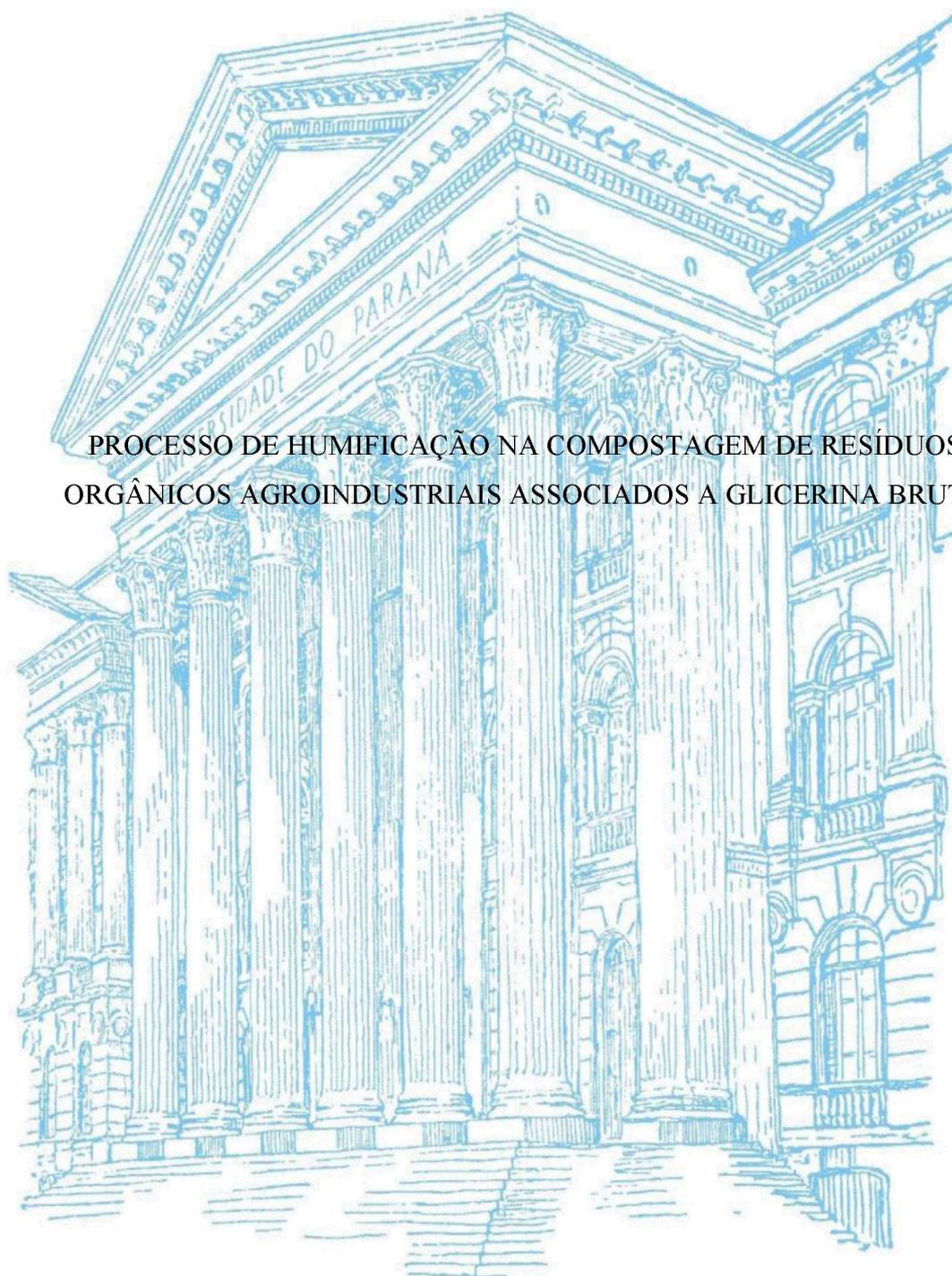


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLEITON MARGATTO ALOISIO



PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS ASSOCIADOS A GLICERINA BRUTA

PALOTINA

2018

CLEITON MARGATTO ALOISIO

PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO NA COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS  
ORGÂNICOS AGROINDUSTRIAIS ASSOCIADOS A GLICERINA BRUTA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais, no Curso de Pós-Graduação em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais, Setor de Palotina, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof. Dra. Eliane Hermes

Coorientadora: Dra. Francielly Torres dos Santos

PALOTINA

2018

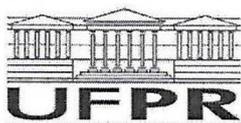
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A453 Aloisio, Cleiton Margatto  
Processo de humificação na compostagem de resíduos orgânicos agroindustriais associados a glicerina bruta. / Cleiton Margatto Aloisio. – Palotina, 2018.  
65f.

Orientadora: Eliane Hermes  
Coorientadora: Francielly Torres dos Santos  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais.

1. Ácidos carboxílicos. 2. Composto orgânico. 3. Fração húmica. I. Hermes, Eliane. II. Santos, Francielly Torres dos. III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDU 628.4



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
SETOR PALOTINA  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO TECNOLOGIAS DE  
BIOPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS - 40001016083P6

## TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em TECNOLOGIAS DE BIOPRODUTOS AGROINDUSTRIAIS da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **CLEITON MARGATTO ALOISIO** intitulada: **Processo de humificação na compostagem de resíduos orgânicos agroindustriais associados a glicerina bruta**, após terem inquirido o aluno e realizado 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, 20 de Dezembro de 2018.

ELIANE HERMES

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)

CARLA LIMBERGÉR LOPES

Avaliador Externo (IAPAR)

IVONETE ROSSI BAUTITZ

Avaliador Interno (UFPR)

## **AGRADECIMENTOS**

Á Deus, por sempre trazer esperança e fé no meu dia-a-dia.

Aos meus pais, Cleusa e Jair, e ao meu irmão, Rafael, por serem meu porto seguro e sempre me motivar a buscar o melhor.

Á minhas orientadoras Prof. Dra. Eliane e Dra. Francielly, por todo aprendizado, paciência e parceria durante esses dois anos.

Ao curso de Pós-Graduação em Tecnologias de Bioprodutos Agroindustriais por todo apoio recebido.

A Universidade Federal do Paraná, por mais uma vez, proporcionar um ensino de qualidade.

Aos colegas, Cleide, Sara e Gisele, que não mediram esforços ao ajudar durante o processo de compostagem.

## RESUMO

O agronegócio no Brasil é responsável em prover grande parte da economia do país, englobando diversos setores da cadeia produtiva, que geram produtos e subprodutos, em que as agroindústrias ganham destaque, principalmente na região oeste do estado do Paraná. Com o aumento no volume de produção de aves de corte, a geração de resíduos agroindustriais também é crescente, sendo visível desde o momento de engorda do animal em campo até o processo de abate e comercialização. A compostagem representa um destino viável para os resíduos orgânicos da agroindústria. O espaço ocupado pelas leiras, tempo de degradação dos resíduos e velocidade da produção de resíduos utilizados na compostagem, são apontados como fatores limitantes, assim como o balanço entre fontes de carbono e nitrogênio, são essenciais para um processo de compostagem eficiente. A utilização de glicerina bruta (resíduo obtido da cadeia de biodiesel) associada a materiais orgânicos, pode ser uma alternativa para melhorar a estabilização dos resíduos. Dessa forma, esta pesquisa teve como objetivo, avaliar os efeitos da adição de glicerina bruta em diferentes doses combinadas aos resíduos orgânicos provenientes da produção avícola com o auxílio de técnicas químicas para verificar o processo de estabilização do material orgânico da compostagem. Foram realizados cinco tratamentos com diferentes concentrações de glicerina bruta combinados a resíduos orgânicos (resíduo de incubatório, lodo de flotador, cama de frango, carvão remanescente de caldeira, poda de árvore e bagaço de cana). Para a substituição das leiras foram adaptadas composteiras em formato de caixote dividido em quatro partes (cada parte representando uma repetição do mesmo tratamento), a partir do aproveitamento de paletes. Inicialmente todos os resíduos foram caracterizados quanto a sua composição química, sendo posteriormente distribuídos em cada tratamento e o monitoramento do processo foi realizado por meio da avaliação dos parâmetros de temperatura, condutividade elétrica, relação C:N inicial e final e umidade. Os grupos funcionais presentes na fração húmica dos substratos foram determinados pelo espectrofotômetro com Infravermelho que opera com Transformada de Fourier (FTIR). A quantificação dos ácidos orgânicos voláteis acético, propiônico, butírico e do ácido fórmico foi realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em sistema Shimadzu®. No decorrer do processo de compostagem não se constatou diferença estatística quando comparados os resultados dos diferentes tratamentos com glicerina bruta. A estabilização do processo de compostagem foi obtida em 67 dias e foi observado a partir do índice de aromaticidade, a intensidade de grupos aromáticos, indicando a maturação do composto. A redução da presença de ácidos carboxílicos de cadeia curta indicou a estabilização do material orgânico. Todos os compostos orgânicos obtidos a partir da compostagem, apresentaram características físico-químicas nos padrões definidos pelo MAPA, obtendo dessa forma, um produto final de qualidade e adequado ao uso agrícola. A utilização da glicerina bruta associada ao carvão remanescente de caldeira e resíduos orgânicos da cadeia avícola no processo de compostagem demonstrou-se eficiente no tratamento alternativo para os resíduos propostos.

**Palavras-chave:** ácidos carboxílicos, composto orgânico, fração húmica.

## ABSTRACT

Agribusiness in Brazil is responsible for providing much of the country's economy, encompassing several sectors of the production chain that generate products and by-products, where agroindustries are prominent, especially in the western region of the state of Paraná. With the increase in the production volume of cutting birds, agro-industrial waste generation is also increasing, being visible from the moment of fattening of the animal in the field until the process of slaughter and commercialization. Composting represents a useful destination for the organic waste from the agroindustry. The space occupied by the litter, time of degradation of the residues and the speed of the production of residues used in composting, are indicated as limiting factors, as well as the balance between carbon and nitrogen sources, are essential for an efficient composting process. The use of crude glycerin (residue obtained from the biodiesel chain) associated with organic materials, can be an alternative to improve the stabilization of the residues. The objective of this research was to evaluate the effects of the addition of crude glycerin in different doses combined with organic residues from poultry production with the help of chemical techniques to verify the stabilization process of the organic material from the composting of waste. Five treatments with different concentrations of crude glycerin combined with organic residues (hatchery residue, float sludge, chicken litter, remaining boiler coal, tree pruning and sugarcane bagasse) were carried out. For the replacement of the tracks, composites in a crate format divided into four parts (each part representing a repetition of the same treatment), were adapted from the use of pallets. Initially all residues were characterized as to their chemical composition, being subsequently distributed in each treatment and the monitoring of the process was carried out through the evaluation of temperature, electrical conductivity, initial and final C: N ratio and humidity. The functional groups present in the humic fraction of the substrates were determined by the spectrophotometer with Infrared that operates with Fourier Transform (FTIR). The quantification of volatile organic acids acetic, propionic, butyric and formic acid were performed by high performance liquid chromatography (HPLC) in Shimadzu® system. During the composting process, no statistical difference was observed when compared the results of the different treatments with crude glycerin. The stabilization of the composting process was obtained in 67 days and the intensity of aromatic groups, indicating the maturation of the compound, was observed from the aromaticity index. The reduction of the presence of short chain carboxylic acids indicated the stabilization of the organic material. All the organic compounds obtained from the composting presented physico-chemical characteristics in the standards defined by the MAPA, obtaining in this way a final product of quality and suitable for agricultural use. The use of crude glycerin associated with charcoal remnants of boiler and organic residues of the poultry chain in the composting process proved to be efficient in the alternative treatment for the proposed residues.

**Keywords:** carboxylic acids, organic compost, humic fraction.

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - COMPOSTEIRA COM AS QUATRO REPETIÇÕES.....	28
FIGURA 2 - DISPOSIÇÃO DAS COMPOSTEIRAS NO PÁTIO DE COMPOSTAGEM....	29
FIGURA 3 - RESÍDUOS UTILIZADOS NA COMPOSTAGEM.....	30
FIGURA 4 - DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS NAS COMPOSTEIRAS.....	32
FIGURA 5 - TEMPERATURA AO LONGO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	38
FIGURA 6 - TEOR DE CARBONO NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	40
FIGURA 7 - TEOR DE NITROGÊNIO TOTAL KJEDAHN NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	41
FIGURA 8 - RELAÇÃO C:N NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	42
FIGURA 9 - CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM RELAÇÃO AO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	43
FIGURA 10 - ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMÁTICIDADE INÍCIO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS.....	46
FIGURA 11 - ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMÁTICIDADE INÍCIO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS.....	47
FIGURA 12 - ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMÁTICIDADE FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS.....	48
FIGURA 13 - ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMÁTICIDADE FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS.....	50
FIGURA 14 - pH NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	51
FIGURA 15 - ÁCIDO FÓRMICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	53
FIGURA 16 - ÁCIDO ACÉTICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	54
FIGURA 17 - ÁCIDO PROPÍONICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	54
FIGURA 18 - ÁCIDO BUTÍRICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	55

## LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - ESPECIFICAÇÕES DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS.....	26
TABELA 2 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS EM MASSA NATURAL DE CADA TRATAMENTO.....	30
TABELA 3 – TEOR DE NITROGÊNIO E CARBONO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	31
TABELA 4 - MASSA SECA DOS RESÍDUOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	35
TABELA 5 - VOLUME NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DOS TRATAMENTOS COM ADIÇÃO DE GB.....	37
TABELA 6 - ÍNDICE DE AROMATICIDADE (IA) DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS OBTIDOS NO INÍCIO E FIM DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM .....	45
TABELA 7 - pH DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS AO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	52

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	13
2.1 OBJETIVO GERAL.....	13
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS.....	14
3.1.1 Resíduo de incubatório.....	15
3.1.2 Lodo de flotador.....	15
3.1.3 Cama de frango.....	16
3.1.4 Carvão remanescente de caldeira.....	16
3.1.5 Poda de árvore.....	16
3.1.6 Bagaço de cana.....	17
3.2 CADEIA PRODUTIVA DE BIOCOMBUSTÍVEIS.....	17
3.2.1 Glicerina bruta.....	17
3.3 COMPOSTAGEM.....	18
3.3.1 Fatores que afetam a compostagem.....	19
3.3.1.1 Temperatura.....	19
3.3.1.2 pH.....	20
3.3.1.3 Microrganismos.....	20
3.3.1.4 Relação C:N.....	21
3.3.1.5 Umidade.....	22
3.3.1.6 Aeração.....	22

3.3.1.7 Tamanho das partículas.....	23
3.4 PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO.....	24
3.5 QUALIDADE E APLICAÇÃO DE ADUBOS ORGÂNICOS.....	24
3.6 PÁTIO DE COMPOSTAGEM.....	27
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL.....	28
4.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	28
4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS NA COMPOSTAGEM.....	29
4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	32
4.5 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	33
4.6 DELINEAMENTO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM.....	34
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>35</b>
5.1 OTIMIZAÇÃO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM.....	35
5.1.1 Redução de massa e volume.....	35
5.2 PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	37
5.2.1 Temperatura.....	37
5.2.2 Relação C:N.....	39
5.2.3 Condutividade elétrica.....	43
5.3 HUMIFICAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	44
5.3.1 Avaliação dos Grupos Funcionais.....	44
5.3.2 Ácidos carboxílicos.....	51
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>57</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O agronegócio no Brasil é responsável em prover grande parte da economia do país, englobando diversos setores da cadeia produtiva, que geram produtos e subprodutos. Somente no ano de 2018, o PIB agroindustrial foi responsável em movimentar 21,2% da economia do Brasil (AROCA et al., 2018). Neste sentido, as agroindústrias ganham destaque, principalmente na região oeste do estado do Paraná onde estão instalados frigoríficos abatedouros de gados, suínos, peixes e aves, além de toda a cadeia produtiva de grãos. A produção de frangos de corte representa cerca de 75% de todo o produto exportado no estado e 30% da balança econômica comercial do país (ABPA, 2017), além da geração de empregos.

Com o aumento no consumo, na quantidade de produto exportado e conseqüentemente no volume de abate, a geração de resíduos agroindustriais também é crescente, sendo visível desde o momento de engorda do animal em campo até o processo de abate. Os resíduos gerados pelas agroindústrias podem ser classificados em líquidos, semissólidos e sólidos e são produzidos em grandes quantidades e em alguns casos são tratados pela indústria que o gerou (COSTA et al., 2005).

A compostagem representa um destino útil para os resíduos sólidos orgânicos da agroindústria (MMA, 2008). É um processo biológico aeróbio que estabiliza o material orgânico a partir da ação de microrganismos e o transforma em um composto rico em nutrientes, com odor característico e com propriedades físico-químicas que permite o seu uso na agricultura (MMA, 2008).

O espaço ocupado pelas leiras da compostagem, o tempo de degradação dos resíduos e a velocidade da produção de resíduos utilizados na compostagem são fatores limitantes para a indústria. Além disso, fatores como o balanço entre fontes de carbono e nitrogênio, o tamanho das partículas, as características dos materiais a serem utilizados, bem como temperatura, umidade e aeração são essenciais para um processo de compostagem eficiente (KIEHL, 2010).

A glicerina bruta é o resíduo obtido da produção de biodiesel, combustível alternativo proveniente de óleos e gorduras animal ou vegetal. Quando associados a materiais orgânicos, pode ser uma alternativa para melhorar a estabilização dos resíduos e a qualidade final do composto orgânico, tratando os resíduos com baixos custos de manutenção e de forma benéfica para o meio ambiente.

A produção de um composto final de qualidade de acordo com os padrões indicados pela Instrução Normativa 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, depende principalmente do conhecimento acerca das características dos resíduos utilizados, do

acompanhamento das etapas do processo e da estabilização do composto. Com isso, se faz necessário a busca por técnicas de aprimoramento do processo de compostagem e humificação da matéria orgânica, agregando maior valor comercial ao produto final (CUNHA, et al. 2009).

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier (FTIR) com acessório de refletância total atenuada (ATR) pode ser usada para a caracterização do processo de estabilização da matéria orgânica, que permite inferir quais os grupos funcionais estão presentes no material, bem como interpretar qual a composição química dos compostos orgânicos. Ainda, a determinação de ácidos carboxílicos pode inferir quanto ao decorrer do processo de acidificação e neutralização na humificação dos materiais orgânicos (SANTOS et al., 2015).

Diante do exposto, torna-se de suma importância acompanhar o processo de compostagem com técnicas da química fina, bem como o monitoramento do processo que permite inferir de forma direta sobre o estado de humificação dos compostos orgânicos, ao longo e ao final do processo de estabilização.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar os efeitos da adição de glicerina bruta em diferentes doses combinadas aos resíduos orgânicos provenientes da produção avícola com o auxílio de técnicas químicas para verificar o processo de estabilização do material orgânico.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a otimização do pátio de compostagem (redução de massa e volume do material orgânico);
- Avaliar os parâmetros de controle e monitoramento (temperatura, pH, condutividade elétrica, carbono, nitrogênio e relação C:N) na compostagem;
- Avaliar os grupos funcionais presentes no material orgânico no início e final do processo de compostagem;
- Acompanhar o processo de estabilização da compostagem com as análises de ácidos carboxílicos.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS AGROINDUSTRIAIS

A agroindústria tem participação de 5,9% no Produto Interno Bruto (PIB) brasileiro na transformação, no beneficiamento e processo de matéria-prima do setor agropecuário (EMBRAPA, 2015).

De acordo com a Embrapa, em 2017, foram produzidas cerca de 13,1 milhões de toneladas de carne de frango no Brasil, sendo que o país ocupa o segundo lugar no ranking mundial em termos de volume de produção e o primeiro lugar mundial em produtos exportados, com cerca de 4,32 milhões de toneladas enviadas para países como a China, Europa, México, Chile, Japão e Oriente Médio. O estado do Paraná, ganha destaque na produção e exportação de carne de frango, sendo que a região oeste apresenta o maior número de abatedouros do estado, com exportação de 1,4 milhões de toneladas de carne de frango em 2017, segundo o Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná (SINDIAVIPAR). No acumulado de janeiro a outubro de 2018, o SINDIAVIPAR aponta 34,34% de toda a produção do país, sendo o estado com maior número de abate de aves.

Arelado ao crescimento econômico do país, as agroindústrias geram grandes quantidades de resíduos (PEDROSA et al., 2013). Um frigorífico de aves que abate em média 500 mil aves por dia, por exemplo, podem gerar cerca de 350 toneladas de resíduos por dia. Mesmo apresentando grande potencial poluidor, os resíduos gerados não podem ser considerados lixo devido ao valor comercial agregado, podendo ser aproveitados e tratados dentro da agroindústria (BRASIL, 2010). Por apresentarem características orgânicas, os resíduos agroindustriais são gerados em grandes quantidades e se gerenciados de maneira incorreta, acarretam em acumulação, contribuindo para a poluição ambiental (LEAL et al., 2013). Este tipo de resíduo sólido apresenta características biodegradáveis e, portanto, podendo ser tratados aplicando técnicas de reciclagem e valorização por meio de tecnologias economicamente viáveis (LEAL et al., 2013) como o processo de compostagem (COSTA et al., 2009).

A Lei 12.305/10 relacionada a Política Nacional de Resíduos Sólidos, destaca que os responsáveis pela geração de resíduos sólidos devem prever obrigatoriamente uma gestão para o gerenciamento, seguindo a ordem de: não geração, redução, reutilização, reciclagem, tratamento dos resíduos sólidos e disposição final adequada para cada tipo de rejeito.

Por processarem diferentes produtos de origem animal ou vegetal, as agroindústrias geram os mais variados tipos de resíduos em todo o processo de produção. O setor de produção avícola, especialmente a cadeia produtiva de frango de corte, contribui significativamente na geração de resíduos desde a fase que antecede a engorda, por exemplo, o resíduo de incubatório e cama de aviário, até a fase de industrialização da carne, como vísceras, penas, o lodo de flotador obtido a partir do tratamento da água utilizada nas fábricas e o carvão de caldeira utilizado na geração de vapor (COSTA et al., 2009).

Oro et al. (2015) afirmaram que a gestão de resíduos deve estar atrelada às empresas de produção avícola, desenvolvendo suas atividades em harmonia com o meio ambiente, sendo que depende integralmente deste para alcançar as metas de produção e manter clientes e mercados satisfeitos com as atitudes ambientalmente corretas.

Além das normas estabelecidas pela ISO 14031:2015 que estabelecem um conjunto de indicadores que medem a qualidade ambiental a partir das medidas adotadas pela empresa (FERNANDES, 2004), o setor de produção de carne integra o Protocolo de Boas Práticas de Fabricação (2008) para garantir a qualidade desejada. O protocolo traz uma seção dedicada à gestão de resíduos que contribui com a proteção das fontes de água e o manejo adequado dos resíduos.

### 3.1.1 Resíduo de incubatório

O incubatório é a unidade produtiva responsável por incubar os ovos, ou seja, onde ocorre o desenvolvimento embrionário dos ovos férteis (NUNES et al., 2005). Os resíduos provenientes da incubação são caracterizados pela presença de cascas de ovos, ovos não eclodidos, ovos inférteis, pintainhos mortos ou com má formação, além disso, apresenta cerca de 22.300 mg/Kg de Ca em sua composição (AIRES et al., 2011).

A dificuldade no processamento e armazenagem desse resíduo, é um dos grandes problemas para a indústria avícola, devido o material apresentar alto teor de umidade e facilidade para se decompor, que o caracteriza como um excelente substrato para o desenvolvimento de patógenos (ARAÚJO; ALBINO, 2011)

### 3.1.2 Lodo de flotador

O processo de flotação é muito utilizado para tratamento primário de efluentes de abatedouros avícolas que apresentam carga elevada de óleos e graxas suspensos (LEHMANN

et al., 2009). Durante o tratamento do efluente, é adicionado um agente coagulante, de origem orgânica ou inorgânica, como polímero catiônico ou aniônico, que facilita a remoção dos contaminantes (GORDIN et al., 2013).

Ao final do tratamento físico-químico (coagulação e flotação), uma grande quantidade de biomassa (lodo) é gerada, podendo apresentar em sua composição Ca, Fe e P. Este é destinado a aterros, ou após tratamento térmico seguido de centrifugação para extração de água e óleos, pode passar por compostagem e ser utilizado como composto orgânico na agricultura (RODRIGUES et al., 2013).

### 3.1.3 Cama de frango

Para evitar o contato direto das aves com o piso, é utilizado a cama de frango, substrato caracterizado principalmente pela maravalha. Esse material, não deve conter qualquer tipo de produto químico na sua composição, como resíduos provenientes de indústrias de madeira que realizam tratamento químico ou palhada de culturas com elevadas concentrações de agrotóxicos. Não devem apresentar umidade ou qualquer tipo de fungo e apresentar boa capacidade de absorção (AVILA et al., 2007).

A cama de frango, é distribuída sobre o piso nos aviários em camadas de 5 a 15 cm, e tem por objetivo, acomodar as aves, absorver água, incorporar as fezes, penas e descamações da pele, além de restos de alimento, e manter a temperatura dentro do aviário (MENDES et al., 2004; AVIALA et al., 2007). Esse resíduo é rico em Ca, K e Mg, e pode ser utilizado como adubo orgânico fazendo a reciclagem de nutrientes presentes no solo (KELLEHER et al., 2002).

### 3.1.4 Carvão remanescente de caldeira

O carvão é um resíduo obtido a partir da queima incompleta da lenha e do cavaco utilizados nas caldeiras das agroindústrias na geração de vapor. O teor de carbono e nitrogênio é baixo, porém a relação C:N é em torno de 16, sendo facilmente incorporado no processo de compostagem (TONETO, SAIANI e DOURADO, 2014).

### 3.1.5 Poda de árvore

Esse resíduo é gerado a partir das podas de árvores realizadas na área urbana e é composto por folhas e galhos de árvores triturados. Possui grande quantidade de carbono de

rápida degradação pelos microrganismos (folhas), e também carbono recalcitrante de degradação mais lenta (galhos). Durante a compostagem, contribui para a aeração e o controle da granulometria da massa a ser degradada (COSTA et al., 2017).

### 3.1.6 Bagaço de cana

O bagaço é a parte sólida da fibra da cana-de-açúcar e é resultado do esmagamento para a obtenção do caldo para consumo ou conversão em etanol. Este resíduo é rico em C, e é muito aproveitado na geração de energia a partir da queima em usinas, alimento para animais através da silagem e adubo orgânico (MAGALHÃES et al., 2006).

## 3.2 CADEIA PRODUTIVA DE BIOCOMBUSTÍVEIS

Outro setor que contribui significativamente na geração de resíduos é a geração de biocombustíveis. Com a crescente demanda mundial por uso de “combustíveis verdes”, a Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) apontou que em 2017 a produção nacional de Biodiesel foi de 4,29 bilhões de litros, e conseqüentemente, foi gerado, cerca de 429 milhões de litros de glicerina, já que esta compõe cerca de 10% de todo volume de biodiesel produzido (FAVA, 2015). Essa glicerina, é caracterizada por conter substâncias que dificultam o uso para fins comerciais, havendo a necessidade de purificação ou descarte (VENDRUSCULO et al., 2013).

### 3.2.1 Glicerina bruta

A glicerina (propano-1,2,3-triol), é um líquido viscoso, incolor, inodoro e higroscópico, caracterizado por apresentar um triálcool (MOTA, SILVA, GONÇALVES, 2009). Para viabilizar o uso da glicerina para fins comerciais é necessário realizar a purificação, porém, este é um processo difícil e de alto valor de investimento (MENDES e SERRA, 2012).

A partir da purificação, é possível utilizar a glicerina na produção de cosméticos, na indústria farmacêutica, em cápsulas de medicamentos e pomadas, na composição de tintas, vernizes e detergentes, além de poder ser utilizada na área alimentícia, para conservar bebidas e alimentos, como refrigerantes, balas, bolos, carnes e rações, além de embalagens. Na indústria do tabaco, a glicerina é adicionada as fibras do fumo, tornando-as mais resistentes e evitando o

ressecamento das folhas, da mesma forma que é usada para aumentar a flexibilidade de fibras têxteis (APOLINÁRIO, F. D. B.; PERREIRA, G. F.; FERREIRA, J. P. 2012).

A mistura de resíduos orgânicos agroindustriais com a glicerina bruta na compostagem, indica bons resultados, contribuindo na estabilização dos resíduos e acelerando o tempo de compostagem, além de agregar valor ao subproduto a partir da conversão em fertilizantes orgânicos (NASIRU, ISMAIL, IBRAHIM 2013).

### 3.3 COMPOSTAGEM

A compostagem pode ser definida como um processo de decomposição aeróbia da matéria orgânica através da ação de microrganismos específicos tendo como produto final, o composto orgânico (KIEHL, 2002). O termo compostagem está associado ao tratamento dos resíduos orgânicos de origem urbana, industrial, agrícola e florestal (PEREIRA e NETO, 1987).

No ambiente, o processo de compostagem ocorre naturalmente, sendo referida como a degradação da matéria orgânica. Dessa forma, o conceito de compostagem diz respeito a esta decomposição, porém está associada à manipulação do material pelo homem, que através da observação do que acontecia na natureza, desenvolveu técnicas para acelerar a decomposição e produzir compostos orgânicos que atendessem rapidamente as suas necessidades (OLIVEIRA et al., 2008).

Esse processo acontece em duas fases: a fase termofílica onde ocorrem intensas reações bioquímicas que degradam o material, e a fase de maturação, caracterizada pela humificação e mineralização do material (ORRICO et al., 2007). Por ser um tipo de tratamento com mecanismo biológico, a compostagem necessita que algumas características como temperatura, umidade, aeração, pH, tipo de compostos orgânicos, relação carbono/nitrogênio (C:N), granulometria do material e dimensões das leiras sejam atendidas para que o processo de decomposição seja eficiente (VALENTE et al., 2009). Com isso, o produto final resultante pode ser utilizado como fertilizante para o melhoramento de solos e desenvolvimento de plantas na agricultura ou em áreas degradadas (MILLER, 2009).

Diversos benefícios ao solo são atribuídos pelo processo de compostagem, como o fornecimento de matéria orgânica e ciclagem de nutrientes que beneficiam as características química, física, e biológica do solo (PRIMAVESI, 1979; RAIJ, 1998; KIEHL, 1998; CASADO-VELA et al., 2006; ABREU JUNIOR et al., 2010); geração reduzida de quantidades de metano quando comparado à disposição em aterro sanitário (BARTON et al., 2008); tecnologia de menor custo para a agroindústria reduzindo a distribuição dos resíduos em aterro

sanitário (ALVES, 2005); estimula a sustentabilidade (ODUM, 1983); geração de um nicho econômico que conseqüentemente, gera oportunidade de trabalho e renda para as atividades de coleta do resíduo orgânico, transporte, processo de compostagem (suporte operacional e técnico) e comercialização do composto (PIRES e FERRÃO, 2017).

A compostagem, representa uma excelente alternativa para reciclar os resíduos agroindustriais. Como resultado, é obtido um composto final com características que podem agregar valor ambiental e econômico ao processo, reduzindo impactos ambientais resultante da sua má disposição, contribuindo na geração de empregos e inserindo compostos orgânicos no comércio de fertilizantes (PEIXOTO, 1998; BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009; MORALES et al., 2016).

### 3.3.1 Fatores que afetam a compostagem

#### 3.3.1.1 Temperatura

A temperatura é considerada uma das principais variáveis utilizadas como indicador da degradação dos resíduos presentes no processo, é resultado do metabolismo dos microrganismos nas leiras de compostagem (KIEHL, 2010; XIU-LAN et al., 2016).

Duas fases de temperatura diferentes podem ser encontradas durante o processo de compostagem, a fase termofílica, que apresenta a predominância de temperaturas entre 40 e 65 °C, ocorrendo a degradação do material orgânico como celulose, lignina e proteína, de forma mais intensa; e a fase mesofílica, que apresenta temperaturas abaixo de 40 °C e os microrganismos concentram-se na degradação de açúcares, celulose e hemicelulose remanescentes (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009; MATOS, 2014).

Nos primeiros dias do processo de compostagem, as leiras apresentam temperaturas superiores a 40 °C, fator decorrente da ação metabólica dos microrganismos (GAVILANES-TERÁN et al., 2016; MORALES et al., 2016). Elevadas temperaturas são desejáveis, por proporcionarem a eliminação de microrganismos patogênicos e auxiliar na degradação rápida do material orgânico (HECK et al., 2013; CHEN et al., 2014).

A compostagem deve apresentar temperaturas superiores a 55 °C nas primeiras duas semanas, para assegurar a eliminação de patógenos. Porém, temperaturas elevadas (acima de 65 °C), podem contribuir para perdas de nitrogênio, por meio de volatilização da amônia apresentando como consequência odores desagradáveis (PEREIRA NETO, 2007). Huang et al. (2004), afirmam que temperaturas acima de 71 °C, podem inibir o metabolismo de

microrganismos termofílicos, afetando negativamente o processo de degradação dos resíduos presentes.

### 3.3.1.2 pH

O pH do composto pode ser apontado como indicativo do estado de degradação dos resíduos durante o processo de compostagem. Nos primeiros dias de compostagem, o pH decresce apresentando valores de aproximadamente 5 devido a ação intensa de bactérias e fungos, e posteriormente, aumenta gradualmente com a evolução do processo e estabilização do composto, alcançando valores entre 7 e 8 ao final da compostagem (JIMENEZ e GARCIA, 2003).

Valores baixos de pH, podem indicar falta de maturação do composto orgânico, devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha em compostagem. Os ácidos orgânicos liberados pelos fungos e bactérias ao digerirem a matéria orgânica, se acumulam e acidificam o meio, o que favorece o crescimento de novas colônias de fungos e a decomposição da celulose e da lignina. Os ácidos posteriormente são decompostos pelos microrganismos até serem completamente oxidados (OLIVEIRA, 2008). Os microrganismos que atuam na compostagem, possuem faixa ótima de desenvolvimento, pH entre 6,5 a 8,0 (PEIXOTO, 1998).

O pH é um fator dependente da aeração. A escassez de oxigênio, poderá reduzir o pH em valores inferiores a 4,5, limitando a atividade microbiana e conseqüentemente, retardando o processo de compostagem. A recuperação do pH dependerá do revolvimento das leiras (CASSOL et al., 1994).

### 3.3.1.3 Microrganismos

A transformação da matéria orgânica durante o processo de compostagem é resultante da ação combinada da macro e mesofauna (minhocas, formigas, besouros e ácaros) e de diferentes comunidades de microrganismos (incluindo bactérias e fungos) que se desenvolvem nas diferentes fases da decomposição dos resíduos (OLIVEIRA, 2008). No processo de compostagem a energia produzida pelos microrganismos promove um incremento na temperatura, predominando os microrganismos termofílicos responsáveis pela decomposição acelerada da matéria orgânica. Dessa forma, promovem a eliminação dos microrganismos patogênicos para os humanos ou plantas no composto final. Porém, é necessário controle e

acompanhamento da temperatura, umidade e aeração (fatores interdependentes), mantendo em níveis desejados, para evitar a eliminação dos microrganismos essenciais para a decomposição (MILLEER, 2009).

Inicialmente, no processo de compostagem, atuam microrganismos que metabolizam o nitrogênio orgânico transformando-o em nitrogênio amoniacal, e no decorrer da decomposição, a amônia é perdida por volatilização ou convertida à forma de nitratos, pela nitrificação, fenômeno que é acidificante e contribui para que o composto maturado seja mais ácido do que o material original (OLIVEIRA, 2008). O processo termina quando a temperatura do composto está próxima ao ambiente, dessa forma, protozoários, nematoides, formigas, miriápodes e insetos podem ser encontrados no composto (KIEHL, 2010).

#### 3.3.1.4 Relação C:N

Durante o processo de compostagem, diversos fatores devem ser controlados e acompanhados, para que o composto final, apresente boa qualidade e estabilidade. Alguns estudos combinando diferentes resíduos da agroindústria, apontam que a relação C:N é fundamental para a eficiência do processo, resultando em um composto de qualidade. Sasaki et al. (2013) evidenciaram que o ajuste da relação C:N é essencial para que não ocorram limitações nas taxas de degradação do material orgânico.

Da mesma forma, as vantagens do ajuste da relação C:N foram mencionados por Augusto (2007), que ao testar a inclusão de fontes carbonáceas a diferentes resíduos provenientes da agroindústria, verificou maiores alcances de temperatura e reduções de massa quando associou ao processo de compostagem a serragem e o bagaço de cana. Devido os microrganismos utilizarem o carbono como fonte de energia e o nitrogênio para reprodução celular, o balanço de C:N influencia diretamente na degradação dos resíduos (BERNAL et al., 2009; CERDA et al., 2017).

Os resíduos provenientes de frigoríficos, utilizados como fonte de nitrogênio, apresentam características de degradação mais rápidas quando comparado aos resíduos ricos em carbono (FAVA, 2016). Dessa forma, a inclusão da glicerina bruta à compostagem de resíduos da agroindústria apresenta-se como uma alternativa interessante para o ajuste dos nutrientes necessários que compõem o meio em digestão. Com isso, permite melhor sincronia da velocidade de degradação entre os resíduos, tendo como resultado, reduções dos constituintes orgânicos e melhor qualidade do fertilizante orgânico produzido (Baeta-Hall et al., 2005).

A perda significativa de nitrogênio é um dos principais problemas do processo de compostagem. O nitrogênio contido nos resíduos é prontamente convertido em amônia pelos microrganismos, e esta por sua vez, é convertida em nitrito e nitrato e posteriormente convertido em óxido nitroso ( $N_2O$ ) reduzindo o teor de nitrogênio no produto final (XIE et al., 2012).

A ação de bactérias anaeróbias facultativas que na ausência de fontes de carbono utilizam os óxidos de nitrogênio como aceptores de elétrons, são responsáveis pela perda de nitrogênio e como resultado produzem  $N_2O$  e  $N_2$  (MILLER, 2009).

A eficiência do processo de compostagem é alcançada desde que haja compatibilidade no consumo das formas disponíveis de carbono e nitrogênio. Pereira Neto (1996), Fiore et al., (2008) e Kiehl (2010) apontaram que a relação ideal no início da compostagem é de trinta partes de C para uma parte de N (30:1), permitindo maior degradação do material orgânico. A tendência é que a relação C:N diminua até a estabilização do material orgânico (LAZCANO; GÓMEZ-BRANDÓN; DOMÍNGUEZ, 2008). A Instrução Normativa nº 23 de 31 de agosto de 2005 da Secretaria de Apoio Rural e Cooperativismo do Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento indica que o composto final deve apresentar relação C:N inferior a 18:1.

#### 3.3.1.5 Umidade

A umidade nos resíduos é imprescindível para as necessidades fisiológicas dos microrganismos (ONWOSI et al., 2017), e tem influencia diretamente para que a degradação do material aconteça (KIEHL, 2010), garantindo a atividade microbiológica. Segundo Oliveira (2008), a estrutura dos microrganismos consiste de aproximadamente 90% de água e, para que ocorra a produção de novas células, a água é obtida do meio (dos resíduos da compostagem), sendo que a faixa ideal de umidade deve estar entre 40 e 60% (PEREIRA NETO, 2007 e KIEHL, 2010). Acima de 60% podem ocasionar anaerobiose, gerando mau cheiro e atraindo vetores, proporcionando também a lixiviação de nutrientes (CARNEIRO et al., 2013) e abaixo de 40% também são prejudiciais, pois podem reduzir o metabolismo dos microrganismos (KIEHL, 2010).

#### 3.3.1.6 Aeração

Para que ocorra a produção de energia necessária aos microrganismos que realizam a degradação dos resíduos, o oxigênio é de grande importância para a oxidação biológica do

carbono dos resíduos orgânicos. Grande parte dessa energia é utilizada no metabolismo dos microrganismos e o restante é liberado na forma de calor (KIEHL, 2010).

Pereira Neto (2007) destaca que a decomposição da matéria orgânica pode ocorrer por dois processos: na presença de oxigênio (aeróbio) com predomínio de fungos e bactérias; e na ausência de oxigênio (anaeróbio) apresentando mau cheiro, devido a não liberação completa do nitrogênio amino como amônia, com isso, há a formação de aminas incompletas, as quais devem ser oxidadas para perder o mau cheiro.

A presença de oxigênio nas leiras auxilia no controle da temperatura dos resíduos e evita formação de zonas de anaerobiose, reduzindo a proliferação de moscas e mau cheiro (PEREIRA NETO, 2007), além de afetar a qualidade do composto final (CERDA et al., 2017). A aeração pode ser manual ou mecânica, realizada por máquinas próprias para insuflar ar (PAIVA et al., 2012). Kiehl (2010), afirma que o revolvimento não serve apenas para fornecer oxigênio, mas auxilia também na liberação do excesso de gás carbônico. No entanto, a aeração em excesso pode ocasionar maior liberação de calor produzido pelos microrganismos, podendo acarretar na redução intensa da temperatura (VALENTE et al., 2009).

### 3.3.1.7 Tamanho das partículas

A granulometria (tamanho das partículas) dos resíduos a serem utilizados no processo de compostagem, influencia diretamente na aeração e no desenvolvimento de microrganismos nas leiras (CERDA et al., 2017; ONWOSI et al., 2017). Dessa forma, é orientado que as partículas não sejam muito pequenas para evitar a compactação dos resíduos durante o processo de compostagem, comprometendo a aeração. Porém, Oliveira (2008) afirmou que quando são utilizadas partículas grandes, estas retardam a decomposição por reterem pouca umidade e apresentarem menor superfície de contato com os microrganismos.

Kiehl (2010) apontou que as partículas devem apresentar entre 2,5 e 7,5 cm. Pereira Neto (1996) e Binode (2001), indicaram de 1 a 5 cm. Looper (2002) e Muktar et al. (2004) recomendaram de 2,5 a 5 cm de diâmetro. De maneira geral, o tamanho ideal da partícula é aquele em que não ocorra compactação do material compostado e que permita a ação dos microrganismos de forma rápida (SUSZEK et al., 2007).

### 3.4 PROCESSO DE HUMIFICAÇÃO DO MATERIAL ORGÂNICO

Durante o processo de maturação dos resíduos, a matéria orgânica é humificada e ocorre intensa produção de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos, ocasionando aumento da capacidade de troca de cátions devido à oxidação da matéria orgânica (BUTLER et al., 2001; BERNAL; ALBURQUERQUE; MORAL, 2009). Os compostos orgânicos resultantes da compostagem, são formados por diferentes grupos funcionais (ALBURQUERQUE e MORAL, 2009), sendo os principais, os aromáticos, carboxílicos, fenólicos e carbonilas (VEGA, 2005).

Os grupos funcionais, são funções importantes presentes nas substâncias húmicas, pois determinam propriedades de suas atividades junto a íons metálicos e minerais de solos, sedimentos, e teor de umidade. A dissociação dos grupos funcionais ácidos origina cargas negativas nas substâncias húmicas e reflete na capacidade de troca catiônica (ALLEN et al., 2001). Durante o processo de humificação, são produzidos diferentes grupos funcionais aumentando o grau de oxidação da matéria orgânica e elevando a capacidade de troca catiônica. Com isso, os grupos funcionais, têm sido usados para avaliar a maturidade do composto orgânico (BERNAL et al., 1998).

A análise dos grupos funcionais permite avaliar e determinar a estrutura das atividades das substâncias húmicas que são modificadas em função de diferentes fatores (CANELLAS et al., 2005). Dessa forma, o tempo de compostagem, as características dos materiais a serem compostados, o grau de humificação e o teor de carbono presente nos materiais, assim como, a matéria orgânica total podem variar de um substrato para outro, influenciando na estrutura das substâncias húmicas (WU; MA, 2002). A diversidade de grupos funcionais e a flexibilidade estrutural que compõem as substâncias húmicas, indicam a reatividade e o seu comportamento em faixas de reações (CANELLAS et al., 2005). Os ácidos carboxílicos de cadeia curta, são descritos na literatura como fitotóxicos (DOMFIZEL et al, 1996) e suas concentrações podem variar de acordo com o tipo de material utilizado na compostagem (AQUINO e SATIAGO-SILVA, 2006). De maneira geral, os ácidos acético, propiônico, fórmico e butírico são encontrados com maior frequência nas primeiras semanas da compostagem.

### 3.5 QUALIDADE E APLICAÇÃO DE ADUBOS ORGÂNICOS

A estabilização da temperatura do composto, sendo próxima à temperatura ambiente é um indicativo do equilíbrio microbiológico na técnica de compostagem. No entanto, a temperatura não deve ser utilizada como parâmetro único na verificação de maturidade do

composto. A avaliação da maturidade e conseqüentemente da qualidade dos compostos orgânicos depende da associação de alguns parâmetros (VALENTE et al., 2009). Para a confirmação da fase de maturação da compostagem, Malheiros (1996) propôs o acompanhamento de parâmetros como pH, a ausência de nitrogênio amoniacal e a alta concentração de nitrato.

Kiehl (2004) afirmou que a relação C:N constitui um dos parâmetros para a verificação de maturidade. Barton et al. (2008) destacaram que a qualidade do produto final é totalmente dependente do tipo de material que compõe cada resíduo de origem e dessa forma, resíduos agroindustriais contaminados podem produzir um composto final com teores de metais pesados elevado.

O manejo inadequado durante o processo de compostagem pode gerar sítios de anaerobiose, que, devido a sua população microbiológica, pode produzir emissão de metano, odor e conseqüentemente acarretar em poluição atmosférica (THOMPSON et al., 2004). Além disso, o manejo incorreto do composto pode acarretar em salinização, contaminação do lençol freático por lixiviação do nitrato e redução da condutividade hidráulica do solo (PEREIRA e NETO, 2007).

Porém, Pires e Ferrão (2007), afirmam que a compostagem é atrativa, pois as desvantagens associadas, podem ser corrigidas e sanadas por meio de segregação, acondicionamento e manejo correto dos resíduos através do acompanhamento durante o processo de compostagem. O composto final então, poderá representar a fonte de dois importantes componentes, os nutrientes minerais (como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre), que são absorvidos em maior quantidade pelas raízes das plantas; e o material humificado que poderá ser utilizado como condicionador e melhorador das propriedades físicas e físico-químicas do solo (KIEHL, 2004; SARTORI et al., 2011).

A qualidade do fertilizante orgânico dependerá da fase de maturação. O uso de um composto não apropriadamente maturado poderá ocasionar uma poluição difusa quando aplicado a plantios, ocorrendo dessa forma, a liberação de amônia no solo, a qual pode danificar as raízes das culturas, e a produção de toxinas que inibem a germinação de sementes e o crescimento das plantas (PEREIRA NETO, 2007).

A qualidade pode variar de acordo com os resíduos orgânicos e os processos empregados, o composto orgânico resultante da compostagem deve ser regulamentado por lei específica do país (VALENTE et al., 2009). Com isso, no Brasil, o Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) em parceria com a Secretária de Defesa Agropecuária (SDA), criou a Instrução Normativa SDA nº 25, de 23 de julho de 2009 (TABELA 1).

TABELA 1. ESPECIFICAÇÕES DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS

Garantia	Misto/Composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D.
Unidade Máxima (%)	50	50	50	50	50
N total mínimo (%)			0,5		
COT mínimo (%)		15			10
CTC (cmol kg <sup>-1</sup> )			Conforme declarado		
pH mínimo	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C:N máxima		20			14
Relação CTC:C			Conforme declarado		
Outros nutrientes			Conforme declarado		

A Instrução Normativa Nº 25/2009 aprova as normas sobre as especificações, as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes que podem ser utilizados na agricultura. O Capítulo II discorre sobre a classificação de acordo com a matéria-prima utilizada:

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

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

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

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

### 3.6 PÁTIO DE COMPOSTAGEM

A Lei 12.305, de 2 de agosto de 2010 que instituiu a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS (BRASIL, 2010), afirma que as agroindústrias são responsáveis pelos resíduos que produzem, sendo obrigadas a dar a melhor destinação a eles. Muitas indústrias enviam os seus resíduos gerados para as usinas de compostagem, porém, a grande dificuldade é que a quantidade de resíduos produzidos diariamente é muito superior à capacidade das usinas. Dessa forma, as usinas buscam a melhora do processo de compostagem para garantir um menor tempo de ocupação dos pátios (CARNEIRO et al., 2013).

O volume, a massa e o tempo de decomposição, são fatores interdependentes e que interferem no dimensionamento dos pátios de compostagem, ou seja, determinam o espaço ocupado pelas leiras de estabilização dos resíduos nesse processo (JURADO et al., 2014). A redução desses parâmetros (massa e volume) acontece a partir da degradação da matéria orgânica ao longo do processo de compostagem (BERNAL et al., 2009). Petric et al. (2009), afirmaram que durante o processo de compostagem a matéria orgânica é convertida em dióxido de carbono, água, amônia e biomassa microbiana, contribuindo com a redução de massa e volume das leiras. Com isso, o tempo de compostagem é variável em função das características da mistura a ser compostada, principalmente da relação C:N no início do processo (KIEHL, 2010), sendo o monitoramento da temperatura o parâmetro mais utilizado para indicar a finalização deste (MATOS et al., 2014).

## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL

O experimento foi conduzido na Universidade Federal do Paraná (UFPR-Setor Palotina), que possui as seguintes coordenadas 24° 17' latitude sul e 53° 50' longitude oeste, com altitude média de 320 metros. A temperatura média do município é de 28 °C e a umidade relativa do ar média é de 78% (IAPAR, 2018). A realização do processo de compostagem foi conduzida em pátio coberto sem piso, mas com impermeabilização do solo com lona plástica (polietileno) para evitar contaminação com lixiviados do processo de decomposição dos resíduos.

### 4.2 INSTALAÇÃO DO EXPERIMENTO

O processo de compostagem foi conduzido dentro de recipientes construídos com paletes, denominados de composteiras e projetadas de forma que um palete servisse de base com quatro paletes de paredes. Cada composteira foi repartida com quatro divisões de modo que cada divisão fosse uma repetição (célula de compostagem) (FIGURA 1), todas as repetições foram revestidas com sombrite® (tela de polietileno) para evitar a mistura dos resíduos dentro da composteira e proteção para que não caíssem fora pelos espaçamentos das madeiras dos paletes.

FIGURA 1. COMPOSTEIRA COM OS QUATRO COMPARTIMENTOS



Fonte: O autor (2018).

A distribuição dos diferentes tratamentos foi conduzida aleatoriamente nas composteiras, que apresentavam um tipo de tratamento (combinação dos resíduos orgânicos com a concentração de glicerina bruta), sendo repetido quatro vezes (FIGURA 2). O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto por cinco tratamentos e quatro repetições (cada composteira foi dividida em quatro partes), totalizando 20 unidades experimentais.

FIGURA 2. DISPOSIÇÃO DAS COMPOSTEIRAS NO PÁTIO DE COMPOSTAGEM



Fonte: O autor (2018).

#### 4.3 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS NA COMPOSTAGEM

Os resíduos orgânicos agroindustriais utilizados foram: lodo de flotador (FIGURA 3-A), resíduo de incubatório (FIGURA 3-B), cama de frango (FIGURA 3-C), glicerina bruta (FIGURA 3-D), carvão remanescente da caldeira de frigorífico (FIGURA 3-E) como agente estruturante da glicerina bruta, bagaço de cana de açúcar (FIGURA 3-F). Utilizou-se também, a poda de árvores urbanas como fonte de carbono.

FIGURA 3. RESÍDUOS UTILIZADOS NA COMPOSTAGEM. A – LODO DE FLOTADOR. B – RESÍDUO DE INCUBATÓRIO. C – CAMA DE FRANGO. D – GLICERINA BRUTA. E – CARVÃO. F – BAGAÇO DE CANA DE AÇÚCAR.



Fonte: O autor (2018).

Cada tratamento foi composto de todos os resíduos com as doses de 0,0; 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0% de glicerina bruta (GB), dessa forma a denominação dos tratamentos foram de T0, T1, T2, T3 e T4, de acordo com a ordem crescente de GB. As proporções de glicerina bruta foram definidas de acordo com a literatura (ORRICO JUNIOR, 2010) As quantidades de resíduos em massa fresca para cada tratamento estão apresentadas na TABELA 2.

TABELA 2. QUANTIDADE DE RESÍDUOS EM MASSA NATURAL DE CADA TRATAMENTO

<b>Resíduos Kg</b>	<b>T0</b>	<b>T1</b>	<b>T2</b>	<b>T3</b>	<b>T4</b>	<b>Total</b>	<b>4 REP</b>
Bagaço de cana	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00	65,00	260,00
Poda de árvore	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00	75,00	300,00
Lodo de flotador	12,00	10,00	11,00	12,50	14,00	60,00	238,00
Incubatório	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00	15,00	60,00
Cama	12,00	10,00	10,00	10,00	10,00	52,00	208,00
Carvão	5,00	1,00	1,00	1,00	1,00	9,00	36,00
Glicerina Bruta	0,00	0,80	1,66	2,50	3,60	8,60	34,00
Total das leiras (kg)	60	60	55	57	60		
C:N	26	26	26	26	26		

Todos os resíduos foram caracterizados quanto ao teor de nitrogênio Kjeldahl (NKT) e carbono orgânico total (COT) para a montagem da compostagem de cada tratamento e estão dispostos na TABELA 3. Foi considerado uma relação C:N de aproximadamente 26:1.

TABELA 3. TEOR DE NITROGÊNIO E CARBONO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

<b>Resíduos orgânicos</b>	<b>COT%</b>	<b>NKT%</b>	<b>C:N</b>
Bagaço de cana	55,20	0,24	230,00
Poda de árvore	54,30	0,20	271,50
Lodo de flotador	30,00	6,00	5,00
Incubatório	14,80	1,56	9,48
Cama de frango	39,90	3,61	11,05
Carvão residual	35,00	0,14	250,00
Glicerina Bruta	71,30	0,02	3.565,00

O cálculo da relação C:N foi baseado na quantidade de resíduos (kg), umidade e teor de carbono e nitrogênio. De acordo com as equações 1, 2, 3 e 4 calculou-se a C:N.

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

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

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

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

Os resíduos orgânicos foram distribuídos da seguinte forma: primeiramente, foi confeccionado uma cama de poda de árvores e bagaço de cana, para evitar que os resíduos ricos

em nitrogênio escorressem fora da composteira por vazamento. Na segunda camada foi colocado o resíduo de incubatório, na terceira camada foi adicionado o bagaço de cana, a quarta camada foi composta com a cama de frango, na quinta camada foi adicionado o lodo de flotador proveniente do tratamento dos resíduos do abate de frango e nos tratamentos com adição de glicerina, a mesma foi incorporada ao carvão de caldeira e adicionada sobre o lodo. Na sétima camada foi adicionado a poda de árvores, na oitava camada cama de frango, a nona camada foi composta de poda de árvores e bagaço de cana, a décima camada foi adicionado lodo do flotador e por fim, na última camada foi adicionado a poda de árvores para evitar a presença de vetores (FIGURA 4).

FIGURA 4. DISPOSIÇÃO DOS RESÍDUOS NAS COMPOSTEIRAS



Fonte: O autor (2018).

#### 4.4 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Após a confecção das células de compostagem o revolvimento do material foi realizado semanalmente dentro das composteiras e quinzenalmente com toda a retirada do material dentro das composteiras e a umidade conferida e ajustada após todos os revolvimentos em aproximadamente 60%. Amostragens foram realizadas pós revolvimento para cada repetição em todos os tratamentos. A temperatura da leira foi monitorada a cada 3 dias e considerou-se

finalizado o processo de compostagem quando a temperatura do material nas células de compostagem igualou-se a temperatura ambiente.

#### 4.5 MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados em laboratório a partir da amostra em suspensão com água destilada na proporção de 1:5 (m/v) (BRASIL, 2007). Para leitura do pH foi utilizado potenciômetro e para a CE utilizou-se o condutivímetro de bancada, nas amostras *in natura* (BRASIL, 2007).

A redução de volume foi monitorada nas células onde foi medido a cubicagem, com as seguintes dimensões: volume = largura x comprimento x altura. Com o auxílio da trena mediu-se a altura do material, dessa forma foi possível subtrair a altura da célula para o cálculo do volume de um cubo (formato das células de compostagem). A massa foi monitorada com o uso de balança, pesando-se o material em galões no início e final do processo.

Para a determinação do teor de carbono orgânico total (COT) realizou-se conforme a metodologia de Cunha-Queda et al. (2003), sendo as amostras secas a 60 °C para a determinação de nitrogênio total, segundo metodologia proposta por Malavolta et al. (1997).

Na determinação do nitrogênio utilizou-se a digestão em bloco digestor, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Com o extrato obtido da digestão sulfúrica foi possível efetuar a determinação dos teores de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) com o uso do Destilador de Kjeldahl, segundo metodologia proposta por Malavolta et al., (1997). A relação C:N foi determinada pela simples razão entre carbono orgânico total (COT) e nitrogênio total Kjeldahl (N).

Os grupos funcionais presentes na fração húmica dos substratos foram determinados pelo Espectrofotômetro com Infravermelho que opera com Transformada de Fourier (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 cm<sup>-1</sup> com resolução espectral de 4 cm<sup>-1</sup>. As análises de ATR foram realizadas no espectrômetro Frontier by Perkin Elmer FT-IR, pertencente à Central de Análises da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), campus de Toledo - PR. A partir dos espectros obtidos foi possível calcular o índice de aromaticidade (IA), de acordo com a equação abaixo (CHEFETZ et al., 1996; FREIXO; CANELLAS; MACHADO, 2002; DICK et al., 2006):

$$IA = \frac{I1620}{I2920}$$

(Equação 5)

Em que:

I1620 - intensidade de absorção no número de onda 1620 cm<sup>-1</sup>;

I2920 - intensidade de absorção no número de onda 2920 cm<sup>-1</sup>.

A quantificação dos ácidos orgânicos voláteis acético, propiônico, butírico e do ácido fórmico foram realizada por cromatografia líquida de alta eficiência (CLAE) em sistema Shimadzu® equipado com Coluna Aminex® HP-87H (300 mm x 7,8 mm Bio-Rad), forno CTO20A a temperatura de 64 °C, controlador CBM-20A, detector UV com arranjo de diodos SPD20A em comprimento de onda de 208 nm e bomba LC-20AT. A fase móvel foi composta por água ultrapura Milli-Q (Millipore®) acidificada com 0,005 M de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> em fluxo de 0,5 mL min<sup>-1</sup> e volume de injeção de 20 µL (LAZARO et al., 2012; PENTEADO et al., 2013).

#### 4.6 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, utilizando-se cinco tratamentos e quatro repetições, totalizando 20 unidades experimentais. Os dados dos parâmetros químicos no início e final do processo de compostagem foram submetidos à análise de variância (ANOVA), havendo significância aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância. Os dados foram analisados utilizando o software estatístico R.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a obtenção de compostos orgânicos estabilizados e para que o processo de compostagem ocorra de maneira ideal, é necessário que alguns fatores sejam monitorados. Esses estão relacionados a caracterização dos resíduos que irão ser degradados, o tamanho da partícula, a relação C:N, o manejo e à condução do processo de compostagem, assim como, a temperatura, teor de umidade e aeração (KIEHL, 2010; JUÁREZ et al., 2015). A partir do acompanhamento e adequação desses parâmetros é possível produzir compostos de maior qualidade e em menor tempo (SÁNCHEZ et al., 2017).

### 5.1 OTIMIZAÇÃO DO PÁTIO DE COMPOSTAGEM

#### 5.1.1 Redução de massa e volume

O baixo valor na redução de massa, pode estar relacionado à granulometria inicial do resíduo de poda de arborização urbana, pois segundo Chiarelloto et al. (2018), que realizaram a compostagem com galhos triturados provenientes de podas de árvores urbanas, devido este resíduo apresentar maior quantidade de carbono recalcitrante, acarretou em dificuldades para degradação pelos microrganismos. O parâmetro massa foi avaliado no início e final do processo de compostagem e apresentou diferença estatística entre os tratamentos avaliados ao final do processo. No entanto, a redução de massa (%) não apresentou diferença estatística entre os tratamentos (TABELA 4).

TABELA 4. MASSA SECA E PERCENTUAL DE REDUÇÃO DE MASSA DOS RESÍDUOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tratamento	Massa seca Inicial (kg)	Massa seca Final (kg)	Redução de massa (%)
T0	19,33 a	11.26±1,06 b	41,75±5,47 a
T1	19,58 a	13.07±2,88 ab	33,24±14,71 a
T2	20,73 a	14.61±1,18 ab	29,52±5,70 a
T3	20,89 a	15.33±1,50 a	26,61±7,17 a
T4	20,95 a	12.07±0,86 ab	42,38±4,12 a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

A redução ideal de massa seca é de aproximadamente 50% para processos de compostagem com duração de 90 e 120 dias (KIEHL, 1985). Costa et. al (2016), apontam 41% de redução de massa e 54% de redução de volume durante os 67 dias de compostagem de resíduos agroindustriais provenientes da cadeia de produção avícola. Carneiro et al. (2013) ao avaliar o efeito da periodicidade de revolvimentos de resíduos avícolas, obtiveram redução de 73% de massa e 61% de volume, com tempo médio de compostagem de 96 dias. Já, Costa et al. (2016), encontraram redução de 50% de massa e 70% de redução de volume para compostagem de resíduos agroindustriais realizada em 75 dias.

Os valores de percentual em relação a redução de massa foram próximos ao trabalho de Silva et al. (2017), que ao avaliar a influência da cobertura do pátio e a quantidade de revolvimentos durante o processo de compostagem de resíduos da cadeia de produção avícola, obtiveram valores que variaram de 37% a 56% na redução de massa seca. Da mesma forma, Costa et al. (2017) constataram redução de 50% de massa seca na compostagem de resíduos agroindustriais misturados a poda urbana no período de 91 dias e Chiarelloto et al. (2018), ao avaliar o tempo de redução no período de compostagem de resíduos agroindustriais, encontrou variação de 36% a 40% na redução de massa seca.

A redução do volume das leiras é proporcional à redução da sua massa (SILVA et al., 2017). O monitoramento da redução de volume foi realizado quinzenalmente durante o processo de compostagem dos tratamentos com adição de GB.

Segundo Kiehl (2010), é esperada redução de aproximadamente 33% em relação ao volume presente em leiras de compostagem conduzidas de 90 a 120 dias. Esses valores podem variar de acordo com as características dos resíduos utilizados e das condições em que o processo foi conduzido (COSTA et al., 2012; CARNEIRO et al., 2013).

Os valores de redução de volume durante o experimento foram de 42,65% para T0, 41,88% para T1, 36,84% em T2, 42,42% para T3 e 26,87% para T4 conforme é apontado na TABELA 5. Costa et al. (2013), ao testar o processo de compostagem com resíduos agroindustriais da cadeia produtiva avícola durante 67 dias, encontraram 54% de redução de volume. Da mesma forma, Costa et al. (2016) na compostagem de resíduos agroindustriais obtiveram 55,39% de redução em 96 dias de compostagem. Silva (2017), ao testar a compostagem com os mesmos resíduos agroindustriais do complexo avícola presentes nesta pesquisa, encontraram redução de volume de 67% em 98 dias.

TABELA 5. VOLUME NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM DOS TRATAMENTOS COM ADIÇÃO DE GB

Tratamento	Tempo de compostagem					Redução volume (%)
	7 dias	22 dias	37 dias	52 dias	67 dias	
T0	205,93 a	192,49 a	151,29 b	139,61 a	118,10 b	42,65±2,50 a
T1	217,77 a	196,74 a	162,75 ab	138,82 a	126,56 ab	41,88±3,85 a
T2	211,87 a	194,52 a	180,37 ab	152,37 a	133,80 ab	36,84±1,73 ab
T3	208,92 a	204,85 a	186,73 a	162,59 a	120,28 b	42,42±6,49 a
T4	190,56 a	187,42 a	169,75 ab	154,20 a	139,35 a	26,87±3,54 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Costa et al. (2009), afirmam que a redução de volume durante o processo de compostagem pode ser justificada pelo tipo de resíduo utilizado, visto que alguns materiais apresentam características que dificultam a decomposição. Houve diferença significativa para os 37 dias do processo de compostagem, sendo que esse período coincide com o período de redução das temperaturas da fase termofílica, como exemplificado na FIGURA 5. Bernal, Albuquerque e Moral (2009), afirmam que as altas temperaturas da fase termofílica ajudam não apenas na eliminação dos microrganismos patogênicos, como favorecem a degradação da lipídeos, da celulose, hemicelulose e da lignina pelos microrganismos termofílicos. Da mesma forma, aos 67 dias foi constatado diferença significativa nos resultados, coincidindo ao período de estabilização da temperatura no processo de compostagem.

O T4 apresentou a menor redução final de volume (26,87%) quando comparado aos demais tratamentos, com exceção do T2 e esse fato pode estar atrelado ao T4 apresentar maior dose de GB. Dessa forma, como a GB é composta por carbono lábil (glicerol) os microrganismos consumiram essa fração de carbono em detrimento ao carbono recalcitrante presente na poda de árvore e bagaço de cana de açúcar.

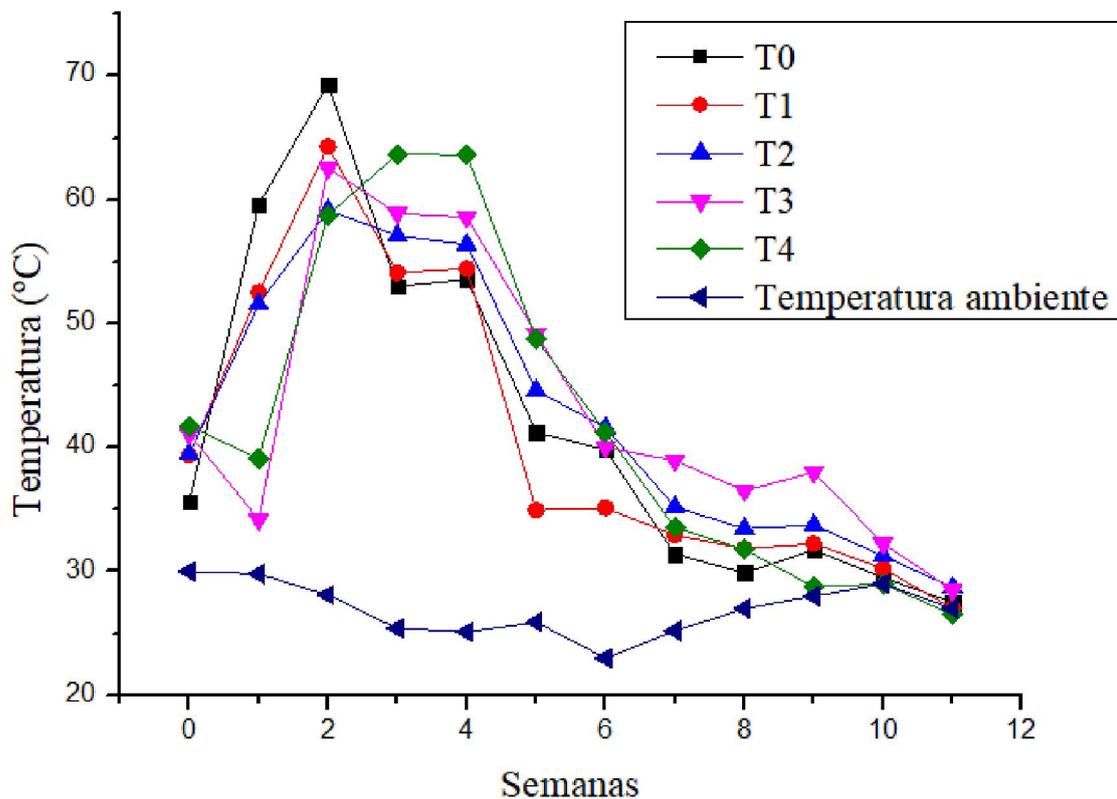
## 5.2 PARÂMETROS MONITORADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

### 5.2.1 Temperatura

Na FIGURA 5 apresenta-se a temperatura alcançada nos tratamentos durante a compostagem comparados a temperatura ambiente ao longo do processo. Houve um aumento na temperatura na primeira semana de compostagem. As temperaturas chegaram próximas a 70

°C no decorrer das semanas. Esse fato indica boa atividade microbiana, pois o aumento da temperatura está associado à degradação da matéria orgânica pelos microrganismos termofílicos (PAGANS et al., 2006; KIEHL, 2010; CHEN et al., 2015; XIU-LAN et al., 2016 SILVA, 2017). Resultados semelhantes são encontrados nos trabalhos de Brito et al. (2008), Morales et al. (2016) e Costa et al. (2017), que constataram a partir da segunda semana de compostagem com resíduos da agroindústria, temperaturas acima de 65°C. O aumento da temperatura nos primeiros dias de compostagem está associado aos tipos e características (qualidade do carbono, relação C:N, granulometria e porosidade) de cada resíduo utilizado na montagem das leiras (HECK et al., 2013; CHEN et al., 2014 COSTA et al., 2017).

FIGURA 5. TEMPERATURA AO LONGO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



Os tratamentos com adição de GB, apresentaram comportamentos semelhantes em relação ao parâmetro temperatura, o T0 apresentou-se com elevação maior de temperatura na terceira semana de compostagem em relação aos tratamentos com adição de GB, por um período menor de tempo. O T4 permaneceu com a temperatura elevada por sete semanas, período maior, quando comparado aos demais tratamentos, podendo ser justificado, em função

da maior quantidade de GB aplicada a esse tratamento, pois é na fase termofílica que os lipídeos são degradados (VALENTE et al., 2009).

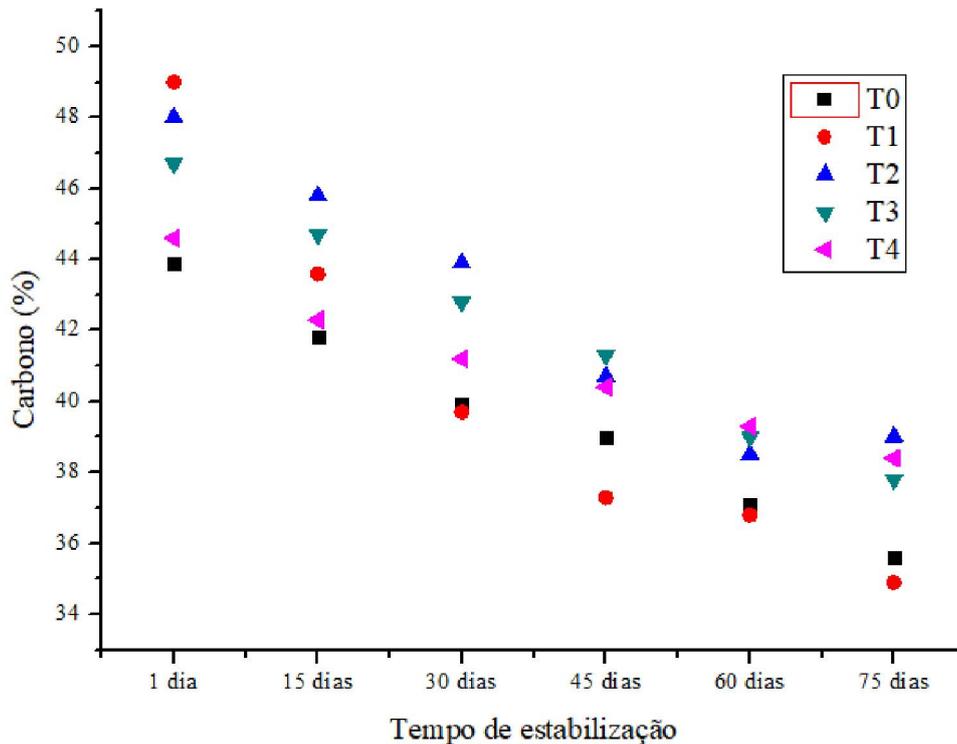
Durante o processo de compostagem o parâmetro temperatura pode ser dividido em duas fases, a termofílica, com temperaturas entre 40 e 65 °C; e mesofílica, com temperaturas abaixo de 40 °C (GRAVES et al., 2000; MATOS et al., 2014). A fase termofílica é de grande importância no processo de compostagem, pois é neste período que ocorre a maior degradação do material orgânico e a eliminação de patógenos e sementes de plantas daninhas do material compostado (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009; MATOS et al., 2014). Segundo Gao et al. (2010) e Zhang e Sun (2016), se a temperatura das leiras permanece acima de 55 °C por mais de três dias consecutivos, o composto estará livre de sementes de plantas invasoras e de patógenos.

A fase mesofílica, por sua vez, é caracterizada pela redução da degradação do material orgânico, em que a atividade microbiana diminui, iniciando o processo de mineralização do carbono remanescente (BERNAL; ALBUQUERQUE; MORAL, 2009; MATOS, 2014).

### 5.2.2 Relação C:N

A redução do carbono foi obtida a partir do teor de carbono contido no processo de compostagem comparando ao tempo de estabilização do composto orgânico (FIGURA 6), para todos os tratamentos.

FIGURA 6. TEOR DE CARBONO NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



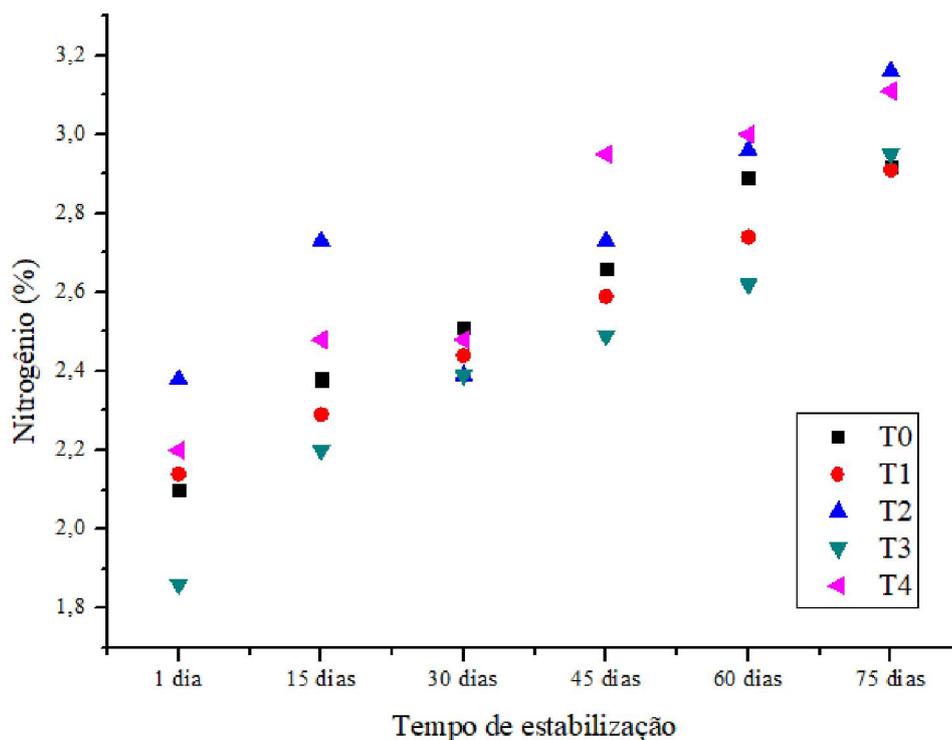
Os tratamentos combinados à GB apresentaram maior percentual de carbono no início do processo e demonstraram menor redução de carbono com o decorrer do tempo de estabilização da compostagem. No entanto, observou-se as menores frações de carbono em T0 e T1 aos 75 dias.

Ao final do processo de compostagem os tratamentos com adição de GB não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) no teor de carbono e o percentual final de carbono presente no composto variou de 34 a 40%. Aquino et al. (2005) e Silva et al. (2009), afirmam que quantidades altas de carbono ao final do processo de compostagem, podem indicar que durante a montagem da leira, foi utilizado maior quantidade de material fibroso (como por exemplo poda de árvore).

De maneira geral, a partir da atividade dos microrganismos no processo de compostagem a concentração de carbono tende a diminuir ao longo do tempo devido à perda de C em forma de  $\text{CO}_2$  (ANDRADE, 2015). Trabalhos com compostagem realizados por Costa et al. (2005), Rigolin et al. (2013) e Bosco et al., (2017) corroboram com os resultados obtidos para a redução de carbono.

Simultaneamente, durante a compostagem o nitrogênio contido na matéria orgânica, passa a nitrogênio amídico ( $\text{NH}_2$ ), depois amoniacal ( $\text{NH}_3$ ), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ) e, finalmente nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) (KIEHL, 2010). Em relação ao tempo de estabilização, foi observado que em todos os tratamentos ocorreu o aumento gradativo do percentual de nitrogênio (FIGURA 7).

FIGURA 7. TEOR DE NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



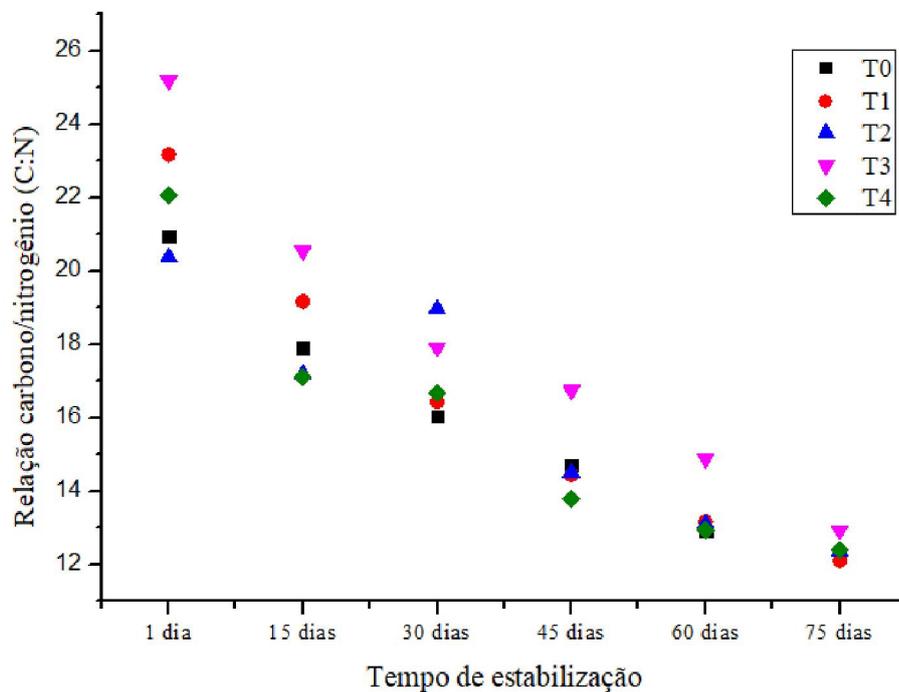
Os tratamentos T2 e T4 apresentaram elevados percentuais de nitrogênio tanto no primeiro dia de amostragem (2,38 e 2,60% respectivamente) quanto no último dia de amostragem (3,16 e 3,11% respectivamente). Ao final do processo de compostagem os tratamentos não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) no teor de nitrogênio total.

O aumento de nitrogênio obtido nas amostragens foi similar aos resultados encontrados por Andrade (2015) e Leal et al. (2011) e este fato está atrelado a composição dos resíduos da agroindústria que apresentam alto teor de nitrogênio. A medida em que se perde carbono se concentra todos os nutrientes contidos no processo que não foram perdidos por volatilização ou lixiviação. Dessa forma, com as perdas de carbono, é natural que a concentração de nitrogênio aumente no decorrer do processo de compostagem (CARNEIRO et al., 2013).

O controle da relação C:N é muito importante para a compostagem, pois é utilizado para avaliar os níveis de maturação da matéria orgânica e seus efeitos no desenvolvimento microbiológico (ANDRADE et al., 2013), facilitando o tratamento de resíduos orgânicos. Conforme os microrganismos consomem o carbono e liberam CO<sub>2</sub>, a relação C:N diminui (AQUINO et al., 2005; LOUREIRO et al., 2007).

Os tratamentos não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) na relação C:N final. Carneiro (2012), afirma que quando construídas leiras com nutrientes de carbono e nitrogênio em equilíbrio, raramente ocorrem desvios na qualidade final do composto. Na FIGURA 8 é apresentada a C:N do processo de compostagem ao longo do período de estabilização.

FIGURA 8. RELAÇÃO C:N NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



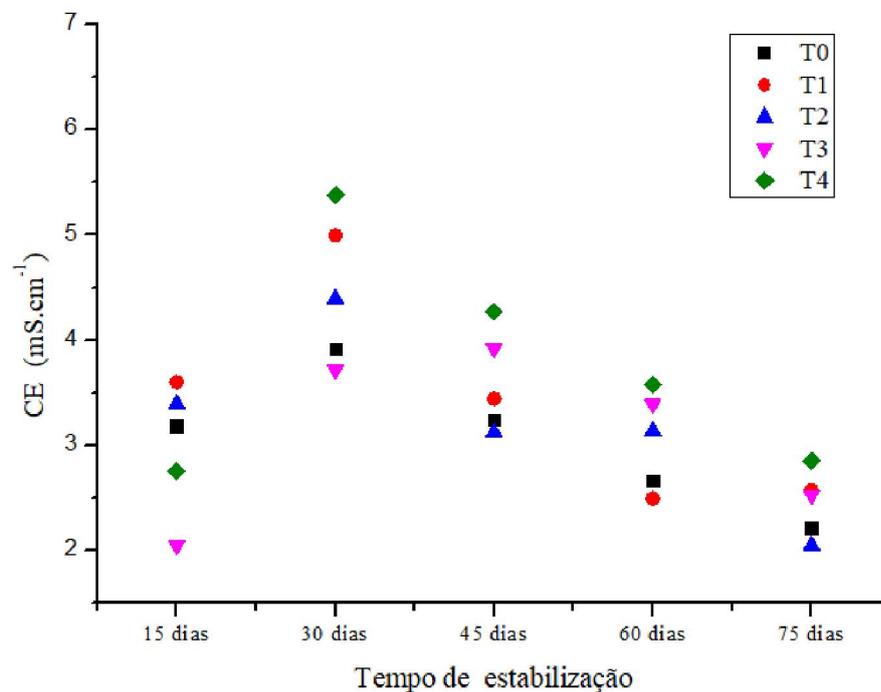
De maneira geral, a relação C:N é usada como indicador da qualidade final do composto. Andrade (2015) aponta que a relação C:N que representa um composto maturado, tem o valor percentual de C:N entre 10 e 20 corroborando com os dados obtidos aos 75 dias em todos os tratamentos da presente pesquisa.

### 5.2.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica representa uma medida indireta da quantidade de sais solúveis (nutrientes) no composto (CARNEIRO et al., 2012). Chan et al. (2016), apontam que compostos com baixa quantidade de condutividade elétrica não apresentam boa qualidade para o crescimento de plantas, da mesma forma que compostos que apresentam quantidades elevadas também podem prejudicar a germinação de sementes, desidratando-as via osmose.

Na FIGURA 9 é apresentada a condutividade elétrica durante o processo de compostagem dos resíduos orgânicos, sendo que ao final do processo não foi constatado diferença significativa entre os tratamentos ( $p>0,05$ ).

FIGURA 9. CONDUTIVIDADE ELÉTRICA EM RELAÇÃO AO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



A condutividade elétrica tende a diminuir com o decorrer da compostagem, devido à perda de carbono que influencia na concentração de sais. A partir dos 30 dias do processo de compostagem, foi observado um aumento na condutividade elétrica o que pode ser explicado pela não lixiviação de líquidos (formação de chorume) nas composteiras. Isso pode indicar a ocorrência da concentração dos sais, tendo relação direta com a condutividade elétrica, que não

se perderam por lixiviação do material, fato semelhante foi visualizado no trabalho de Morales et al. (2016).

A redução da condutividade elétrica em todos os tratamentos foi visualizada a partir dos 45 dias de processo. Kiehl (1998) e Montgomery (2013), afirmam que a condutividade elétrica de compostos orgânicos tende a cair e se estabilizar ao longo do processo e à medida que o composto “amadurece” a condutividade não deve ser superior a  $4 \text{ mS cm}^{-1}$ . Com isso, todos os tratamentos apresentaram resultados finais abaixo do limite máximo apontado na literatura para qualidade de compostos orgânicos.

### 5.3 HUMIFICAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

#### 5.3.1 Avaliação dos Grupos Funcionais

A espectroscopia de infravermelho com transformada de Fourier com refletância total atenuada (ATR) pode ser utilizada para caracterizar a matéria orgânica dos compostos orgânicos produzidos a partir do processo de compostagem (EL OUAQOUDI et al., 2015). Canellas e Rumjanek (2005) afirmam que a partir da espectroscopia de infravermelho, é possível estabelecer com segurança a identidade de duas ou mais amostras e verificar diferenças entre elas em relação a composição química.

A partir da espectroscopia, determina-se o índice de aromaticidade, o qual consiste na razão entre a intensidade de absorção identificado pelo número de onda em  $1.620$  e  $2.920 \text{ cm}^{-1}$ . Segundo Chefetz et al. (1996) e Castilhos et al. (2008), este índice pode ser utilizado para determinar o grau de mineralização da matéria orgânica durante o processo de compostagem. A partir do processo de humificação da matéria orgânica, os grupos funcionais (fenólicos, aromáticos e fúlvicos) são formados. Esse material orgânico, é constituído por C, H, O, N, S e P e geralmente compreende cerca de 80% do carbono orgânico total e nele estão presentes frações estáveis denominadas substâncias húmicas. Primo et al. (2011), afirma que as substâncias húmicas são divididas em duas frações com diferentes composições físico-químicas: ácidos fúlvicos (constituídos por grupos fenólicos, são solúveis em meio alcalino e em ácidos diluídos) e ácidos húmicos (apresentam grupos aromáticos e carboxilas).

O índice de aromaticidade está apresentado na TABELA 6 e indica a avaliação realizada no período de início e fim do processo de compostagem, em que foi visualizado o aumento do ao final do processo em todos os tratamentos. Resultados semelhantes foram apontados por Chiarello et al., (2018) que avaliaram o índice de aromaticidade no composto estabilizado

(fim do processo de compostagem). O aumento do índice de aromaticidade de acordo com o tempo em que os resíduos permanecem no processo, indica mineralização da matéria orgânica no tratamento (ASSES et al., 2018).

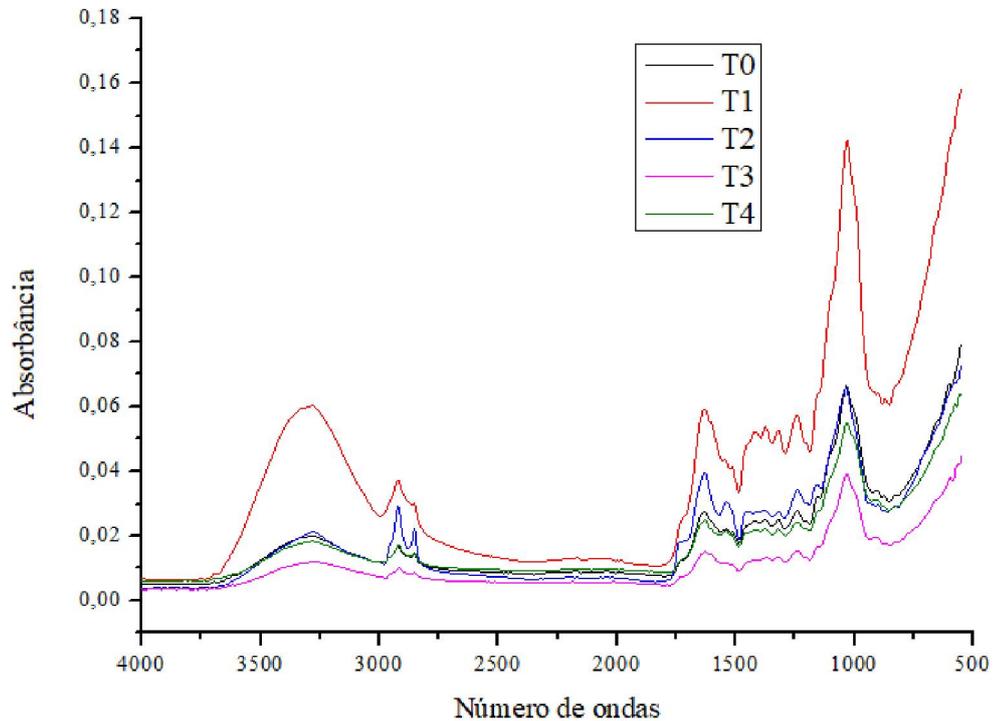
TABELA 6. ÍNDICE DE AROMATICIDADE (IA) DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS OBTIDOS NO INÍCIO E FIM DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tratamento	Início	Final
T0	1,66	2,03
T1	2,13	2,13
T2	1,21	1,63
T3	1,54	1,96
T4	2,02	2,24

Segundo Xi et al. (2012), Wang et al. (2017) e Asses et al. (2018) os espectros gerados em análise de espectrometria de infravermelho apresentam bandas típicas, porém, apenas os números de onda em  $1.620$  e  $2.920\text{ cm}^{-1}$  podem fornecer informações relacionadas a carbono aromático e alifático, respectivamente, que indicam a estabilização ou não de compostos orgânicos.

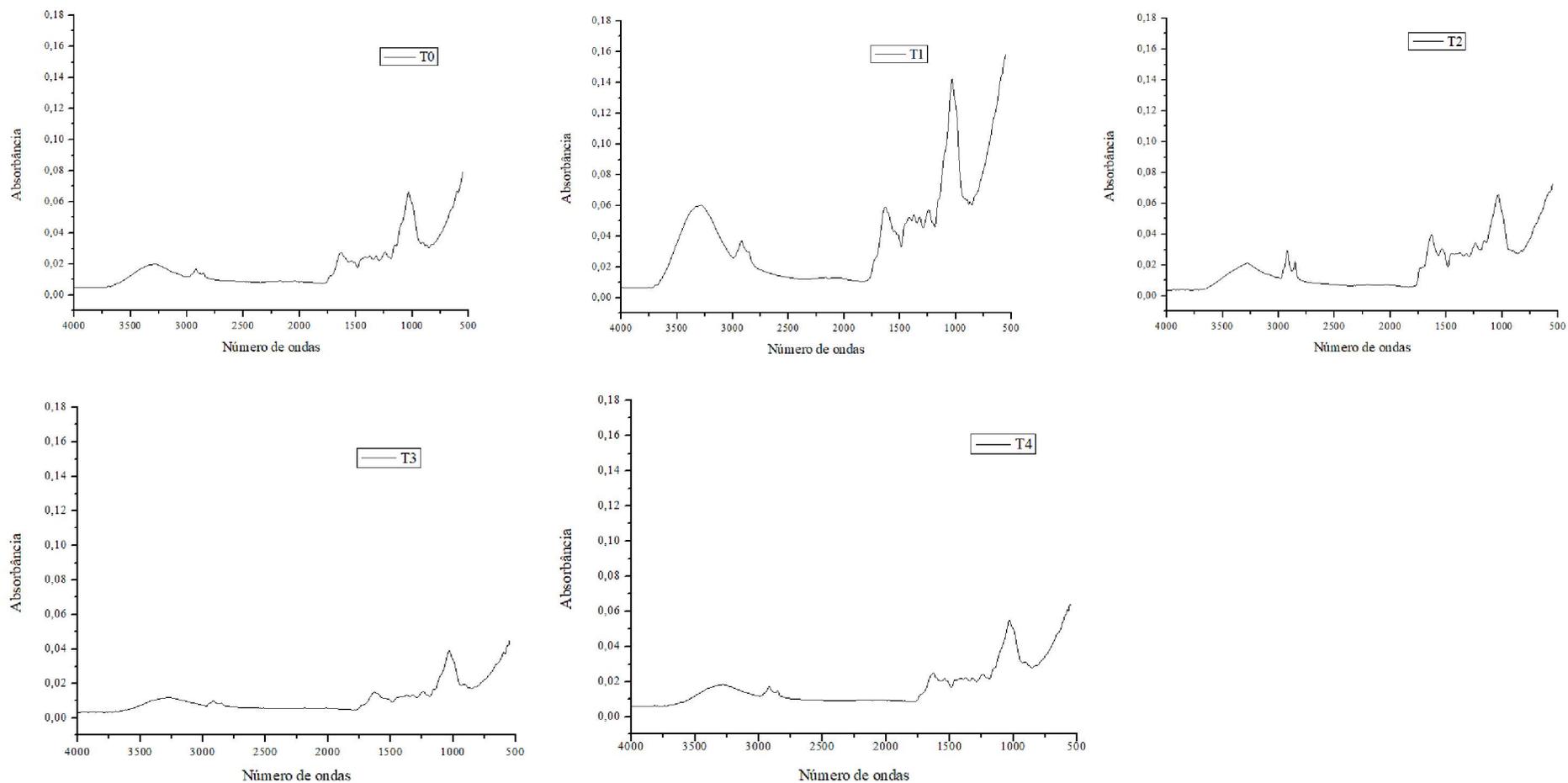
Na FIGURA 10 é apresentado o espectro do início do processo de compostagem de todos os tratamentos, onde observa-se forte sinal nas bandas relacionadas ao grupo alifático no início do processo de compostagem. Segundo Amir et al. (2010) as bandas e picos entre os números de onda de  $2.928$  a  $2.930\text{ cm}^{-1}$  indicam estiramento assimétrico de C alifático. Dessa forma, no início do processo de compostagem nota-se que o material orgânico não se apresenta mineralizado e segundo Smidt e Meissl (2007) e Kong et al. (2018), quanto mais estabilizado ou maturado os compostos orgânicos, menor será a intensidade de absorbância encontrada na faixa de  $2.920\text{ cm}^{-1}$ .

FIGURA 10. ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMATICIDADE DO INÍCIO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS



Da mesma forma, na FIGURA 11 indica-se individualmente as bandas referentes ao início do processo de compostagem para cada tratamento. Barbosa (2008), aponta que as bandas encontradas na região de 3.438 a 3.418  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas ao estiramento de O–H. O estudo atribuído a vermicompostagem de Reis e Reis (2010) afirmaram que a região de 3.500-3.000  $\text{cm}^{-1}$  apresenta banda forte e larga, que refere-se ao estiramento O–H, que corresponde a vários grupos contendo OH fenólico.

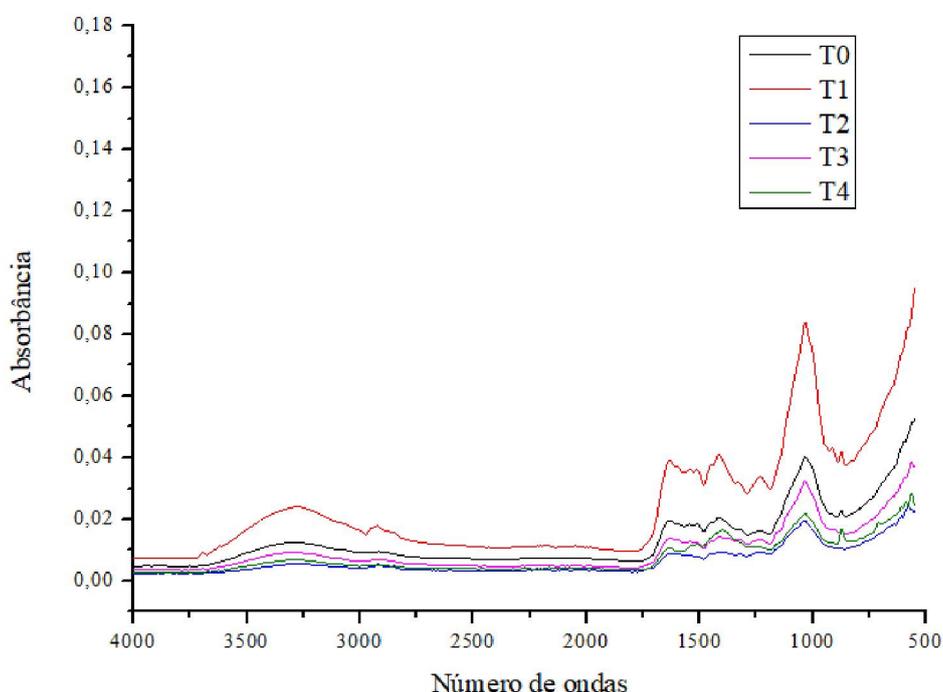
FIGURA 11. ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMATICIDADE DO INÍCIO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS



A região de 3.200-2500  $\text{cm}^{-1}$  (FIGURA 12) indica existência de ligações intermoleculares de fenóis e C-H assimétrico (BARBOSA, 2008). Para o início do processo de compostagem essa região pode ganhar destaque devido ao volume de matéria orgânica não degradada ser alto (SCHULTEN; SCHNITZER, 1993).

Em comparação aos resultados finais dispostos na FIGURA 12, é possível notar que houve redução das bandas relacionadas aos grupos alifáticos. Para todos os tratamentos, as bandas com picos entre 2.943-2.989  $\text{cm}^{-1}$  a redução é um fator positivo, pois a presença de forte sinal do estiramento C-H de cadeia alifática, indica que o material se apresenta menos humificado (SCHULTEN; SCHNITZER, 1993). Dessa forma, os fracos sinais dos picos entre 2.943-2.989  $\text{cm}^{-1}$  presente nos compostos orgânicos demonstram que o material pode estar em alto grau maturação.

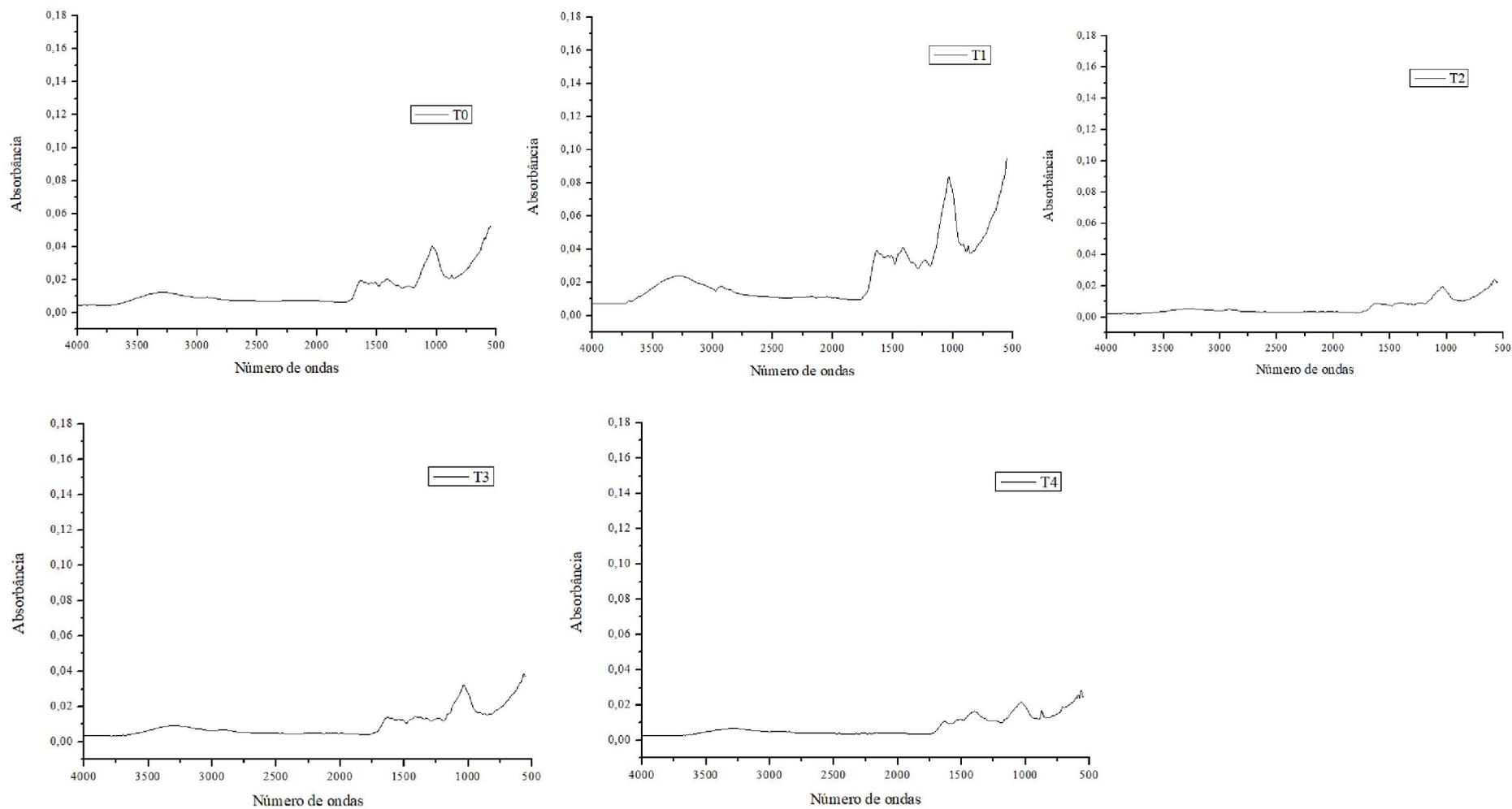
FIGURA 12. ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMATICIDADE DO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS



Segundo Canellas et al. (2001) e Fialho et al. (2010), as bandas com picos em torno de 1.600  $\text{cm}^{-1}$  são atribuídas, à presença de íon carboxilato, que são originadas por estiramentos de anéis aromáticos de monômeros de lignina. Jouraiphy et al. (2005) apontam que o aumento na intensidade relativa de estruturas aromáticas, que são principalmente éteres-ésteres, estão ligados ao processo de maturação do composto.

Santos (2016) afirma que as intensidades destas estruturas estão ligadas a um efeito de concentração que após o desaparecimento de componente de mais fácil degradação, aumenta os derivados oxidados de lignina e ocorre o processo de humificação. O tratamento T2 e T4, apresentaram maior redução de sinais das bandas nos espectros dos grupos fenólicos e alifáticos quando comparados aos tratamentos T0, T1 e T3. Todos os tratamentos apresentaram redução dos picos de intensidade na faixa de  $1600\text{ cm}^{-1}$  ao final do processo de compostagem, porém os picos dos grupos aromáticos foram maiores que dos grupos alifáticos e fenólicos, indicando o grau de maturação do composto orgânico (FIGURA 13).

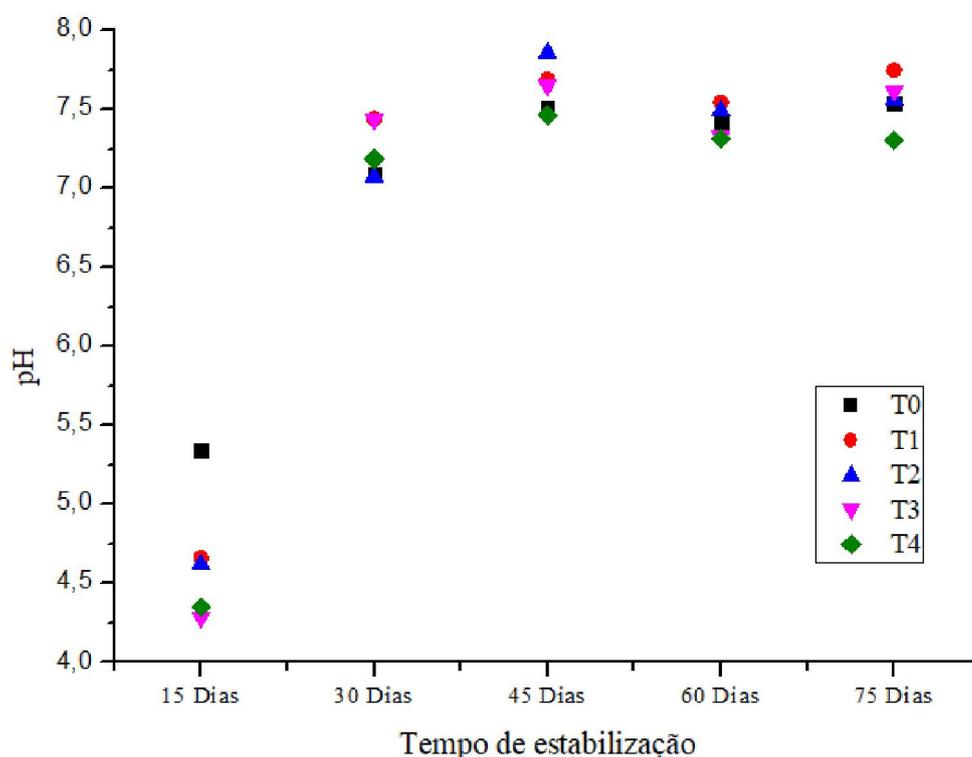
FIGURA 13. ESPECTROS DO ÍNDICE DE AROMATICIDADE DO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM NOS TRATAMENTOS APLICADOS



### 5.3.2 Ácidos carboxílicos

No início da compostagem a tendência é que ocorra uma leve queda no pH, devido a formação de ácidos orgânicos na decomposição dos resíduos orgânicos. Posteriormente há uma rápida elevação na fase termofílica (aumento da temperatura e alta taxa de biodegradação da matéria orgânica, a partir da atividade microbiana e fúngica) característica da hidrólise das proteínas e liberação de amônia para posterior redução e estabilização, que gira em torno do pH 7,0 para um composto estabilizado (VALENTE et al., 2009) (FIGURA 14).

FIGURA 14. pH NO TEMPO DE ESTABILIZAÇÃO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM



A partir de 30 dias do processo de compostagem, observa-se o pH neutro, apresentando-se de forma constante até a finalização do processo de estabilização. O pH é um parâmetro de interesse microbiológico, existindo faixas que podem inibir ou acelerar o desenvolvimento de uma espécie. Se o pH da mistura do composto for de tal forma que desvie muito do pH neutro (faixa de atividade ideal para atividade de microrganismos), pode ocorrer a inibição da atividade microbiana, porém faixas de pH baixo são ideais para

o desenvolvimento de fungos e a posteriormente a degradação da matéria orgânica. Com isso, o pH pode variar, definindo o predomínio de determinado grupo de microrganismos no processo e facilitando a degradação e estabilização do composto (CAETANO et al., 2014).

No final do processo de compostagem o pH apresentou-se diferente estatisticamente entre os compostos orgânicos, porém todos os resultados foram próximos a neutralidade (TABELA 7).

TABELA 7. pH DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS AO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tratamento	pH
T0	7,53±0,12 ab
T1	7,74±0,07 a
T2	7,55±0,07 ab
T3	7,61±0,15 a
T4	7,30±0,12 b

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey.

Os valores finais de pH se mantiveram neutros variando de 7,30 e 7,74. Valores próximos foram encontrados por Carneiro et al. (2011) e Silva et al. (2017), ambos os trabalhos realizados com compostagem de resíduos da agroindústria. Segundo Grigatti et al. (2007), o resultado final do pH é dependente da mistura inicial dos resíduos.

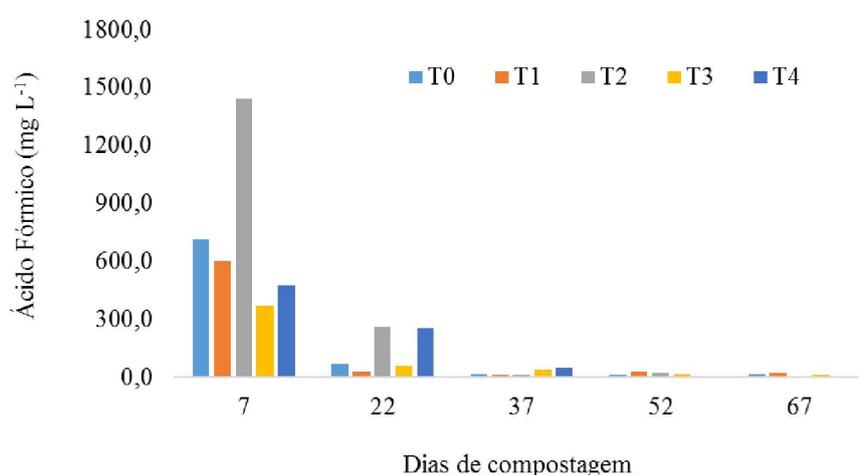
Diretamente ligado ao pH, estão os ácidos carboxílicos de cadeia curta como o fórmico, acético, propiônico e o butírico. De maneira geral, estes ácidos são encontrados com maior frequência nas primeiras semanas do processo de compostagem, com uma maior ocorrência do ácido acético em relação aos demais (AQUINO e SANTIAGO-SILVA, 2006).

Em todos os tratamentos, aos sete dias de compostagem, os ácidos fórmico e propiônico eram encontrados em maiores concentrações quando comparados aos ácidos butírico e acético em todos os tratamentos. Ao longo do período de compostagem, houve redução para todos os ácidos analisados, chegando muito próximo do valor 0, independente do tratamento.

O ácido fórmico (FIGURA 15) foi encontrado em maior volume para o tratamento T2 no dia 7. A redução desse ácido ocorreu rapidamente a partir do 22º dia. Pinheiro et

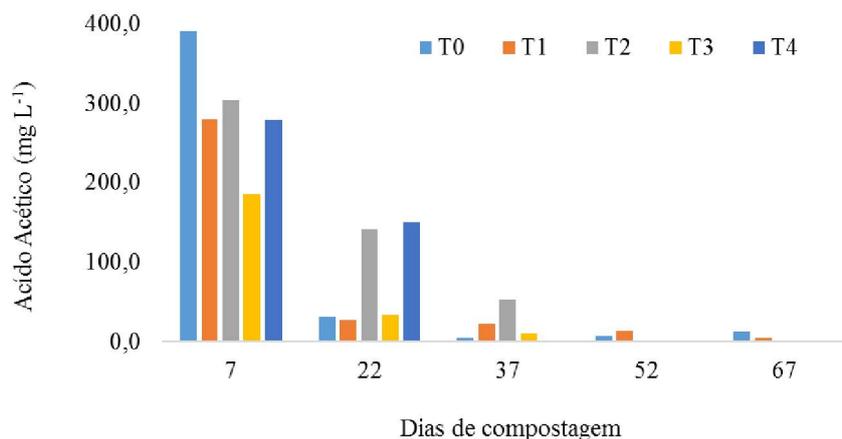
al. (2013), apontam que o ácido fórmico é produzido durante a descarboxilação do ácido oxálico por bactérias que o utilizam como fonte de carbono durante o processo de decomposição da matéria orgânica e permanecem por um curto período de tempo misturado ao composto em degradação, pois são rapidamente consumidos e utilizados por bactérias e fungos.

FIGURA 15. CONCENTRAÇÕES DO ÁCIDO FÓRMICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM



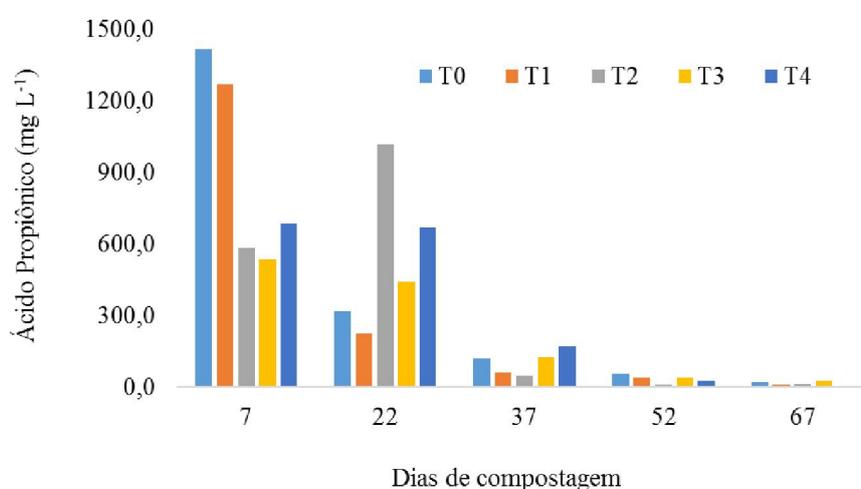
O ácido acético (FIGURA 16) é frequentemente encontrado em quantidades significativas, normalmente são produzidos a partir de resíduos florestais. Jonis et al. (2006) afirmam que este ácido faz parte do ciclo do carbono e é fonte de energia para os microrganismos. Aquino e Santiago-Silva (2006) afirmam, que normalmente esse ácido é encontrado em maior concentração nos compostos orgânicos quando comparado aos ácidos propiônico, butírico e fórmico, resultado diferente foi visualizado neste trabalho, onde os níveis de concentração do ácido acético foi muito próximo ao ácido butírico e menor que os ácidos propiônico e fórmico.

FIGURA 16. CONCENTRAÇÕES DO ÁCIDO ACÉTICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM



Os tratamentos T0 e T1 apresentaram as maiores concentrações de ácido propiônico (FIGURA 17) aos sete dias de compostagem. Em contrapartida, os tratamentos T2 e T4 apresentaram aumento na concentração do ácido propiônico no 22º dia, diferindo dos tratamentos T0, T1 e T3. A presença do ácido propiônico indica a intensa atividade dos microrganismos na degradação da matéria orgânica que apresenta por característica a insolubilidade em água (SUZESK et al., 2007).

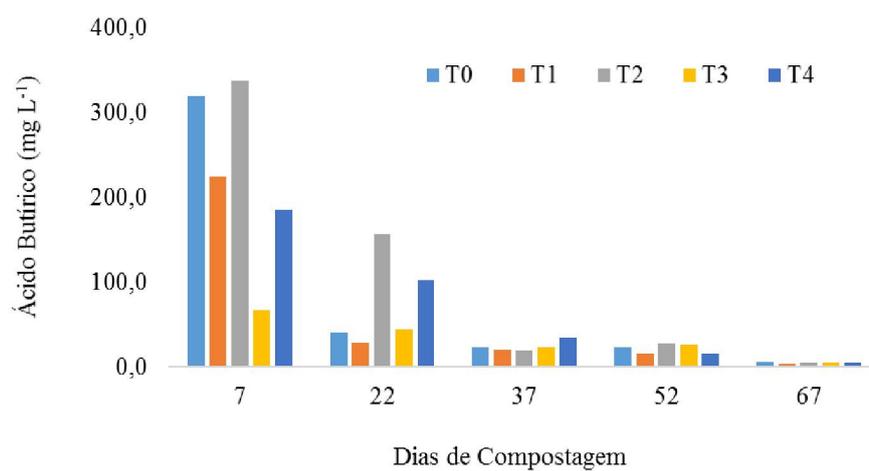
FIGURA 17. CONCENTRAÇÕES DO ÁCIDO PROPIÔNICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM



O ácido butírico (FIGURA 18) assim como o ácido propiônico está diretamente relacionado ao excesso de gordura presente nos materiais orgânicos. Quando comparado aos valores dos ácidos acético, fórmico e propiônico, o ácido butírico apresentou as

menores concentrações em todos os tratamentos do estudo, porém, ao final da compostagem, a presença desse ácido, mesmo sendo próxima do valor zero, ainda pode ser notada. Segundo Oliveira et al. (2008), a granulometria e a qualidade dos materiais a serem degradados, podem contribuir na liberação do ácido butírico e dessa forma, influenciar no retardamento da compostagem e na qualidade final do composto.

FIGURA 18. CONCENTRAÇÕES DO ÁCIDO BUTÍRICO NOS TRATAMENTOS DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM



## 6. CONCLUSÃO

A utilização da glicerina bruta associada ao carvão remanescente de caldeira e resíduos orgânicos agroindustriais no processo de compostagem demonstrou-se eficiente no tratamento alternativo para os resíduos propostos. A glicerina bruta não influenciou negativamente os fatores de controle (aeração, desenvolvimento de microrganismos, temperatura, tempo de estabilização e umidade) que são acompanhados durante o processo de compostagem.

Os valores de redução de massa e volume do material orgânico foram semelhantes a resultados apontados na literatura, evidenciando que o uso da glicerina bruta não interferiu na decomposição da matéria orgânica.

Para o balanço C:N, o uso da poda de árvore como fonte de carbono apresenta-se como alternativa viável para a combinação com resíduos ricos em nitrogênio provenientes principalmente das agroindustriais (lodo de flotor, cama de aviário e resíduos de incubatório).

A maturação do composto orgânico pode ser visualizada a partir do índice de aromaticidade dos compostos orgânicos que apontou a presença de grupos aromáticos, da mesma forma, a redução dos ácidos carboxílicos indicou a estabilização do material orgânico ao final do processo de compostagem.

De maneira geral, os compostos orgânicos produzidos ao final da compostagem apresentaram-se dentro dos parâmetros físico-químicos apontados pela Instrução Normativa N° 25/2009 do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, sendo considerados compostos de qualidade, estabilizados e livres de componentes fitotóxicos.

## REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10004**. Resíduos Sólidos Classificação, 2004.

ABRELPE. **Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil - 2016**. São Paulo-SP, 2017.

ABREU JUNIOR, C. H.; BINCOLETTI, L. F.; TROMBETA, ANDRÉ L. B. O uso do composto de lixo urbano na agricultura: vantagens e limitações. **Notessalq**. São Paulo, p. 4-8, jun. 2010.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis**. 236p. Rio de Janeiro - RJ, 2017.

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.

ALBURQUERQUE, J. A.; BADDI, G. A.; GONZÁLVEZ, J.; CEGARRA, J.; HAFIDI, M. Chemical and spectroscopic analyses of organic matter transformations during composting of olive mill wastes. **International Biodeterioration and Biodegradation**, v. 54, n. 1, p. 39-44, 2009.

ALLEN D. D.; SMITH Q. R. Aschner M. Characterization of the blood–brain barrier choline transporter using the *in situ* rat brain perfusion technique. **J. Neurochem**, v. 76, p. 1032–1041, 2001.

ALVES, R. Desenvolvimento sustentável e consumo consciente: algumas reflexões. **Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade**, v. 8, n. 4, jan – jun, 2015.

APOLINÁRIO, F. D. B.; PEREIRA, G. F.; FERREIRA, J. P. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. **Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense**, v. 2, p. 141-146, 2012.

ARAÚJO, W. A. G.; ALBINO, L. F. T. Incubadoras de único e múltiplo. Commercial incubation. Viçosa. **Transworld Research Network**, 2011. Cap. 4, p.698.

AROCA, M.; VASCONCELOS, A. M.; FOGAÇA, D. R. Análise quantitativa do processo de uma agroindústria. **Seg. Alimentar Nutri**. Campinas, V. 25, n. 1, p. 57-64, jan/abr. 2018.

Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA). **Crescimento do setor avícola no Brasil**. São Paulo. 2017.

ASSES, N.; FARHAT, A.; CHERIF, S.; HAMDY, M.; BOUALLAGUI, H. 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.

AUGUSTO, J.C.P. **Tratamento de dejetos de aves poedeiras comerciais**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011. p.153-174.

AVILA, V. S. de; MAZZUCO, H.; FIGUEIREDO, E. A. P. de. **Cama de aviário: materiais, reutilização, uso como alimento e fertilizante**. Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 1992. 38p. (EMBRAPA-CNPSA. Circular técnica, 16).

AVILA, V. S.; KUNZ, A.; BELLAVER, C.; PAIVA, D. P.; JAENISCH, F. R. F.; MAZZUCO, H.; TREVISOL, I. M.; PALHARES, J. C. P.; ABREU, P. G.; ROSA, P. S. **Boas Práticas na Produção de Frangos de Cortes**. Concórdia: EMBRAPA Suínos e Aves, 2007. Circular técnica.

BARTON, J.; ISSAIAS, I.; STENTIFORD, E. Carbon – making the right choice for waste management in developing countries. **Waste Management**, Amsterdam, v. 28, p. 690-698, 2008.

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, 1998.

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.

BOSCO, T. C. D.; GONCALVES, F.; ANDRADE, F. C.; TAIATELE JUNIOR, I.; SILVA, J. S.; SBIZZARO, M. **Contextualização teórica: compostagem e vermicompostagem**. 1ed. São Paulo: Blucher, 2017, v. p. 1-266.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA. Secretaria de Defesa Agropecuária. **Instrução Normativa Nº 17, de 21 de maio de 2007**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 24 maio 2007. Seção 1, p. 8.

BRASIL. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Lei 12.305. Brasília, DF: Congresso Nacional, 2010.

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.

CANELLAS, L. P.; RUMJANEK, V. M. Distribuição da matéria orgânica e características de ácidos húmicos em solos com adições de resíduos de origem urbana. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 36, p. 1529-1538, 2005.

CARNEIRO, L. J.; COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; MARTINS, M. F. L.; ROZATTI, M. A. T. Nutrient loss in composting of agroindustrial residues. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 4, p. 796-807, 2013.

CASADO-VELA, J.; SELLÉS, S.; NAVARRO, J.; BUSTAMANTE, M.; MATAIX, J.; GUERRERO, C.; GOMES, I. Evaluation of composted sewage sludge as nutritional source for horticultural soils. **Waste Management**, v. 26, p. 946-952, 2006.

- CAYUELA, M. L.; SÁNCHEZ-MONEDERO, M. A.; ROIG, A. Evaluation of two diferente aeration systems for composting two-phase olive mill wastes. **Process Biochemistry**, v. 41, p. 616-623, 2006.
- CERDA, A.; ARTOLA, A.; FONT, X.; BARRENA, R.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. Composting of food wastes: status and challenges. **Bioresource Technology**, v. 248, p. 57-67, 2017.
- CHEN, Y.; YU, F.; LIANG, S.; WANG, Z.; LIU, Z.; XIONG, Y. Utilization of solar energy in sewage sludge composting: Fertilizer effect and application. **Waste Management**, v. 34, n. 11, p. 2014-2021, 2014.
- CHEFETZ, B.; HATCHER, P. G.; HADAR, Y.; CHEN, Y. Chemical and Biological Characterization of Organic Matter during Composting of Municipal Solid Waste. **Journal of Environment Quality**, v. 25, n. 4, p. 776-785, 1996.
- CHIARELLOTO, M.; DAMACENO, F. M.; BOFINGER, J.; RESTREPO, P. S.; BORDIN, G.; SANTOS, L. M.; COSTA, M. S. S. M. **Análise de FTIR na determinação da qualidade de compostos orgânicos obtidos por processo de compostagem**. Fórum Internacional de Resíduos Sólidos. P. 1-11. Porto Alegre, RS. 2018.
- COSTA, M. S. S. de M.; COSTA, L. A. de M.; OLIBONE, D.; RODER, C.; BURIN, A.; KAUFMANN, A. V.; ORTOLAN, M. Efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 549-556, 2005.
- COSTA, M. S. S., COSTA, L. A. M., DECARLI, L. D., PELÁ, A., SILVAS, C. J., MATTER, U. F., OLIBONE, D. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.13, n.1, p.100-107, 2009.
- COSTA, M. S. S. de M.; LORIN, H. E. F.; COSTA, L. A. de M.; CESTONARO, T.; PEREIRA, D. C.; BERNARDI, F. H. Performance of four stabilization bioprocesses of beef cattle feedlot manure. **Journal of Environmental Management**, v. 181, p. 443-448, 2016.
- COSTA, M. S. S. de M.; BERNARDI, F. H.; COSTA, L. A. de M.; PEREIRA, D. C.; LORIN, H. E. F.; ROZATTI, M. A. T. 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, M. S. S. de M.; CARNEIRO, L. J.; COSTA, L. A. D. M.; PEREIRA, D. C.; LORIN, H. E. F. Composting Time Reduction of Agro-Industrial Wastes. **Engenharia Agrícola**, v. 36, n. 6, p. 1206-1217, 2016.
- CUNHA-QUEDA, A.C.F., VALLINI, G., BRUNO DE SOUSA, R.F.X., ALMEIDA DUARTE, E. C. N. F. **Estudo da evolução de actividades enzimáticas durante a compostagem de resíduos provenientes de mercados horto-frutícolas**. Anais do Instituto Superior de Agronomia, p.193-208, 2003.

CUNHA, T. J. F.; MADARI, B. E.; CANELLAS, L. P.; RIBEIRO, L. P.; BETINES, V. M.; SANTOS, G. A. Soil organic matter and fertility of anthropogenic dark earths (Terra Preta de Índio) in the Brazilian Amazon basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo** 33(1):85-93. 2009.

DICK, D. P.; KNICKER, H.; ÁVILA, L. G.; INDA JR, A. V.; GIASSON, E.; BISSANI, C. A. Organic matter in constructed soils from a coal mining area in southern Brazil. **Organic Geochemistry**, v. 37, n. 11, p. 1537-1545, 2006.

DOMFIZEL, M.; VALENTIN N.; MASSIANI C.; LLOPART, P. **The Science of Composting**. Bertoldi M (ed) Blackie Academic Press, London. 1996.

EL OUAQOUDI, F.; EL FELS, L.; LEMÉE, L.; AMBLÉS, A.; HAFIDI, M. Evaluation of lignocelullose compost stability and maturity using spectroscopic (FTIR) and thermal (TGA/TDA) analysis. **Ecological Engineering**, v. 75, p. 217-222, 2015.

EMBRAPA. **Resultados e impactos positivos da pesquisa agropecuária na economia, no meio ambiente e na mesa do brasileiro**. 2015.

EMBRAPA. **Embrapa em Números**. Embrapa, Secretária de Comunicação. Brasília, DF, 2017.

FAVA, A. F. **Glicerina bruta em co-digestão anaeróbia e compostagem com dejetos de poedeiras**. UFGD. Dourados, MS. 2016.

FERNANDES, M.A. **Avaliação de desempenho de um frigorífico avícola quanto aos princípios da produção sustentável**. 2004.

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, I.; JARA-SAMANIEGO, J.; IDROVO-NOVILLO, J.; BUSTAMANTE, M. A.; MORAL, R.; PAREDES, C. Windrow composting as horticultural waste management strategy - A case study in Ecuador. **Waste Management**, v. 48, p. 127-134, 2016.

GORDIN, CARLA R. B.; MARQUES, R. F.; ROSA, R. J. M.; SANTOS, A. M. DOS; SCALON, S. DE P. Q. Emergência de plântulas e crescimento inicial do pinhão manso exposto a alumínio. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 34, n. 1, p. 147-156, 2013.

HECK, K.; MARCO, É. G. de; HAHN, A. B. B.; KLUG, M.; SPILKI, F. R.; VAN DER SAND, S. T. 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.

HUANG, G. F.; WONG, J. W. C.; WU, Q. T.; NAGAR, B. B. Effect of C/N on composting of pig manure with sawdust. **Waste Management**, v. 24, n. 8, p. 805-813, 2004.

INÁCIO, Caio de T.; MILLER, Paul R. M. **Compostagem: Ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009.

JIMÉNEZ, E. I. e GARCÍA, V. P. **Instituto de Productos Naturales y Agrobiología de Canarias CSIC, Avda. Francisco Sanchez 3, 38206 La Laguna, Tenerife, Canary Islands, Spain. Accepted 4 July 1991.**

JONIS, J. E.; BAEYENS, J.; GARY, D. Impact of mineralisation of C and N from soil and willow litter and its relationship with microbial community biomass and structure Bending. **Biology and Fertility of Soils**. v. 50, p. 695-702, 2006.

JUAREZ, F. D.; M.; PRAHAUSER, B.; WALTER, A.; INSAM, H.; FRANKE-WHITTLE, I. H. Co-composting of biowaste and wood ash, influence on a microbially driven-process. **Waste Management**, v. 46, p. 155-164, 2015.

JURADO, M. M.; LÓPEZ, M. J.; MORENO, J. Increasing native microbiota in lignocellulosic waste composting: Effects on process efficiency and final product maturity. **Process Biochemistry**, v. 49, n. 11, p. 1958-1969, 2014.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. Advances in poultry litter disposal technology, A review. **Bioresource Technology**, v. 83, p. 27-36, 2002.

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

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem – maturação e qualidade do composto**. Piracicaba: Degaspari, 1998.

KIEHL, E.J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. 4.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.171, 2002.

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

KONG, Z.; WANG, X.; LIU, Q.; LI, T.; CHEN, X.; CHAI, L.; LIU, D.; SHEN, Q. Evolution of various fractions during the windrow composting of chicken manure with rice chaff. **Journal of Environmental Management**, v. 207, p. 366-377, 2018

LAZARO, C. Z.; VICH, D. V.; HIRASAWA, J. S.; VARESCHE, M. B. A. Hydrogen production and consumption of organic acids by a phototropic microbial consortium. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 37, p. 11691-11700, 2012.

LEAL, M. A. de A.; GUERRA, J. G. M.; ESPINDOLA, J. A. A.; ARAÚJO, E. da S. Compostagem de misturas de capim-elefante e torta de mamona com diferentes relações C:N. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 17, n. 21, p. 1195-1200, 2013.

MAGALHÃES, M. A. de; MATOS; A. T. de; DENÍCULI, W.; TINOCO, I. F. F. Compostagem de bagaço de cana-de-açúcar triturado utilizado como material filtrante de águas residuárias da suinocultura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 10, n. 2, p. 466-471, 2006.

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

MENDES, A. A.; NAAS, I. A.; MACARI, M. **Produção de Frangos de Corte**. Campinas: Facta, 2004. 356 p.

MILLER, P. R. M. **Compostagem: ciência e prática para a gestão de resíduos orgânicos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA, 2009. 156 p.

MORALES, A. B.; BUSTAMANTE, M. A.; MARHUENDA-EGEA, F. C. MORAL, R.; ROS, M.; PASCUAL, J. A. 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.

NUNES, R.V.; POZZA, P.C., NUNES, C.G.V. Energy values of animal by-products for poultry. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 34, n. 4, p.1217-1224, July/Aug., 2005.

ODUM, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro, Ed. Guanabara, 1983.

OLIVEIRA, E. C. A; SARTORI R. H.; GARCEZ, T. B. **Compostagem**. Universidade de São Paulo. Escola superior de agricultura Luiz de Quieroz. Piracicaba, 2008.

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

ORO, I.M.; CARLI, S.B.; LAVARDA, C.E.F. Indicadores ambientais: um estudo com as empresas agroindustriais avícolas. **Revista custos e agronegócio online** - v. 11, n. 4 – Out/Dez - 2015.

ORRICO, A. C. A. Alterações físicas e microbiológicas durante a compostagem dos dejetos de cabras. **Engenharia Agrícola**, v. 27, n.3, p.764-772, 2007.

ORRICO JUNIOR, M. A. P; ORRICO, A. A.; JÚNIOR, J. L. Compostagem dos resíduos da Produção Avícola: Cama de Frangos e Carcaças de Aves. **Engenharia Agrícola**, v. 30, p. 538-545, 2010.

PAGANS, E.; BARRENA, R.; FONT, X.; SÁNCHEZ, A. Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. **Chemosphere**, v. 62, n. 9, p. 1534-1542, 2006.

PAIVA, E. C. R.; MATOS, A. T. de; AZEVEDO, M. A.; BARROS, R. T. P. de; COSTA, T. D. R. Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e de leiras estáticas aeradas. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 5, p. 961-970, 2012.

- PEDROSA, T. D., FARIAS C. A. S., PEREIRA R. A., FARIAS, E. T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Nativa**, Sinop. v. 01, n. 01, p. 44-48, out./dez. 2013.
- PEIXOTO, R. T. dos G. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo**. Londrina: IAPAR, 1998.
- PENTEADO, E. D. LAZARO, C.Z., SAKAMOTO, I.K., ZAIAT, M. Influence of seed sludge and pretreatment method on hydrogen Production in packed-bed anaerobic reactors. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.38, n. 14, p. 6137-6145, 2013.
- PEREIRA NETO, J. T. **Manual de compostagem: processo de baixo custo**. Viçosa: UFV, 2007.
- PETRIC, I.; SESTAN, A.; SESTAN, I. Influence of wheat straw addition on composting of poultry manure. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 87, n. 3, p. 206-212, 2009.
- PINHEIRO, L. G.; SILVA, C. A.; LIMA, J. M.; COSTA, A. L. Ácidos orgânicos de baixa massa molar em solos e materiais orgânicos. **Quimica Nova**, v. 36, No. 3, 413-418, 2013.
- PIRES, I. C. G.; FERRÃO, G. E. Compostagem no Brasil sob a perspectiva da legislação ambiental. **Revista Trópica – Ciências Agrárias e Biológicas**. p.01-18, v.09, n.01, 2017.
- PRIMAVESI, A. **Manejo ecológico do solo: a agricultura em regiões tropicais**. São Paulo: Nobel, 1979. 549 p.
- PRIMO, D. C.; MENEZES, T. O. SILVA, T. O. Substâncias húmicas da matéria orgânica do solo: uma revisão de técnicas analíticas e estudos no nordeste brasileiro. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 7, p. 1-15, 2011.
- RAIJ, B. V. **Uso agrícola de biossólido**. Seminário sobre gerenciamento de biossólido do mercosul, 1, 1998. Curitiba. Curitiba: SANEPAR, ABES, 1998. p.147-151.
- RIGOLIN, I. M.; SANTOS, C. H.; CALONEGO, J. C.; TIRITAN, C. S. Estoque de carbono do solo em sistemas vegetais com manejo agrícola diferenciado no oeste paulista. **Colloquium Agrariae (UNIOESTE)**, v. 9, p. 16-29, 2013.
- RODRIGUES, L. C. DE A.; BARBOSA, S.; PAZIN, M.; MASELLI, B. DE S.; BEIJO, L. A.; KUMMROW, F. Fitotoxicidade e citogenotoxicidade da água e sedimento de córrego urbano em bioensaio com *Lactuca sativa*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.10, p.1099–1108, 2013.
- SÁNCHEZ, Ó. J.; OSPINA, D. A.; MONTOYA, S. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. **Waste Management**, v. 69, n. 26, p. 136-153, 2017.

SANTOS, F. T.; LUDWIG, F.; COSTA, L. A. M.; COSTA, M. S. S. M. Nutrition and growth of potted gerbera according to mineral and organic fertilizer. **Revista Brasileira de Horticultura Ornamental**, São Paulo, v. 21, p. 251-258, 2016.

SASAKI, N. Effects of C/N Ratio and pH of Raw Materials on Oil Degradation Efficiency in a Composti Fermentation Process. **Journal of Bioscience and Bioengineerin**. V. 96, n.1, p.47-52, 2013.

SILVA, S.P. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris, e a questão dos catadores**. IPEA - Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. São Paulo 2017. BRASIL. Lei Federal nº 12.305 de 02 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional dos Resíduos Sólidos, altera a Lei no 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. 2010.

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.

SUZESK, M.; SAMPAIO, S. C.; MALLMANN, L. S. Aspectos físicos e químicos do vermicomposto produzido a partir do esterco bovino e compostos de resíduos verdes urbanos. **Engenharia na Agricultura**, v. 15, n.1, p. 39-44, Jan/Mar, 2007.

TATÀNO, F.; PAGLIARO, G.; GIOVANNI, P. di; FLORIANI, E.; MANGANI, F. Biowaste home composting: Experimental process monitoring and quality control. **Waste Management**, v. 38, p. 72–85, 2015.

TONETO, R. J.; SAIANI, C. C.; DOURADO, J.; **Resíduos Sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da Lei Federal nº 12.305 (LEI DE RESÍDUOS SÓLIDOS)**. 1ªEd.Barueri, SP. Editora Manole, 2014.

THOMPSON, A. G.; WAGNER-RIDDLE, C.; FLEMING, R. Emissions of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> during the composting of liquid swine manure. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 91, p.87-104, 2004.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA. **Protocolo de Boas Práticas de Produção de Frangos**. 2008.

VALENTE, B. S. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Archivos de Zootecnia**, Córdoba, v. 58, n. 1, p. 9-85, abr. 2009.

VEGA, M.R.G. **Fundamentos da química orgânica. Humosfera: tratado preliminar sobre a química das substâncias húmicas**. 2005.

VENDRUSCULO, T.P.S. **Glicerina: uma visão geral sobre a produção e métodos de purificação**. BIOCUM. Anais do 6 ° Simpósio Nacional de Biocombustíveis (BIOCUM). Canoas: 2013.

WANG, Q.; AWASTHI, M. K.; ZHAO, J.; REN, X.; LI, R.; WANG, Z.; WANG, M.; ZHANG, Z. Improvement of pig manure compost lignocellulose degradation, organic matter humification and compost quality with medical stone. **Bioresource Technology**, v. 243, p. 771-777, 2017.

WU, L.; MA, Q. C. Relationship between compost stability and extractable organic carbon. **Journal of Environmental Quality**. Madison, v. 31, p. 1323-1328, 2002.

XI, B. D.; HE, X. S.; WEI, Z. M.; JIANG, Y.; LI, M.; LI, D.; LI, Y.; DANG, Q. Effect of inoculation methods on the composting efficiency of municipal solid wastes. **Chemosphere**, v. 88, n. 6, p. 744-750, 2012.

XIE, K. et al. Improved composting of poultry feces via supplementation with ammonia oxidizing archaea. **Bioresource Technology**, v.120, p.70-77, 2012.

XIU-LAN, Z.; LI, B.; NI, J.; XIE, D. Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. **Journal of Integrative Agriculture**, v. 5, p. 232-240, 2016.

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