnicos do Laboratório de Química Analítica por todo o apoio nas análises.

Aos colegas de Mestrado do Setor Palotina (Bruno, Flávio, Luan, Luana, Nathiely e Sara) que me ajudaram durante toda parte prática do experimento. E aos demais colegas de Palotina, que divertiram meus dias quando precisei.

Às minhas amigas de João Pessoa, Ana Helena, Kalyne e Laleska, que estiveram presentes em todos os momentos tristes e felizes do Mestrado.

À CAPES pela bolsa de estudos durante o mestrado e pelos recursos financeiros. Ao Programa de Pós-Graduação de Bioenergia – PPG e a Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, por oferecer todo suporte para execução do meu experimento.

“Julgue seu sucesso pelas coisas que  
você teve que renunciar para conseguir. ”

Dalai Lama

## RESUMO

No Oeste do Paraná a produção avícola se destaca dentre as cadeias agroindustriais. Além desta, a produção do café também vem crescendo e gerando resíduos. Uma outra cadeia em alta é a produção do biodiesel, que gera subprodutos tóxicos, dos quais, a glicerina bruta se apresenta como um grande passivo ambiental quando não tratada. Para minimizar os impactos ambientais e socioeconômicos, a compostagem destes resíduos pode ser realizada, produzindo um composto orgânico de qualidade. Porém, a eficácia do processo depende dos microrganismos e de processos físico-químicos, os quais estão diretamente ligados a condições favoráveis. Portanto, objetivou-se neste estudo verificar a estabilização dos resíduos orgânicos agroindustriais com adição de glicerina bruta nas doses de 0, 4, 8, 12 e 16% em matéria natural, submetidos ao processo de compostagem. Os resíduos utilizados foram: poda de árvore, glicerina bruta associada à cinza de caldeira, casca de café, resíduo de incubatório, cama de frango e lodo de ETA. Foram montadas 15 leiras de compostagem com revolvimentos quinzenais. As análises de Nitrogênio total, carbono orgânico total, redução de massa, pH, condutividade elétrica e grupos funcionais (FTIR) foram feitas no início e final do processo. A temperatura foi monitorada no decorrer do processo. Após 140 dias a temperatura no interior das leiras se aproximou da temperatura ambiente constatando por esse parâmetro a estabilização do material, mostrando que o processo de compostagem foi concluído. A relação C:N reduziu de 26:1 para 12:1 em todos os tratamentos, devido à perda de carbono. O pH inicial se apresentou levemente ácido a neutro variando entre os tratamentos de 6,86 a 7,12. No final do processo, os valores de pH apresentaram-se na faixa de básico, entre 8,26 a 8,44. A condutividade elétrica apresentou aumento durante todo o processo de compostagem, cujo comportamento é esperado, pois ao longo dos processos ocorre a degradação do material orgânico pelo processo de mineralização. A presença de grupos funcionais aromáticos ao final do processo de compostagem indicou a humificação do material orgânico. Conclui-se que a presença de grupos funcionais aromáticos ao final do processo de compostagem comprova a humificação do material orgânico submetido ao processo de compostagem. No entanto, devido ao longo tempo de compostagem (média de 140 dias), a implantação desta pesquisa apresenta-se inviável para as empresas que buscam um composto orgânico em curto tempo.

**Palavras-chave:** Agroindústrias, Cama de frango, Estabilização, Infravermelho de refletância total atenuada, Maturação.



## ABSTRACT

In western Paraná, poultry production stands out among the agro-industrial chains. Coffee production also has been growing and generating waste. Another upward trend is the production of biodiesel, which generates toxic sub-products, of which, crude glycerin presents itself as a significant environmental liability when left untreated. To minimize ecological and socioeconomic impacts, the composting of these residues can be carried out, producing a quality organic compost. However, the effectiveness of the process depends on microorganisms and physical-chemical processes, which are directly linked to favorable conditions. Therefore, the objective of this study was to verify the stabilization of agro-industrial organic residues with the addition of crude glycerin at doses of 0, 4, 8, 12, and 16% in natural matter, submitted to the composting process. The residues used were: tree pruning, crude glycerin associated with boiler ash, coffee husk, hatchery residue, chicken litter, and WTP sludge. Fifteen composting rows were set up with biweekly rotations. The analyzes of total nitrogen, total organic carbon, mass reduction, pH, electrical conductivity, and functional groups (FTIR) were performed at the beginning and end of the process. The temperature was monitored during the process. After 140 days, the temperature inside the windrows approached the ambient temperature, confirming the stabilization of the material by this parameter, showing that the composting process was concluded. The C: N ratio decreased from 26: 1 to 12: 1 in all treatments, due to the loss of carbon. The initial pH was slightly acidic to neutral, varying between treatments from 6.86 to 7.12. At the end of the process, the pH values were in the basic range, between 8.26 to 8.44. The electrical conductivity showed an increase during the entire composting process, whose behavior is expected because, along with the processes, there is the degradation of organic material by the mineralization process. The presence of aromatic functional groups at the end of the composting process indicated the humification of the organic material. It is concluded that the presence of aromatic functional groups at the end of the composting process proves the humification of the organic material submitted to the composting process. However, due to the long composting time (average of 140 days), the implementation of this research is not feasible for companies looking for an organic compound in a short time.

**Keywords:** Agroindustries. Chicken bed. Full reflectance attenuated infrared. Stabilization. Maturation.

## LISTA DE FIGURAS

<b>FIGURA 1</b> – RESÍDUOS UTILIZADOS NO PROESSO DE COMPOSTAGEM.....	28
<b>FIGURA 2</b> – LEIRAS DE COMPOSTAGEM NO INÍCIO DO EXPERIMENTO .....	31
<b>FIGURA 3</b> - REVOLVIMENTO MANUAL DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM.....	31
<b>FIGURA 4</b> - REGAS DAS LEIRAS .....	32
<b>FIGURA 5</b> - MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM.....	34
<b>FIGURA 6</b> - ESPECTRO DOS TRATAMENTOS DE COMPOSTAGEM NO INÍCIO DO PROCESSO.....	42

## LISTA DE TABELAS

<b>TABELA 1</b> – ATRIBUIÇÕES DE PICOS E BANDAS ANALISADOS EM FTIR, BASEADOS EM SILVESTEIN ET AL. (1994), STEVENSON (1994), BARBOSA (2008) E AMIR ET AL. (2010).....	27
<b>TABELA 2</b> – QUANTIDADE EM MASSA NATURAL DOS RESÍDUOS ORGÂNICO UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	30
<b>TABELA 3</b> - PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	37
<b>TABELA 4</b> – VALORES DE pH e CE DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	40

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	9
LISTA DE TABELAS .....	10
SUMÁRIO.....	11
1 INTRODUÇÃO .....	13
1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA .....	13
1.2 OBJETIVOS .....	15
1.2.1 Objetivo Geral .....	15
1.2.2 Objetivos Específicos .....	16
1.3 JUSTIFICATIVA.....	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	17
2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS .....	17
2.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM .....	20
2.2.1.1 Granulometria do material.....	21
2.2.1.2 Umidade.....	22
2.2.1.3 Aeração.....	22
2.2.1.4 Dimensões da leira .....	22
2.2.1.5 Temperatura.....	23
2.2.1.6 Relação C:N.....	23
2.2.1.7 pH e Condutividade elétrica .....	24
3 MATERIAL E MÉTODOS .....	27
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	27
3.2 RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZADOS NO ESTUDO .....	27
3.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM .....	28
3.3.1 Condução do Experimento.....	28
3.3.2 Parâmetros químicos e físicos avaliados .....	32
3.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	34
4.1 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	34

4.1.1 Temperatura.....	34
4.1.2 Carbono orgânico total, nitrogênio total, relação C:N e perdas de massa.....	36
4.1.3 pH e Condutividade Elétrica do composto orgânico final .....	39
4.1.4 Análise de espectrofotometria no infravermelho com transformada em Fourier dos compostos orgânicos .....	41
5 CONCLUSÕES .....	43
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>43</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DO PROBLEMA

O Oeste do estado do Paraná é uma das regiões mais desenvolvidas no ramo agroindustrial. Segundo a Secretaria de Agricultura e de abastecimento e do Departamento de Economia Rural (SEAB/DERAL), em 2019 foram abatidas em torno de 923.999.549 cabeças de frango no Paraná. Este número diminuiu nos últimos cinco anos, porém ainda é alto e revela o desenvolvimento da agroindústria na região, trazendo a geração significativa de resíduos orgânicos, altamente poluentes, principalmente aqueles gerados no período que antecede a fase de engorda e durante a fase de abate.

Seguindo para outro panorama, o café é produzido em grande escala no estado do Paraná. Porém, segundo a Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) (2018), o estado do Paraná registrou uma produção de 1.050 mil sacas a serem colhidas nessa safra, volume que representa uma redução média de 13,2% em relação à safra anterior. Esse desempenho negativo é associado, principalmente, a um fenômeno marcante na cafeicultura brasileira que resulta em diferenciais expressivos na produção de frutos e nas safras colhidas, nomeado de ciclo da bialidade negativa (CONAB, 2018).

Para incentivar a produção e o consumo responsável, o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente lançou um projeto que capacitará produtores nacionais de café a cumprirem os requisitos de obtenção de selos ecológicos. Este rótulo é uma importante ferramenta de informação na hora de escolher o produto e nele são apresentadas características, além do ciclo de vida dos produtos. A partir destas informações, o consumidor poderá comparar com outros similares e escolher de forma mais consciente aquele que possuir menor impacto ambiental (PNUMA, 2020).

As atividades agroindustriais brasileiras geram grandes quantidades de resíduos/subprodutos que em sua maioria são materiais com alta concentração de material orgânico. A maior parte desse material ainda é descartado sem tratamento no solo ou utilizada na alimentação animal, destinos que a princípio, não geram ganhos econômicos para a indústria, além de representarem gargalos logísticos e ambientais na sua disposição (YI *et al.*, 2009).

Visando o descarte adequado dos resíduos gerados e com o objetivo de permitir o avanço necessário ao Brasil no enfrentamento dos principais problemas ambientais, sociais e econômicos decorrentes do manejo inadequado dos resíduos sólidos, foi criada a Lei nº 12.305/10, que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) (BRASIL, 2010).

A partir da criação da PNRS, aumentou a conscientização e a busca pela redução do uso de recursos naturais, principalmente como fontes de energia. Surgindo alternativas para gerar energias renováveis, cujo o biodiesel é uma delas e vem apresentando crescimento anual na sua produção e na porcentagem em mistura com os combustíveis.

Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) publicou o Despacho nº 770/2019, complementar ao de nº 621, em que o percentual de adição do biodiesel ao óleo diesel comercializado no Brasil foi fixado entre 11% e 15% (B11 a B15), passando de 10% (B10) para 11% (B11) como porcentagem mínima. O novo despacho objetivou firmar a obrigatoriedade dos distribuidores de informar nas notas fiscais e nos boletins de conformidade, o percentual de biodiesel utilizado, sempre que este for diferente do percentual mínimo (ou seja, entre 12% e 15%). Diferente dos demais anos, esta medida foi tomada, pois pela primeira vez foi estabelecido um percentual variável de biodiesel a ser adicionado ao óleo diesel (até o B10, o percentual era fixo) (ANP, 2019).

Segundo a União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene (UBRABIO) (2019), o avanço do B10 para o B11 significa um aumento na produção de 200 milhões de litros, podendo alcançar o volume recorde de 6 bilhões de litros, frente aos 5,4 bilhões de litros no ano de 2018. As regiões Centro-Oeste e Sul produziram aproximadamente 82,0% de todo o biodiesel consumido no país em 2018, sendo a região Sul responsável por uma participação de 41,1% deste valor (ANP, 2019).

A produção do biodiesel, assim como qualquer outra produção, gera subprodutos, e um deles é a glicerina bruta, que corresponde a aproximadamente 10% em massa do biocombustível produzido. Por ser insolúvel, em contato com rios e lagos, dificulta a oxigenação dos organismos aquáticos. Por outro lado, se for simplesmente queimada, pode resultar na emissão de acroleína, um composto químico tóxico e cancerígeno (MARÇON, 2010).

Considerando o avanço na produção de biodiesel, em 2018 foram gerados 440,6 mil m<sup>3</sup> de glicerina como subproduto da produção do biodiesel (B10), sendo 17,6% a mais do que o ano de 2017. A maior geração de glicerina se deu na Região Sul (40,7% do total) do Brasil (ANP, 2019).

Considerando o aumento na produção dos resíduos orgânicos agroindustriais juntamente com a glicerina bruta nas últimas décadas e considerando a criação da PNRS, o método mais adequado para destinar os resíduos orgânicos de produção avícola tem sido a compostagem, que vem sendo implantado em áreas próximas das cooperativas, o que não é uma regra, mas uma prática que vem se estabelecendo. Porém, a limitação de área dos pátios de compostagem, aliada à velocidade com que os resíduos são produzidos, tem comprometido a qualidade do composto final.

Para tornar o processo de compostagem mais rápido e eficaz é necessário que os resíduos ricos em nitrogênio (como cama de frango e resíduo de incubatório) sejam combinados com fontes de carbono (como glicerina bruta, poda de árvore e casca do café), pois assim ocorre adequadamente o ajuste da relação carbono e nitrogênio para a eficácia do processo.

Entretanto, o diferencial do presente estudo é a inserção da Glicerina Bruta (GB) - que apresenta estado físico líquido - no processo de compostagem. Desse modo, para torná-la mais adequada ao processo foram incorporadas cinzas, que é um material resultante da queima completa da madeira em caldeiras, configurando-se como agente estruturante para a utilização da glicerina bruta.

## **1.2 OBJETIVOS**

### **1.2.1 Objetivo Geral**

Verificar a estabilização dos resíduos orgânicos agroindustriais com adição de Glicerina Bruta submetido ao processo de compostagem.



### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar e monitorar o processo de compostagem com adição de glicerina bruta nas concentrações de 0, 4, 8, 12 e 16% associada as cinzas de caldeiras;
- Monitorar a temperatura durante o processo de compostagem dos resíduos agroindustriais;
- Monitorar os parâmetros químicos e físicos: Carbono, Nitrogênio, relação C:N, redução de massa, pH e condutividade elétrica;
- Identificar os grupos funcionais orgânicos presentes no início e final do processo de compostagem dos resíduos orgânicos;

### 1.3 JUSTIFICATIVA

A técnica da compostagem foi desenvolvida com o objetivo de se obter rapidamente e em melhores condições a estabilização da matéria orgânica, pois na natureza, quando se trata dessa estabilização ou humificação dos restos orgânicos, que ocorre em tempo indeterminado, há variações de acordo com as condições que esse material se encontra. No processo de compostagem, os restos orgânicos se decompõem em um tempo menor, produzindo um adubo orgânico de ótima qualidade e oferecendo uma fonte rica de nutrientes para o solo.

Os resíduos agroindustriais são ricos em material orgânico, o que faz com que esses tenham uma alta concentração de nitrogênio e carbono. Dessa forma, a junção de ambos promove o processo de compostagem de forma eficaz, permitindo a humificação da matéria orgânica.

Baseando-se na compostagem de resíduos orgânicos que foram realizadas há poucos estudos que envolvem a glicerina bruta, resíduo gerado na obtenção do biodiesel. Desta forma, existe a necessidade de estudos que envolvem associar esses resíduos orgânicos agroindústrias, considerando que esse subproduto é fonte de carbono, e a produção de biodiesel está aumentando devido à busca por biocombustíveis.

Portanto, ao submeter os resíduos agroindustriais em questão, ao processo de estabilização biológica, espera-se obter um composto orgânico de qualidade,

permitindo contribuir com uma proposta de destinação adequada destes resíduos orgânicos, reduzindo o impacto ao meio ambiente.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS

Entre as cadeias agroindustriais desenvolvidas no Brasil se destaca a de produção de proteína animal, como o frango de corte. O consumo *per capita* de carne de frango no ano de 2018 foi de 41,99 kg/hab (ABPA, 2018). No entanto, como resultado do desenvolvimento do setor agroindustrial avícola, uma quantidade diversa de resíduos sólidos orgânicos é gerada. Na cadeia produtiva do frango de corte, há geração de resíduos nos matrizeiros e incubatórios, junto aos que são gerados na fase de engorda do frango (cama de frango) até a o momento do abate.

A cama de frango, que é caracterizada como todo material distribuído sobre o piso de galpões para servir de leito às aves, é um lugar relevante na epidemiologia das doenças. A cama recebe todas as excreções das aves, o que leva a mesma a possuir uma alta carga microbiana e parasitária, como vírus e fungos (PAGANINI, 2004). A cama é o principal subproduto na avicultura, e é normalmente composta por algum material produzido em abundância na região (COSTA, 2012). Como por exemplo maravalha e casca de arroz.

Outro resíduo gerado durante o processo são os resíduos de incubatório, que é a unidade produtiva na avicultura responsável pela incubação, ou seja, onde ocorre o desenvolvimento embrionário dos ovos férteis. O incubatório contemporâneo, que faz parte de uma instalação complexa, possui como parte principal as incubadoras. Por sua vez, estas são apoiadas pelos dispositivos que facilitam suas funções e máquinas auxiliares, o que leva a redução da demanda por mão-de-obra. Qualquer que seja o nível de sofisticação do incubatório, sua finalidade será transformar os ovos em pintainhos da maneira mais eficaz (KOLAŃCZYK, 2018).

Ainda dentro da cadeia produtiva de aves, encontram-se as Estações de Tratamento de Água (ETA) que tratam a água utilizada durante o processo produtivo e geram o lodo de ETA (OLIVEIRA *et al.*, 2013). O reaproveitamento agrícola do lodo

de ETA se torna interessante devido a presença de elementos importantes para as plantas, a exemplo do cálcio e do magnésio (PADILHA, 2007).

Outra cadeia agroindustrial de alta produção brasileira é a cafeicultura. O Brasil é o maior produtor de café do mundo. Possuindo um parque cafeeiro (café arábica e conilon) com cerca de 2,2 milhões de hectares, distribuídos em 15 estados: Acre, Bahia, Ceará, Espírito Santo, Goiás, Distrito Federal, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, Pará, Paraná, Pernambuco, Rio de Janeiro, Rondônia e São Paulo. Os maiores produtores são Minas Gerais e Espírito Santo, responsáveis por aproximadamente o 75% da produção brasileira (DURÁN *et al.*, 2017).

Devido ao crescimento do consumo e da produção de café no Brasil, a agroindústria cafeeira apresentou uma maior geração de resíduos orgânicos. Caso estes venham a ser dispostos inadequadamente, poderão causar problemas ambientais devido ao grande acúmulo de matéria orgânica no meio ambiente. (LIMA *et al.*, 2013).

Segundo Durán *et al.* (2017), após a colheita, o café pode passar por duas vias de processamento, sendo elas úmida e seca. O principal processo utilizado no Brasil é por via seca, que possui um elevado potencial na geração de resíduos agroindustriais (LIMA *et al.*, 2013) como a casca, a polpa e o pergaminho. Com a finalidade de destinar esses resíduos de forma adequada, algumas alternativas para diferentes usos da casca do café estão sendo estudadas, dentre elas tem-se a compostagem, a alimentação animal, o cultivo de cogumelos, a produção de enzimas, os compostos fenólicos, o biogás, os ácidos orgânicos, a pectina, os metabólicos secundários (substâncias de aroma e sabor), a proteína unicelular, o processo de ensilagem, a preparação de meios de cultivo, dentre outros (PANDEY *et al.*, 2000). Esses resíduos podem conter substâncias reutilizáveis de alto valor agregado, possíveis de serem convertidas em produtos comerciais, por meio de tecnologias adequadas (LAUFENBERG *et al.*, 2003).

A busca por energias sustentáveis leva ao desenvolvimento de biocombustíveis, tal como o biodiesel. A mistura do biodiesel com o diesel fóssil teve início em 2004 e sua obrigatoriedade veio no artigo 2º da Lei nº 11.097/2005, que introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira. Em janeiro de 2008, entrou em vigor a mistura legalmente obrigatória de 2% (B2), em todo o território nacional. Com

o amadurecimento do mercado brasileiro, esse percentual foi sucessivamente ampliado pelo Conselho Nacional de Políticas Energéticas (CNPE) (ANP, 2019). A Resolução do CNPE nº 11 (CNPE, 2017), publicada em 1º de março de 2017, dispôs sobre a adição de novos percentuais mandatórios, preferencialmente no início do mês de março de cada ano, a começar pelo dia da sua publicação. É permitida a porcentagem da mistura em até 15%, prevista na mesma lei, após a realização de testes específicos.

No entanto, a produção de biodiesel culmina na produção de subprodutos tóxicos. Após a reação de transesterificação, a massa final é constituída por duas fases, estas são separadas por decantação ou centrifugação. A fase mais pesada é a glicerina bruta, com excesso de água e de impurezas presentes na matéria prima (LEITE *et al.*, 2017). A glicerina bruta hoje é um passivo ambiental, que demanda alto custo em seu tratamento.

Na alimentação animal, a glicerina e o glicerol normalmente são entendidos como sinônimos, mas é importante lembrar que a glicerina é um produto constituído por algumas substâncias, dentre estas, o glicerol. A glicerina em estado puro é um líquido viscoso, inodoro e higroscópico, sendo a sua nomenclatura química propano-1,2,3-triol. A molécula de glicerina tem três grupos hidroxilas que são responsáveis por sua solubilidade em água. O ponto de fusão é de 17,8 °C e evapora com decomposição a 290 °C (LEITE *et al.*, 2017).

A glicerina é uma substância versátil e, devido a sua combinação única de propriedades físicas e químicas, tem mais de 1.500 utilizações finais. É usado como um ingrediente ou meio de transformação em produtos cosméticos, produtos de higiene e de cuidados pessoais, além de medicamentos e alimentos (OLIVEIRA *et al.*, 2013).

Frente ao fato da glicerina ser fonte de carbono com elevado conteúdo energético, quando adicionada ao processo de compostagem e associada a materiais orgânicos, pode tornar-se uma boa alternativa para maximizar a estabilização dos resíduos. Isso contribui com a diminuição da perda de nitrogênio e aumentando o teor deste nutriente no composto orgânico (SABARATMAN; ALI HASSAN, 2012).

As cinzas de caldeira possuem algumas propriedades. Segundo a Compostec Soluções Ambientais Ltda (2019), as cinzas possuem uma grande fonte

de potássio, e sua composição química é variável, o que leva a estar relacionada diretamente com o tipo de material que foi queimado. A cinza tem cerca de 8 a 15% de potássio o que a torna importante no controle de água dentro da planta, pois ele comanda a abertura e fechamento dos estômatos (“poros”) das mesmas.

Outro resíduo gerado em abundância no meio urbano são as podas de árvores que podem ser obtidas, na forma de materiais vegetais frescos e verdes, ricos em clorofila ou na forma de materiais secos e escuros (BARATTA-JR; MAGALHÃES, 2010).

Segundo Bernardi (2015), a realização periódica de podas de árvores no meio urbano, para que não haja interferência na rede elétrica, acarreta numa produção significativa deste tipo de resíduo, em que muitas vezes são dispostos em aterros, devido à ausência de locais apropriados para disposição final.

Todos os resíduos orgânicos apresentados nas supracitadas cadeias agroindustriais e poda de árvores urbanas são passivos de reutilização, desde que passem por um processo de estabilização. A compostagem é uma ferramenta viável para o gerenciamento de resíduos orgânicos das cadeias agroindustriais.

## 2.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A compostagem é o processo de degradação controlada de resíduos orgânicos a partir de condições aeróbias, ou seja, com a presença de oxigênio. Segundo Brasil (2017), este processo procura reproduzir condições ideais para favorecer e acelerar o desenvolvimento de macro e microrganismos, permitindo a degradação do material orgânico. Isso resulta num material de cor e textura homogêneas, com aparência e características de solo e húmus, sendo denominado de composto orgânico.

A atividade microbiana no interior da massa em compostagem ocorre na presença de quantidades muito reduzidas de oxigênio, sendo que a ausência de revolvimentos não é um fator prejudicial para o desenvolvimento do processo. No entanto, ele se faz necessário no caso da compostagem de resíduos líquidos, pois é utilizado para acelerar a evaporação do excedente de umidade. A elevação e resfriamento da temperatura até a temperatura ambiente é um indicativo do

equilíbrio microbiológico, porém não pode ser utilizada como parâmetro único de maturidade do composto (VALENTE *et al.*, 2009a).

Ao final do processo de compostagem são obtidos compostos orgânicos que são altamente ricos em matéria orgânica. A ação dos microrganismos aumenta a disponibilidade de nutrientes ao longo do tempo do ciclo da cultura, porém essas alterações dependem da qualidade e quantidade dos resíduos orgânicos utilizados (CALDEIRA *et al.*, 2011).

### 2.2.1 Fatores que influenciam no processo de compostagem

Bidone (2001) afirma que a compostagem, por ser um processo puramente microbiológico, sua eficácia depende da ação e da interação de microrganismos, os quais são dependentes da ocorrência de condições favoráveis, como granulometria, umidade, aeração, dimensões da leira, temperatura, relação C:N, condutividade elétrica e o pH.

#### 2.2.1.1 Granulometria do material

A granulometria ou dimensão das partículas é uma importante característica a ser considerada inicialmente. Segundo Kiehl (1985), a decomposição da matéria orgânica está relacionada ao tamanho do material a ser compostado, portanto, quanto menor a granulometria das partículas, maior será a área que os microrganismos poderão atacar e digerir, o que irá acelerar o processo de decomposição do material. Porém, partículas finas demais dificultam a aeração do material prejudicando o processo.

Segundo Rodrigues *et al.* (2006), as partículas que se mostram com granulação muito fina, dificultam a circulação de oxigênio no interior da leira, tornando o processo anaeróbico, o que proporcionará uma compactação e um aumento da densidade do substrato compostado. O autor Pereira Neto (2007) conclui que os tamanhos das partículas da massa em compostagem devem se situar entre 10 e 50 mm.

### 2.2.1.2 Umidade

O processo de degradação da matéria orgânica necessita de água no seu meio, pois é fundamental para a fisiologia e sobrevivência dos organismos presentes. A umidade do composto deve possibilitar o transporte de nutrientes sem alterar as trocas gasosas e condições aeróbias (VIEIRA, 2016). Valores de umidade abaixo de 40% deixam a degradação mais lenta, pois a quantidade de água necessária para as atividades microbianas não é suprida. Os valores acima de 60% proporcionam o desenvolvimento de condições anaeróbias, pois a água compete com o oxigênio nos espaços vazios. Além da formação de lixiviados, odores e perda de nutrientes (REIS *et al.*, 2004). Sendo assim, a faixa de umidade adequada ao processo de compostagem é de 40 a 60%.

### 2.2.1.3 Aeração

A massa em compostagem necessita de oxigênio, pois o processo predominante é o da respiração aeróbica executada pelos microrganismos presentes (KIEHL, 2010). Condições anaeróbicas trazem desvantagens durante o processo, por isso é importante aerar o material com determinada frequência, o que irá depender de diversos outros fatores, como dimensões da leira, por exemplo. A aeração pode ser realizada de forma natural, por meio de revolvimentos, mecânica ou por injeção de ar. A presença de oxigênio melhora as condições do processo, evitando mau cheiro, atração de vetores, o que ocasiona a oxidação mais rápida da matéria orgânica (DAZZI; TEIXEIRA; BRINGHENTI, 2018).

### 2.2.1.4 Dimensões da leira

Para que não ocorra a dissipação rápida de calor e umidade, uma leira de compostagem precisa possuir um tamanho suficiente. Acredita-se que 1 m<sup>3</sup> seja o volume mínimo necessário para permitir que essas condições ocorram (GOLUEKE, 1973). Segundo Rodrigues *et al.* (2006), o formato da leira interfere na manutenção do isolamento térmico e na umidade necessária ao desenvolvimento do processo, podendo apresentar forma triangular ou trapezoidal, cuja altura recomendada pode variar entre 1,5 a 1,8 m.

### 2.2.1.5 Temperatura

O metabolismo dos microrganismos nas leiras de compostagem reflete a temperatura, sendo um dos principais fatores que indicam a degradação do material orgânico (PAGANS *et al.*, 2006; KIEHL, 2010). Como o metabolismo desses microrganismos é exotérmico, o calor é gerado de forma rápida e apresenta temperaturas superiores a 40 °C nos primeiros dias de compostagem (GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016; MORALES *et al.*, 2016).

A temperatura constitui um dos fatores de maior indicativo da eficiência do processo de compostagem. Segundo Pereira Neto (2007), a taxa de decomposição é máxima a temperaturas entre 45 °C e 55 °C. Portanto, é necessário que durante o processo, as temperaturas atinjam valores superiores a 55 °C, de forma a garantir a destruição de microrganismos patogênicos e de sementes de ervas daninhas. Porém, temperaturas muito elevadas, acima de 65 °C podem contribuir para perdas de nitrogênio por meio de volatilização da amônia, gerando, conseqüentemente, odores desagradáveis (PEREIRA NETO, 2007).

Segundo Rosa *et al.* (2019), o processo completo de compostagem passa por três fases: mesofílica, termofílica e maturação, em que serão identificadas a partir da temperatura no interior da leira. A mesofílica é caracterizada pela variação da temperatura entre 20 °C a 40 °C, um período inicialmente bem curto, seguida pela fase termofílica que se caracteriza por temperaturas elevadas (40 °C a 65 °C), e é de grande importância no processo para que ocorra a eliminação dos agentes patogênicos e das ervas daninhas de forma eficaz. O fim do processo é caracterizado pela fase de maturação, em que a temperatura sofre uma queda, voltando às características da fase mesofílica, cuja temperatura ficará bem próxima da temperatura ambiente, indicando que o composto está maturado e estabilizado.

### 2.2.1.6 Relação C:N

É fundamental que os microrganismos tenham disponibilidade de carbono e nitrogênio, para que possam se desenvolver e resultar na degradação da matéria orgânica.



O carbono é usado como fonte de energia, em que parte é perdida em forma de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o nitrogênio se torna necessário para a reprodução celular. Através da relação C:N é possível determinar o tempo aproximado de decomposição da matéria orgânica (CERDA *et al.*, 2017; KIEHL, 1985).

A diminuição da relação ocorre ao longo do processo, pois as perdas de C são superiores as de N. Os problemas relacionados às relações C:N que podem ocorrer no processo são (KIEHL, 2010):

- Relação C:N abaixo de 10:1: pode haver perda de N por volatilização na forma de  $\text{NH}_3$  e formação de odor;
- Relação C:N entre 25:1 a 30:1: considerada ideal para o processo da compostagem;
- Relação C:N entre 30:1 a 50:1: permite uma decomposição mais acelerada;
- Relação C:N acima de 50:1: deficiência de N, tempo de maturação mais prolongado;

Quando se trata da fonte de carbono é preciso analisar qualitativamente, podendo ser de fácil degradação ou recalcitrante (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009). Por exemplo, a poda de árvore urbana apresenta em sua composição carbono de fácil degradação, como folhas, e também partículas mais recalcitrantes, como galhos.

Portanto, segundo Kiehl (2010) a relação C:N inicial ideal deve estar entre 25 e 30, mas há trabalhos como os de Maulini-Duran *et al.* (2014) que utilizaram relações C:N entre 20 e 40 e obtiveram resultados satisfatórios.

#### 2.2.1.7 pH e Condutividade elétrica

Durante a compostagem, ácidos orgânicos que possuem cadeia curta são gerados e, juntamente com a liberação de amônia pelas atividades microbianas, podem contribuir para a variação de pH durante o processo, entre 4,5 inicial a 9,0

final. Valores mais baixos geralmente são devido à liberação de compostos orgânicos voláteis e semivoláteis (DAZZI; TEIXEIRA; BRINGHENTI, 2018).

A condutividade elétrica (CE) é a salinidade do composto, indicando a quantidade total de sais e refletindo em sua qualidade para o uso como fertilizante, portanto além do pH, a CE também pode ser um fator a ser considerado relevante durante o processo de compostagem. Ao longo da compostagem, as concentrações salinas no meio aumentam devido à decomposição da matéria orgânica, alterando a condutividade (ONWOSI, 2017). Seu valor aumenta ao decorrer do tempo devido à formação de sais minerais, como amônio, íons e fosfatos. Já a volatilização da amônia e a precipitação de sais levam a sua diminuição (ONWOSI, 2017).

### 2.3 TÉCNICAS ESPECTROSCÓPICAS E QUÍMICAS UTILIZADAS PARA VERIFICAR O PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO

O processo de humificação da matéria orgânica ainda é pouco compreendido, e o conhecimento sobre os precursores das frações húmicas ainda é limitado (MOTA *et al.*, 2013). As substâncias húmicas (SHs) são produtos das transformações bioquímicas dos resíduos vegetais e animais, no processo de decomposição (SANTOS *et al.*, 2016). As SHs são formadas por diferentes grupos funcionais, presentes nas frações de interesse, que são os ácidos húmicos (AH) e ácidos fúvicos (AF). Nos vários estudos desenvolvidos para interpretar as diversas funções que desempenham as SHs nos sistemas naturais, uma parte dos esforços são dedicados à quantificação dos grupos funcionais predominantes nessas substâncias (CANELLAS *et al.*, 2005). Os principais grupos funcionais presentes nas SHs são os aromáticos, carboxílicos, hidroxílicos, fenólicos e carbonilas (MELO *et al.*, 2015).

Os aromáticos são substâncias que contêm anel benzênico na sua estrutura. A reatividade destes grupos está nas reações de substituições aromáticas eletrolíticas (VEGA, 2005). Os carboxílicos são compostos com presença do grupo funcional carboxila (COOH). Essa função parece ser uma combinação simples de um grupo carbonila (C=O) e um grupo hidroxila (OH), porém a interação entre eles gera propriedades peculiares, como uma acidez 10 vezes maior do que a do grupo hidroxila em um álcool (REUSCH, 1980).

Em relação aos hidroxílicos, estes são formados pela presença da hidroxila (OH), em que este radical orgânico é responsável pela elevada potência oxidativa (BALDOTTO *et al.*, 2007). Os fenólicos são compostos por um grupo de hidroxila ligado diretamente a um anel aromático (REUSCH, 1980). E para finalizar, as carbonilas são as unidades reativas que consistem em um carbono ligado ao oxigênio por uma dupla ligação (C=O). Este grupo funcional é responsável pela reatividade característica de aldeídos e cetonas (REUSCH, 1980).

Segundo Santos (2016), a análise dos grupos funcionais permite avaliar a reatividade das SHs. A natureza complexa das SHs é devido ao grande número de diferentes grupos funcionais presentes na sua estrutura. Dentre os grupamentos com características ácidas existentes na estrutura das SHs, as carboxilas são as que apresentam valores de  $pK_a$ , análogo ao pH, mais baixos (maior caráter ácido) (CANELLAS *et al.*, 2005).

Para a identificação dos grupos funcionais presentes na estrutura nas SHs provenientes de resíduos agroindustriais, pode-se contar com as técnicas de espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) (SANTOS *et al.*, 2009; BRIGHENTI; REIS; RE 2010).

Na FTIR são empregados níveis de energia situados entre a região do visível e a de micro-ondas, o que permite distinguir as vibrações moleculares de diversos grupos funcionais e estruturas (SILVERSTEIN; BASSLER; MORRIL, 1994). Essa técnica baseia-se no comprimento de onda característico, causado por movimentos rotacionais e vibracionais de diversos grupos moleculares e ligações químicas existentes numa molécula, fazendo com que cada ligação química vibre numa faixa espectral específica que vai refletir o ambiente químico de inserção de cada grupo de átomo analisado (STEVENSON, 1994). Dessa forma, os grupos funcionais dão origens às bandas que apresentam mais ou menos frequência, sendo possível obter informações sobre as estruturas das moléculas (SILVERSTEIN; BASSLER; MORRIL, 1994). A região de interesse para a FTIR é a compreendida entre  $4000-400\text{ cm}^{-1}$  (STEVENSON, 1994). Os grupos funcionais de interesse na matéria orgânica estão apresentados na TABELA 1.

**TABELA 1** – ATRIBUIÇÕES DE PICOS E BANDAS ANALISADOS EM FTIR, BASEADOS EM SILVESTEIN ET AL. (1994), STEVENSON (1994), BARBOSA (2008) E AMIR ET AL. (2010)

<b>Bandas e picos</b>	<b>Atribuições</b>
3.386 - 3.412 cm <sup>-1</sup>	Estiramento O-H e N-H
2.928 - 2.930 cm <sup>-1</sup>	Estiramento assimétrico de C alifático
1.700 - 1.739 cm <sup>-1</sup>	Estiramento C=O de cetonas e dos grupos COOH
1.647 - 1.652 cm <sup>-1</sup>	Estiramento C=C dos anéis aromáticos, estiramento C=O e deformação N-H das amidas primárias e estiramento assimétrico C-O dos íons COO <sup>-</sup>
1.511 cm <sup>-1</sup>	Estiramento C-N de amidas
1.380 - 1.450 cm <sup>-1</sup>	OH fenólicos, COO <sup>-</sup> , -CH <sub>3</sub> , aminas II
1.260 - 1.200 cm <sup>-1</sup>	Aminas III ou éters aromáticos C-O-C
1.070 - 1.030 cm <sup>-1</sup>	-C-O-C de carboidratos, éters aromáticos, grupamentos Si-O-C

Fonte: Adaptado por Santos (2016).

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento teve início em abril de 2019, em estufa coberta, fechada e não climatizada, localizada na Universidade Federal do Paraná (UFPR - Setor Palotina), que possui latitude sul de 24°17' e 53° 50' de longitude oeste, com altitude média de 330 m (IBGE, 2018). A temperatura média do município é de 28°C e a umidade relativa do ar média é de 76% (IAPAR, 2011).

#### 3.2 RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZADOS NO ESTUDO

Os resíduos orgânicos utilizados, bem como as cinzas que foram incorporadas à glicerina bruta, foram adquiridos das agroindústrias da região e a glicerina bruta foi obtida de uma usina de biodiesel da região Centro-Oeste do Paraná. Foi utilizado como fontes de carbono: poda de árvores urbanas, glicerina bruta e casca de café. As fontes de nitrogênio utilizadas foram os resíduos de incubatório, cama de frango e lodo de ETA (FIGURA 2).

**FIGURA 1 – RESÍDUOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM**



Fonte: Autor (2019)

LEGENDA: (a) Poda de árvore; (b) Glicerina Bruta; (c) Casca de café; (d) Resíduos de incubatório; (e) Cama de frango; (f) Lodo de ETA.

## 3.2 PROCESSO DE COMPOSTAGEM

### 3.3.1 Condução do Experimento

Um total de quinze leiras de compostagem foram confeccionadas em duas etapas, sendo as 7 primeiras montadas no dia 14 de abril de 2019 e as 8 restantes no dia 16 de abril de 2019. As leiras foram montadas em estufa fechada, coberta, não climatizada e com piso de concreto, impedindo a incidência direta de raios

solares, presença de chuvas, entrada de vetores e interferência entre a temperatura do meio externo e no interior da estufa.

As leiras receberam as mesmas fontes de carbono e nitrogênio, sendo que as concentrações de glicerina bruta (GB) alternavam entre 0, 4, 8, 12 e 16%. Portanto estes foram os tratamentos adicionados a massa fresca dos resíduos, com a finalidade de verificar a melhor concentração de GB sem interferir na eficácia do processo, bem como promover melhor ajuste da relação C:N, a fim de evitar perdas expressivas de N.

A montagem do processo se deu em função do cálculo da relação C:N, que foi baseado na quantidade de resíduos (kg), umidade e teor de carbono e nitrogênio de cada resíduo para compor a relação C:N final de 26:1. De acordo com as EQUAÇÕES (1), (2), (3) e (4) calculou-se a relação C:N.

$$\text{Qtde (kg)} = \frac{(\text{massa seca} * \text{massa natural})}{100} \quad (1)$$

$$\text{N em kg} = \frac{(\text{N}\%)*(\text{Qtde (kg)})}{100} \quad (2)$$

$$\text{C em kg} = \frac{(\text{C}\%)*(\text{Qtde (kg)})}{100} \quad (3)$$

$$\text{C:N} = \frac{\text{C em kg}}{\text{N em kg}} \quad (4)$$

Sendo assim, as quantidades em matéria natural que mantem a relação C:N de 26:1 em todos os tratamentos, em função dos parâmetros levado em consideração já supracitado está apresentada na TABELA 2.

**TABELA 2 – QUANTIDADE EM MASSA NATURAL DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM**

Resíduos orgânicos (kg)	Concentração de Glicerina Bruta (%)					Total (kg)	3 Repetições (kg)
	0,0	4,0	8,0	12,0	16,0		
Casca de Café	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	200	600
Lodo da ETA	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	100	300
Incubatório	27,00	27,00	27,00	27,00	27,00	135	405
Poda de árvores	133,00	110,00	100,00	70,00	50,00	463	1389
Cama	40,00	40,00	40,00	40,00	40,00	200	600
Cinza	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	65	195
Glicerina Bruta	0,00	10,00	20,00	28,00	37,00	95,00	285
Total leiras (kg)	273	146	260	238	227		
C/N	26	26	26	26	26		

Fonte: Autor, (2019).

No total, o experimento contou com 5 tratamentos compostos por cinco concentrações de GB com 3 repetições cada, totalizando 15 leiras de compostagem que foram distribuídas aleatoriamente pela estufa. A denominação dos tratamentos se deu pela concentração de glicerina bruta, a saber T0; T4; T8; T12 e T16 com as concentrações de 0, 4, 8, 12 e 16% de GB na massa seca.

As leiras foram montadas em camadas de modo que permitisse intercalar as fontes de carbono e nitrogênio, a fim de garantir uma altura mínima de 1,50 m, cujos resíduos foram inicialmente pesados em balança digital para verificar a massa e iniciar o processo de enleiramento. A distribuição e aspecto das leiras de compostagem podem ser visualizadas na FIGURA 3.

**FIGURA 2 – LEIRAS DE COMPOSTAGEM NO INÍCIO DO EXPERIMENTO**

Fonte: Autor, (2019).

Após uma semana do enleiramento dos resíduos, foi realizado o primeiro revolvimento manual (FIGURA 4a), realizados quinzenalmente. A cada revolvimento, eram coletadas amostras de diferentes partes da leira, armazenadas temporariamente em embalagens plásticas zipadas (FIGURA 4b) até o laboratório, sendo encaminhadas para as devidas análises de acordo com suas respectivas metodologias.

**FIGURA 3 - REVOLVIMENTO MANUAL DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM**

Fonte: Autor (2019).

LEGENDA: (a) Revolvimento manual das leiras; (b) Amostras coletadas



As temperaturas das leiras foram monitoradas a cada três dias, com auxílio de termômetros digitais até uma profundidade de aproximadamente 50 cm. Após inseridos, os termômetros permaneciam na leira até a temperatura estabilizar e em seguida o valor era registrado.

A umidade foi realizada por meio das regas, que aconteciam de duas a três vezes por semana. (FIGURA 5).

**FIGURA 4 - REGAS DAS LEIRAS**



Fonte: Autor, (2019).

### 3.3.2 Parâmetros químicos e físicos avaliados

O pH e a condutividade elétrica (CE) foram determinados a partir da solução preparada com 10 g do composto "*in natura*" e 50 mL de água destilada. Após o preparo da solução, essa foi levada para a mesa agitadora por 30 min e em seguida, 30 min de repouso para que a leitura do pH pudesse ser realizada por meio do medidor de pH (pHmetro de bancada da marca MS TECNOPON®). A CE foi lida na mesma solução por meio do condutivímetro de bancada da marca MS TECNOPON® (BRASIL, 2007) em que foram feitas no início e final do processo.

A presença dos grupos funcionais foi aferida por meio de análises no Infravermelho com Transformada de Fourier (FTIR) (STEVENSON, 1994), no início e ao final do processo, para acompanhar o grau de humificação do composto. As amostras foram secas a 105 °C por 48 h, moídas e armazenadas em embalagens plásticas zipadas.

Os grupos funcionais foram determinados pelo FTIR que possui Acessório de Refletância Total Atenuada (ATR), de acordo com a metodologia proposta por Stevenson (1994). Para a obtenção dos espectros, foram analisadas a partir de 50 varreduras no intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  com resolução espectral de 4  $\text{cm}^{-1}$ . As análises de ATR foram realizadas no espectrômetro *Frontier by Perkin Elmer* FT-IR (FREIXO; CANELLAS; MACHADO, 2002; DICK *et al.*, 2006).

Para determinação do nitrogênio, as amostras foram secas a 60 °C por 24 h, permitindo a digestão total da matéria orgânica à base de ácido sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), por meio de um bloco digestor no início e ao final do processo. Com o extrato obtido da digestão sulfúrica foi possível efetuar a determinação dos teores de Nitrogênio com o uso do Destilador de Kjeldahl, segundo metodologia proposta por Malavolta *et al.* (1997).

Para a determinação do teor de Carbono Orgânico Total (COT), os materiais secos a 105 °C por 48 h foram levados à mufla em cadinhos de porcelana, devidamente pesados e mantidos a uma temperatura de 580 °C durante um período de 3 h. Após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança, obtendo-se por diferença o conteúdo de COT, conforme metodologia de Cunha-Queda *et al.* (2003).

### 3.3 DELINEAMENTO ESTATÍSTICO

Adotou-se o delineamento inteiramente casualizado, sendo os tratamentos experimentais definidos pelos níveis de adição de glicerina bruta (0, 4, 8, 12 e 16%) aos resíduos orgânicos associados as cinzas de caldeira, com três repetições presentes nas leiras.

A Análise de Variância (ANOVA) foi realizada para os dados referentes ao processo de humificação da matéria orgânica, a saber nitrogênio total, carbono orgânico total, relação C:N, redução de massa, CE, pH e grupos funcionais. Inicialmente foram verificadas as pressuposições do modelo, posteriormente havendo influência de algum tratamento na variável resposta foi utilizado o teste de Tukey ( $p < 0,05$ ) para comparação das médias. Os dados foram analisados utilizando o *software* estatístico STATISTIC 8.0.

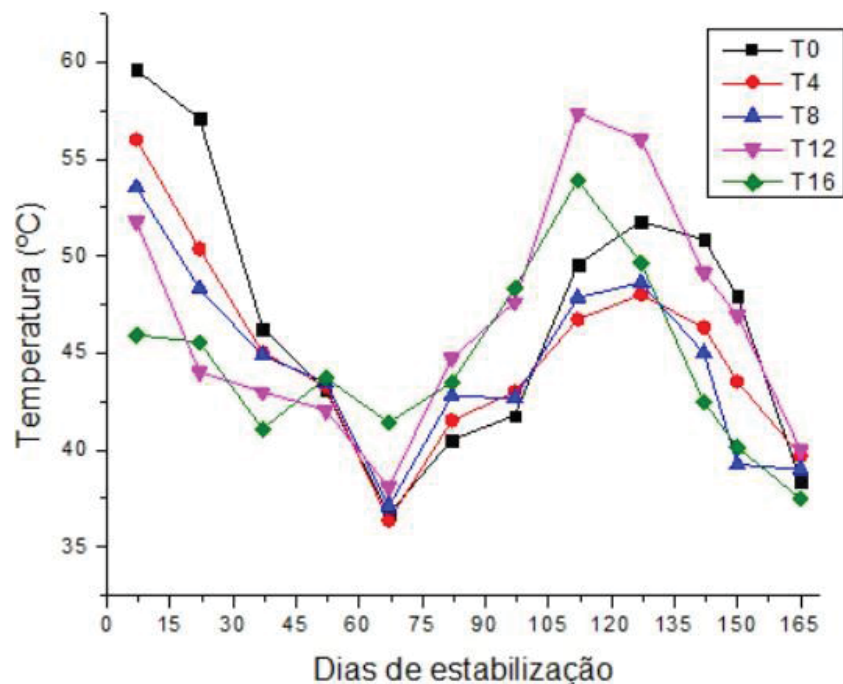
## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

#### 4.1.1 Temperatura

A coleta de amostras e análises foram realizadas 7 dias após a montagem das leiras, considerando-se este o início do experimento. A temperatura ao longo do processo de compostagem apresenta um perfil que pode ser dividido na fase termofílica e mesofílica, sendo a termofílica caracterizada por temperaturas elevadas, que variam de 40 a 65 °C, e a fase mesofílica apresenta-se temperaturas variando de 20 a 40 °C (MATOS, 2014). O monitoramento da temperatura das leiras de todos os tratamentos está apresentado na Figura 6.

**FIGURA 5 - MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DAS LEIRAS DE COMPOSTAGEM**



Fonte: Autor, (2019).

LEGENDA: T<sub>0</sub>: sem glicerina. T<sub>4</sub>: 4% de glicerina. T<sub>8</sub>: 8% de glicerina. T<sub>12</sub>: 12% de glicerina. T<sub>16</sub>: 16% de glicerina.

Nota-se que as temperaturas oscilaram durante os dias de estabilização, porém próximo aos 140 dias pode ser observado um declínio e estabilização da temperatura próxima a ambiente, o que mostra a fase final do processo de

compostagem, que acontece quando as temperaturas das leiras atingem um valor próximo a temperatura ambiente, que foi em média 39 °C.

Os autores Vital *et al.* (2018) utilizaram resíduos de restos de podas picados, capinas e material roçado proveniente do setor de paisagismo do campus da Universidade Federal de Campina Grande em Sumé. Além destes, resíduos orgânicos da área de produção agroecológica, foram inseridos na compostagem cascas de ovos e borra de café, carcaças de peixes, pó de serragem, cinza e esterco. A estabilização ocorreu em 85 dias, ou seja, humificou o material orgânico. Portanto, a estabilização da temperatura no processo, varia de acordo com a natureza e granulometria do resíduo inserido no processo de compostagem (Kiehl, 1985).

Segundo Rosa *et al.* (2019), relataram que o comportamento esperado das leiras em compostagem é inicialmente a partir de temperaturas mesofílica e logo elevação para a faixa termofílica. Nos primeiros dois dias, as leiras permaneceram em temperatura mesofílica, nessa faixa de temperatura ocorre a degradação do carbono lábil promovendo o aquecimento da massa em compostagem, o que acarreta numa elevação de temperatura. Após três dias de montagem, as leiras apresentaram temperaturas termofílicas. Porém, temperaturas muito elevadas, acima de 65 °C podem contribuir para perdas de nitrogênio por meio de volatilização da amônia, gerando, conseqüentemente, odores desagradáveis e empobrecimento do composto orgânico pela falta desse nutriente (PEREIRA NETO, 2007).

Pagans *et al.* (2006) compostaram resíduos de subprodutos animais de matadouros e pelos parcialmente hidrolisados da indústria de couro. Os autores associaram as perdas de amônia ao aumento da temperatura na fase termofílica do processo, cuja explicação estaria no fato de, na fase inicial do processo, ocorre grande degradação de substâncias orgânicas facilmente biodegradáveis, com alto teor de nitrogênio. Isso resulta na liberação do gás de amônia, o qual é exponencialmente dependente da temperatura.

Costa *et al.* (2017) trabalhando com resíduos de fibra de algodão, poda de árvores urbanas, serragem, bagaço de cana de açúcar moído e capim Napier moído, observaram um comportamento semelhante a presente pesquisa, registrando temperaturas superiores a 40 °C nos primeiros dias de compostagem.

#### 4.1.2 Carbono orgânico total, nitrogênio total, relação C:N e perdas de massa

As perdas de nutrientes como carbono orgânico total e nitrogênio total fazem parte do processo de compostagem. De acordo com a TABELA 3, todos os tratamentos utilizados no experimento apresentaram redução desses nutrientes, porém não houve diferença estatística entre eles.

TABELA 3 - PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Trat.	Nitrogênio (%)		Carbono (%)		Redução de massa (%)		C:N final
	Início	Final	Início	Final	Início	Final	
T <sub>0</sub>	2,34 ± 0,72a	2,73 ± 0,23a	48,40 ± 4,11 a	32,30 ± 1,75a	32,76 ± 8,88a	12,86 ± 1,89a	
T <sub>4</sub>	2,16 ± 0,22a	2,73 ± 0,16a	47,51 ± 2,10a	34,48 ± 2,70a	27,24 ± 7,94a	12,64 ± 1,12a	
T <sub>8</sub>	1,87 ± 0,43a	2,53 ± 0,11a	47,32 ± 3,35a	32,75 ± 3,57a	30,85 ± 3,73a	13,74 ± 1,14a	
T <sub>12</sub>	2,27 ± 0,57a	2,38 ± 0,42a	47,46 ± 0,72a	32,63 ± 1,66a	31,23 ± 3,30a	12,03 ± 1,15a	
T <sub>16</sub>	1,69 ± 0,49a	2,32 ± 0,24a	46,38 ± 1,60a	27,74 ± 2,72a	40,26 ± 3,91a	12,04 ± 2,14a	
CV	8,17%	4,32%	2,65%	2,29%	7,52%	3,57%	
Média	2,07	2,54	47,42	32,00	32,47	12,66	

Fonte: Autor (2019)

LEGENDA: Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna, não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey com uma probabilidade de 5% (p<0,05). T<sub>0</sub>: sem glicerina. T<sub>4</sub>: 4% de glicerina. T<sub>8</sub>: 8% de glicerina. T<sub>12</sub>:12% de glicerina. T<sub>16</sub>: 16% de glicerina. CV: coeficiente de variação. Trat.: Tratamento.

A redução de COT ocorreu em todos os tratamentos ao longo do processo de compostagem. No entanto, não houve diferença estatística entre a redução nos tratamentos. Durante o processo de compostagem é normal que haja maior redução de carbono, quando comparado aos demais nutrientes, pois os microrganismos utilizam o carbono em maior quantidade como fonte de energia para degradar a matéria orgânica convertendo em CO<sub>2</sub>. Santos *et al.* (2019), confirmam a redução de carbono em material orgânico em decomposição pelo processo de compostagem. Os autores, utilizaram resíduos semelhantes aos da presente pesquisa.

Assim como o carbono, o nitrogênio sofre perda ao longo do processo de compostagem, porém, o N é um dos nutrientes mais importantes para o desenvolvimento de plantas, sendo de extrema importância a sua presença na composição do composto orgânico. Portanto, evitar perda de N ao final do processo é essencial.

Visto que o composto orgânico final precisa atender a Instrução Normativa do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento nº 25/2009 (BRASIL, 2009), que determina o teor mínimo de 15% de COT presente no substrato, na presente pesquisa, os compostos orgânicos finais estão dentro da legislação vigente.

A referida Instrução Normativa estabelece que o teor mínimo de N nos substratos deve ser 0,5%, dessa forma, todos os tratamentos apresentam-se dentro do estipulado, e não houve diferença estatística para o teor de N ao final do processo de compostagem entre os tratamentos com diferentes doses de GB.

Aloisio *et al.* (2018) utilizaram diferentes tratamentos contendo glicerina bruta e resíduos da cadeia avícola. Os autores observaram que o teor de N ao longo do processo concentrou-se. Estes resíduos apresentam alto teor de nitrogênio e à medida que se perde carbono se concentra todos os nutrientes contidos no processo que não foram perdidos por volatilização ou lixiviação.

Como demonstra-se na TABELA 3, a relação C:N ao final do processo entre os tratamentos se apresentaram em média de 12:1, não apresentando diferença estatística entre eles, sendo a relação C:N inicial 26:1 para todos os tratamentos. A redução C:N ocorreu devido ao consumo de carbono orgânico pelos microrganismos durante a degradação da matéria orgânica não apresentaram diferença estatística entre os tratamentos.

Portanto, a redução de COT está relacionada a intensa atividade microbiana, principalmente nos 35 primeiros dias, porém permanece ocorrendo de forma mais lenta após este período (GAVILANES-TERÁN *et al.*, 2016), justificando a oscilação da temperatura. Na pesquisa realizada por Bernardi (2015), em que foram utilizados diferentes materiais lignocelulósicos na compostagem, associados a cadeia de aves de corte, corroboram com a presente pesquisa, pois houve redução na relação C:N entre os tratamentos.

Além dos fatores apresentados, a redução de massa, volume e tempo de compostagem são fatores importantes (COSTA *et al.*, 2017). Segundo Kiehl (1985), a redução ideal de massa seca está próxima de 50% para os processos de compostagem entre 90 e 120 dias.

Considerando estes dados, na presente pesquisa, o tempo de compostagem foi em média 140 dias e a redução de massa variou entre 27 a 40% nos tratamentos. Não houve diferença estatística entre a redução de massa em todos os tratamentos. Sugere-se que os microrganismos optaram em degradar fontes de carbono lábil em detrimento à poda de árvore que se apresenta como carbono recalcitrante de mais difícil degradação.

#### 4.1.3 pH e Condutividade Elétrica do composto orgânico final

Segundo Kiehl (2010), o pH durante a compostagem acompanha o desenvolvimento do processo que aumenta proporcionalmente em relação as concentrações de bases na pilha. O pH e CE são características químicas importantes especialmente em relação a disponibilidade de nutrientes para as plantas (LUDWIG *et al.*, 2015). Estes parâmetros foram aferidos no início e final do processo. Na Tabela 4, estão apresentados os valores do pH e CE.



**TABELA 4** – VALORES DE pH e CE DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tratamento	pH		CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	
	Início	Final	Início	Final
T <sub>0</sub>	6,86 ± 0,01a	8,47 ± 0,08a	1,56 ± 0,41a	3,72 ± 0,50a
T <sub>4</sub>	7,00 ± 0,22a	8,26 ± 0,22a	0,09 ± 0,01b	3,51 ± 0,51a
T <sub>8</sub>	6,80 ± 0,42a	8,34 ± 0,15a	0,11 ± 0,03b	3,96 ± 0,76a
T <sub>12</sub>	6,94 ± 0,04a	8,44 ± 0,09a	0,70 ± 0,41ab	4,54 ± 0,22a
T <sub>16</sub>	7,12 ± 0,11a	8,40 ± 0,17a	0,31 ± 0,01b	4,21 ± 0,01a
CV	2,23%	0,62%	49,88%	6,67%

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

LEGENDA: Médias seguidas pelas mesmas letras na coluna, não apresentam diferença estatística pelo teste de Tukey com uma probabilidade de 5% ( $p < 0,05$ ). T<sub>0</sub>: sem glicerina. T<sub>4</sub>: 4% de glicerina. T<sub>8</sub>: 8% de glicerina. T<sub>12</sub>: 12% de glicerina. T<sub>16</sub>: 16% de glicerina. CV: coeficiente de variação.

O pH tende a aumentar durante o processo de compostagem e chega a valores próximos de 8 no composto maduro (VALENTE *et al.*, 2009b). O pH inicial foi levemente ácido a neutro variando entre os tratamentos de 6,86 a 7,12. Portanto, no final do processo os valores aumentaram, de 8,26 a 8,44. Contudo, não houve diferença estatística do pH no início e final do processo. No trabalho realizado por Chiarelotto *et al.* (2018), compostaram resíduos de poda de arborização urbana, resíduo de incubatório, lodo de flotador, cinza de caldeira e invólucro de embutidos avaliando três tempos ao longo do processo. Os compostos finais para os três tempos de compostagem determinados pelos autores apresentaram valores de pH na faixa indicada por Juárez *et al.* (2015), entre 8,0 e 8,5.

A condutividade elétrica (CE) é uma medida indireta da quantidade de sais presentes no material e é a característica que mais afeta o desenvolvimento de mudas (LORIN *et al.*, 2014; SANTOS *et al.*, 2015; MORAES *et al.*, 2018). No início do processo a CE apresentou diferença estatística entre os tratamentos, conforme apresentado na TABELA 4, porém ao final do processo não houve diferença estatística entre os tratamentos com a adição de GB.

Nota-se que a CE apresentou um aumento durante todo o processo de compostagem, iniciando com valores entre 0,09 mS.cm<sup>-1</sup> e 1,56 mS.cm<sup>-1</sup> e finalizando com valores entre 3,72 mS.cm<sup>-1</sup> e 4,54 mS.cm<sup>-1</sup>. Esse comportamento é esperado, visto que ao longo dos processos biológicos da estabilização do material, ocorre a degradação da matéria orgânica, ou seja, parte da massa dos resíduos é

perdida. Esta perda de massa ocasiona concentração dos sais solúveis, aumentando a CE (CÁCERES; FLOTATS; MARFÀ, 2006).

No entanto, Chiarelto *et al.* (2018) observaram que a CE apresentou diminuição ao longo do processo de compostagem (iniciando com  $2,88 \text{ mS.cm}^{-1}$  e finalizando com valores entre  $1,59$  e  $1,72 \text{ mS.cm}^{-1}$ ) esse fato pode ser ocorrido pela adição de água além da capacidade de absorção das leiras no início do processo de compostagem.

#### 4.1.4 Análise de espectrofotometria no infravermelho com transformada em Fourier dos compostos orgânicos

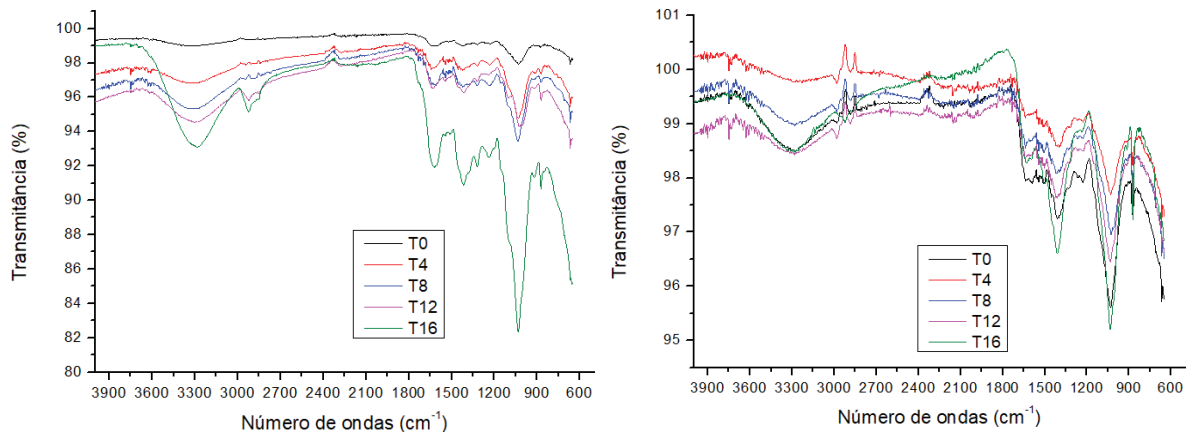
A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) é uma alternativa para caracterizar a matéria orgânica dos compostos orgânicos, que são produzidos durante o processo de compostagem. No espectro gerado, mostra-se o comprimento de onda correspondente a quantidade de luz que o composto absorve ou transmite. Segundo Xavier (2016), absorvância é a capacidade de absorver luz e a transmitância a capacidade de transmitir luz através da solução da amostra, ou seja, apresentam comportamentos opostos no espectro. Porém ambas podem ser usadas na FTIR. A absorvância de uma solução está relacionada com a transmitância, cujo são inversamente proporcionais.

Segundo Brighenti, Reis e Reis (2010), mesmo que sejam proporções diferentes entre os sinais e pequenos deslocamentos na frequência de absorção, a informação provida pela análise comparativa entre espectros é de maior valia que a análise isolada.

Segundo Barbosa (2008), a banda na região de  $2.900 - 3.300 \text{ cm}^{-1}$  é atribuída ao estiramento assimétrico de C alifático o que indica uma não estabilização do material. No espectro gerado, no início do processo, é possível visualizar as bandas e picos relativos aos grupos funcionais presentes no material em decomposição. Chiarelto *et al.* (2018) mostraram que no ponto de  $2920 \text{ cm}^{-1}$ , os processos de estabilização conduzidos por 35 e 63 dias de compostagem apresentaram bandas de maior intensidade nesta região, se comparado aos 95 dias do processo, indicando presença de compostos alifáticos (baixo grau de decomposição do material). Ainda, segundo os autores, os picos e bandas com sinal

no número de onda de  $1620\text{ cm}^{-1}$  podem fornecer informações relacionadas a carbono aromático, inferindo sobre a estabilização do material. Nas Figuras 7 (a-b) são apresentados os espectros de FTIR com ATR do início e final do processo de compostagem.

**FIGURA 6 - ESPECTRO DOS TRATAMENTOS DE COMPOSTAGEM NO INÍCIO E FINAL DO PROCESSO.**



Fonte: Autor, (2019).

Alguns autores como Wang *et al.* (2017); Asses *et al.* (2018), quando se trata do processo de compostagem e mineralização da matéria orgânica em compostos, basicamente os números de onda em  $2920$  e  $1620\text{ cm}^{-1}$  fornecem informações referente à carbono alifático e aromático, respectivamente.

Na fase inicial desta pesquisa, gerou-se o espectro dos tratamentos, notando-se que os sinais nas bandas alifáticas são maiores em todos os tratamentos, quando comparados a região aromática que possui sinais menores, localizando-se na banda da região de  $1.600 - 1.700\text{ cm}^{-1}$ . Nesta fase inicial do processo de compostagem, os maiores picos se encontram na região alifática, pois ainda não ocorreu o processo de estabilização do material.

No final do processo de compostagem dos resíduos, os sinais nas bandas aromáticas possuem número de onda maior na região de  $1.000 - 1.600\text{ cm}^{-1}$ , o que indica que o material está estabilizado e maturado. Quanto mais estabilizado ou maturado, os compostos orgânicos tendem a apresentar menor intensidade de absorbância na faixa de  $2920\text{ cm}^{-1}$  (SMIDT; MEISSL, 2007; KONG *et al.*, 2018), corroborando os com resultados obtidos na presente pesquisa.

Chiarelotto *et al.* (2018) submeteram resíduos agroindustriais ao processo de compostagem. Os autores concluíram que os resíduos com 63 e 95 dias de compostagem apresentaram-se na faixa de  $1620\text{ cm}^{-1}$ , indicando maior absorvância se comparados aos resíduos com 35 dias de compostagem, indicando maior presença de carbono aromático, confirmando a maior mineralização do material orgânico.

Assim como Kong *et al.* (2018) verificaram a redução de compostos alifáticos e o aumento de compostos aromáticos ao longo do processo de compostagem de esterco de frangos com palha de arroz.

Contudo, devido ao tempo total do processo de compostagem, a pesquisa passa a ter pouca viabilidade para ser praticada em grande escala, muito embora apresenta resultados positivos e satisfatórios em todos os parâmetros físico-químicos avaliados.

## 5 CONCLUSÕES

Os resíduos agroindustriais orgânicos possuem uma alta concentração de carbono e nitrogênio, o que promove a eficácia do processo de compostagem e permite a humificação da matéria orgânica.

O processo de compostagem dos resíduos agroindustriais ocorreu de forma eficiente para o tratamento dos resíduos utilizados e as concentrações de 4, 8, 12 e 16% de glicerina bruta, pois não influenciaram negativamente no processo.

A presença de grupos funcionais aromáticos ao final do processo de compostagem constata a humificação do material orgânico submetido ao processo de compostagem.

Devido ao longo tempo médio de compostagem (140 dias), a implantação desta pesquisa apresenta-se inviável para as empresas que buscam um composto orgânico em um curto tempo.

## REFERÊNCIAS

ABPA – Associação Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual da ABPA**. São Paulo, p.177, 2018.

ALOISIO, C. M. **Processo de humificação na compostagem de resíduos orgânicos agroindustriais associados a glicerina bruta**. 68f. Dissertação. (Mestrado Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais) Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais, 2018.

ANP – Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Resolução ANP nº 67, de 09 de dezembro de 2011. Dispõe sobre as definições para fins de aquisição de etanol anidro combustível**. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 13 dezembro. 2016. Disponível em: [www.anp.gov.br](http://www.anp.gov.br). Acesso em: 20 jun. 2018.

ASSES, N. *et al.* Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or green residues: process monitoring and agriculture value of the resulting composts. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 114, p. 25-35, 2018.

BALDOTTO, M.A *et al.* propriedades redox e grupos funcionais de ácidos húmicos isolados de adubos orgânicos. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**, v. 31, p. 465-475, 2007.

BARATTA-JR, A. P.; MAGALHÃES, L. M. S. Aproveitamento de resíduos de poda de árvore da cidade do Rio de Janeiro para compostagem. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta, v. 8, n. 1, p.113-125, 2010.

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.

BERNARDI, F. H. **Materiais lignocelulósicos na compostagem de resíduos da agroindústria do frango de corte**. 2015. 63f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, PR, 2015.

BIDONE, F. A. (Org.). **Resíduos sólidos provenientes de coletas especiais: eliminação e valorização**. Brasília: FINEP/PROSAB, 2001. 216 p.

BRASIL. **Lei n. 12.305 de 02 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a lei n.9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília DF, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa Nº 17, de 21 de maio de 2007**. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos, na forma do Anexo à presente Instrução Normativa. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 maio 2007. Seção 1, p. 8.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Compostagem doméstica, comunitária e institucional de resíduos orgânicos: manual de orientação**. Ministério do Meio Ambiente, Centro de Estudos e Promoção da Agricultura de Grupo, Serviço Social do Comércio. Brasília, DF: MMA, 2017.

BRIGHENTI, C. R. G.; REIS, L. C.; REIS, C. Características físico-químicas de ácidos húmicos em diferentes etapas da vermicompostagem. **Eclética Química**, v. 35, n.3, 2010.

BRITO, M. (2005). **Manual de Compostagem da ESALP**. Instituto Superior de Viana do Castelo - Escola Superior Agrária de Ponte de Lima. Disponível em: <[http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual\\_Compostagem.htm](http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Manual_Compostagem.htm)> Acesso em: 29 de julho de 2018.

CÁCERES, R.; FLOTATS, X. & MARFÀ, O. Changes in the chemical and physicochemical properties of the solid fraction of cattle slurry during composting using different aeration strategies. **Waste Manag**, v. 26, p. 1081-1091, 2006.

CALDEIRA, M. V. W. *et al.* Propriedades de substratos para produção de mudas florestais. *In*: CALDEIRA, M. V. W.; GARCIA, G. O.; GONÇALVES, E. O.; ARANTES, M. D. C.; FIEDLER, N. C. (Org.) Contexto e perspectivas da área florestal no Brasil. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2011. v. 1, p. 142-160.

CANELLAS, L. P.; RUMJANEK, V. M. Espectroscopia na região do infravermelho. *In*: CABELLAS, L. P.; SANTOS, G. A. **Humosfera**: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas. Campos dos Goytacazes: L. P. Canellas; G. A. Santos, 2005. p. 126-142.

CERDA, A. *et al.* **Composting of food wastes: status and challenges**. *Bioresource Technology*, v. 248, p. 57-67, 2017.

CHIARELOTTO *et al.* Análise de FTIR na determinação da qualidade de compostos orgânicos obtidos por processo de compostagem. *In*: **9º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos**, Porto Alegre, 2018

CHIARELOTTO, M. *et al.* Reducing the composting time of broiler agro-industrial wastes: The effect of process monitoring parameters and agronomic quality. **Waste Management**, v. 96, p. 25-35, 2019.

COMPOSTEC SOLUÇÕES AMBIENTAIS LTDA. **Cinza de caldeira**. Disponível em: <<http://www.compostec.com.br/?page=prodDetalhes&prod=5>> Acesso em: 13 de nov. de 2019.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira: café**. v.5, n.2, Brasília, p.1-70, 2018.

COSTA, M. S. S. de M *et al.* Composting as a cleaner strategy to broiler agro-industrial wastes: Selecting carbon source to optimize the process and improve the quality of the final compost. **Journal of Cleaner Production**, v. 142, p. 2084-2092, 2017.

COSTA, L. V. C. **Produção de biogás utilizando cama de frango diluída em água e em biofertilizante de dejetos suínos**. 2012. 75f. Tese (Doutorado) - Faculdade

de Ciências Agronômicas, Botucatu, SP, 2012.

CUNHA-QUEDA, A. C. F *et al.* Estudo da evolução de atividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas. **Anais do Instituto Superior de Agronomia**, Lisboa - Portugal. v. 49, p. 193-208, 2003.

DAZZI, J. C.; BRINGHENTI, J. R.; TEIXEIRA, R. A. **Compostagem: fatores que a influenciam e a importância do processo em pequena escala para gestão de resíduos orgânicos nos centros urbanos.** Encontro Internacional sobre Gestão Ambiental e Meio Ambiente (ENGEMA), ISSN: 2359-1048, dezembro, 2018.

DICK, D. P. *et al.* Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil. **Organic Geochemistry**, v. 37, n. 11, p. 1537-1545, 2006.

DURÁN, C. A. A *et al.* Café: Aspectos Gerais e seu Aproveitamento para além da Bebida. **Rev. Virtual Quim**, v. 9, n. 1, p. 107-134, 2017

FREIXO, A. A.; CANELLAS, L. P.; MACHADO, P. L. O. Propriedades espectrais da matéria orgânica leve-livre e leve intra-agregado de dois latossolos sob plantio direto e preparo convencional. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.26, p.445-453, 2002.

GAVILANES-TERÁN *et al.* Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador. **Waste Management**, v. 48, p. 127-134, 2016.

IAPAR – Instituto Agrônômico do Paraná. **Médias históricas em estações do IAPAR.** Paraná, 2011. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias\\_Historicas/Palotina.htm](http://www.iapar.br/arquivos/Image/monitoramento/Medias_Historicas/Palotina.htm)> Acesso em: 25 jul. 2019.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). **Anuário estatístico, 2018.** Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/biblioteca-catalogo?id=720&view=detalhes> Acesso em: 20 Jan 2019

JUÁREZ, F. D *et al.* Co-composting of biowaste and wood ash, influence on a microbially driven-process. **Waste Management**, v. 46, p. 155-164, 2015.

KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: maturação e qualidade do composto. 4 ed. Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004.

KIEHL, E. J. **Novo fertilizantes orgânicos.** Piracicaba: Degaspari, 2010.

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

KOLAŃCZYK, M. **Conhecendo melhor a incubação em um incubatório.** 2018. Disponível em: <<https://www.pasreform.com/pt/knowledge/121/conhecendo-melhor-a-incubacao-em-um-incubatorio>> Acesso em: 27 jun. 2019.

- KONG, Z *et al.* Evolution of various fractions during the windrow composting of chicken manure with rice chaff. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 366-377, 2018.
- LAUFENBERG, G.; KUNZ B.; NYSTROEM, M., 2003, Transformation of vegetable waste into value added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations, *Bioresource Technol.* 87, 167–198.
- LEITE, R.G. *et al.* Scientia Agraria Paranaensis - Sci. Agrar. Paraná. Implicações do uso da glicerina na alimentação de suínos em terminação: Revisão. **Marechal Cândido Rondon**, v. 16, n. 1, p. 13-20, 2017.
- LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PETTER, F. A.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H. Desenvolvimento de mudas de beterraba em substratos **Comerciais tratados com biochar**. **Agrotropica**, v. 25, p. 181-186, 2013.
- LORIN, Higor Eisten Francisconi. **Processos biológicos de estabilização de dejetos de bovinos de corte confinados**. Cascavel, 2014. 61p.
- LUDWIG, F *et al.* Metodologias para monitoramento nutricional de gérbera cultivada em substrato. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, Brasília, v. 21, n.1, 2015, p. 77-84, 2015.
- LUDWIG, F. *et al.* Condutividade elétrica e pH do substrato em cultivares de gérbera de vaso avaliado com duas metodologias. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FLORICULTURA E PLANTAS ORNAMENTAIS, 16, Goiânia, 2007, **Anais [...]** Goiânia, 2007.
- MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2. ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319 p.
- MARÇON, R. O. **Pré-tratamento da glicerina bruta gerada na produção de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais e gordura animal**. 2010. 122 f. Dissertação (Mestrado em Agroenergia). Universidade Federal do Tocantins – UFT, Palmas, 2010.
- MATOS, A. T. de. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: UFV, 2014.
- MAULINI-DURAN, C. *et al.* Gaseous emissions in municipal wastes composting: Effect of the bulking agent. **Bioresource Technology**, v. 172, p. 260-268, 2014.
- MDIC – Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio. **Dados estatísticos das exportações e importações brasileiras**. 2018. Disponível em: <http://comexstat.mdic.gov.br/pt/home>. Acesso em: 28 jun. 2018.
- MELO, P.S *et al.* Winery by-products: Extraction optimization, phenolic composition and cytotoxic evaluation to act as a new source of scavenging of reactive oxygen species. **Food Chemistry**, Barking, v. 181, p. 160-169, 2015.



MORAES, P.L.D. *et al.* Effects of nutrient solution salinity on the physiological performance of melon cultivated in coconut fiber. **Revista Caatinga**, v. 31, n. 3, p. 713-718, 2018.

MORALES, A. B *et al.* Agri-food sludge management using different co-composting strategies: Study of the added value of the composts obtained. **Journal of Cleaner Production**, v. 121, p. 186-197, 2016.

MOTA, P.R.A *et al.* Condutividade elétrica da solução nutritiva e acúmulo de macro e micronutrientes no cultivo de crisântemo. **Bragantia**, Campinas, v. 72, n. 1, p.81-89, 2013.

OLIVEIRA, A. P. *et al.* Avaliação dos adubado com lodo de estação de tratamento de água. **Revista Internacional de Ciências**, v.5, n.2, 2015

OLIVEIRA, J.R. *et al.* Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.43, n.3, p. 509-512, 2013.

ONWOSI, C.O *et al.* Composting technology in waste stabilization: On the methods challenges and future prospects. **Journal of Environmental Management**, Espanha, v.190, p.140-157, 2017.

PADILHA, J. C. **Aplicação de lodos de tratamentos de água e esgoto em latossolos cultivados com milho e soja. 346f.** Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

PAGANINI, J. F. Produção de frangos de corte. *In*: MENDES, A.; NAAS, I. A.; MACARI, M. (Orgs.). **Manejo da cana**, v. 1, p. 107-116, 2004.

PAGANS, E.*et al.* Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependecy on process temperature. **Chemosphere**, v. 62, p.1534-1542, 2006.

PANDEY, A. *et al.* Biotechnological potential of coffee pulp and coffee husk for bioprocesses. **Biochemical Engineering Journal**, v. 6, n. 2, p. 153-162, 2000.

PNUMA. **Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente**; OMT. Organização

Mundial do Turismo. Projeto de PNUMA e Ministério da Economia estimula uso do selo ecológico pelo setor cafeeiro, 2020. Disponível em:

<<https://nacoesunidas.org/projeto-de-pnuma-e-ministerio-da-economia-estimula-uso-do-selo-ecologico-pelo-setor-cafeeiro/>>. Acesso em: 23 mar. 2020.

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

REUSCH, W. **Química orgânica**. Wiliam H. Reusch; tradutor EugeniaDeheinzelin, revisor técnico Ricardo Renzo Brentani. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1980. 972p.

REIS, R.A. *et al.* Teores de compostos nitrogenados do capim Marandu (Brachiariabrizantha, cv. Marandu) ensilado com polpa cítrica peletizada. *In: Reunião anual da sociedade brasileira de zootecnia, 2004, Campo Grande. Anais [...]* Campo Grande: Sociedade Brasileira de Zootecnia. 2004

RODRIGUES, M.S *et al.* Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. *In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria.* FEPAF. Botucatu, 2006. p. 63-94.

ROSA, L.O *et al.* Valorização dos resíduos orgânicos do setor de hortifrutigranjeiro pelo processo de compostagem doméstica. **Semioses: Inovação, Desenvolvimento e Sustentabilidade.** Rio de Janeiro, v.13. n. 2, 2019.

SANTOS F.T. *et al.* Nutrition and growth of potted gerbera according to mineral and organic fertilizer. **Ornamental Horticulture**, v. 21, n. 2, p. 251- 258, 2015.

SANTOS, F.T. **Chemical parameters and parsley quality according to the organic substrats associated to biochar.** 104 f. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Cascavel, 2016.

SANTOS, F.T. *et al.* Viabilidade da compostagem de glicerina bruta com resíduos agroindustriais: relação Carbono:Nitrogênio. *In: 10º Fórum Internacional de Resíduos Sólidos, João Pessoa, 2019, Anais [...]* João Pessoa, 2019.

SILVERSTEIN, R. M.; BASSLER, G.; MORRIL, T. C. **Identificação espectroscópica de compostos orgânicos.** Rio de Janeiro: Guanabara-Koogan, 1994. 387 p.

SMIDT, E.; MEISSL, K. The applicability of Fourier transform infrared (FT-IR) spectroscopy in waste management. **Waste Management**, v. 27, n. 2, p. 268-276, 2007.

STEVENSON, F. J. **Humus Chemistry: genesis, composition, reactions.** 2 ed. New York: John Wiley, 1994.

UBRABIO. 2019. União Brasileira de Biodiesel e Bioquerosene. Disponível em: <<https://ubrablo.com.br/>>. Acesso em: 20 abril 2019

VALENTE, B.S. *et al.* **Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos.** Pelotas-RS. 2009a.

VALENTE, B.S. *et al.* **Manual experimental: Compostagem de resíduos sólidos da avicultura de conte.** Pelotas: Ed. Universitária PREC/UFPEL, 2009b.

VEGA, M.R.G. Fundamentos da química orgânica. *In: CABELLAS, L.P.; SANTOS, G.A. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas.* Campos dos Gaoytacazes: L.P. Canellas, G.A. Santos, 309p. 2005.

VIEIRA, L.A. **Compostagem de biossólido de estação de tratamento de efluentes de frigorífico com serragem e cama de aves.** Dissertação (Mestrado em

Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2016.

VITAL, A. F *et al.* Compostagem de resíduos sólidos orgânicos e produção de biofertilizante enriquecido. **Revista Saúde e Ciência online**, v. 7, n. 2, p. 502, 2018.

WANG, Q. *et al.* Improvement of pig manure compost lignocellulose degradation, organic matter humification and compost quality with medical stone. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 771-777, 2017.

XAVIER, Ricardo *et al.* **Laboratório na Prática Clínica**, 3ª edição . ArtMed, 2016.