

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

CLEIDE FEHMBERGER

UNIVERSIDADE DO PARANÁ

RESÍDUOS DA CADEIA DE AVES DE CORTE E GLICERINA BRUTA:
PRODUÇÃO DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS ALTERNATIVOS

PALOTINA

2018

CLEIDE FEHMBERGER

RESÍDUOS DA CADEIA DE AVES DE CORTE E GLICERINA BRUTA: PRODUÇÃO
DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS ALTERNATIVOS

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 Palotina, da Universidade Federal do Paraná.

Orientadora: Prof(a). Dra. Ivonete Rossi Bautitz

Coorientadoras: Prof(as) Dra. Dilcemara Cristina Zenatti.

Dra. Francielly Torres dos Santos

PALOTINA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

F296 Fehmberger, Cleide
Resíduos da cadeia de aves de corte e glicerina bruta:
produção de substratos orgânicos alternativos / Cleide
Fehmberger . – Palotina, 2018
64f.

Orientadora: Ivonete Rossi Bautitz
Coorientadora: Dilcemara Cristina Zenatti
Coorientadora: Francielly Torres dos Santos
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor Palotina, Programa de Pós-graduação em Tecnologias de
Bioprodutos Agroindustriais.

1. Biochar. 2. Células de compostagem. 3. Composto
orgânico. I. Bautitz, Ivonete Rossi. II. Zenatti, Dilcemara Cristina
III. Santos, Francielly Torres dos. IV. Universidade Federal do
Paraná. V. 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

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 **CLEIDE FEHMBERGER** intitulada: **RESÍDUOS DA CADEIA DE AVES DE CORTE E GLICERINA BRUTA: PRODUÇÃO DE SUBSTRATOS ORGÂNICOS ALTERNATIVOS**, após terem inquirido a aluna 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, 06 de Setembro de 2018.


IVONETE ROSSI BAUTITZ

Presidente da Banca Examinadora (UFPR)


ELIANE HERMES

Avaliador Interno (UFPR)


MORGANA SUSZEK GONÇALVES

Avaliador Externo (UTFPR)

“Ao meu esposo, obrigada pelo carinho, paciência e capacidade de me trazer paz na correria diária. Ao meu filho, que embora não tivesse conhecimento disto, iluminou de maneira especial os meus pensamentos e minha vida”.

Dedico

“Todas as vitórias ocultam uma abdicação”. (Simone de Beauvoir)

À minha família, por sua capacidade de acreditar e investir em mim.

Aos meus pais, que não mediram esforços para me ajudar a galgar mais essa etapa em minha vida.

A minha irmã, sua presença significou segurança e certeza de que não estou sozinha nessa caminhada.

Ofereço

AGRADECIMENTOS

A minha amada irmã (*in memoriam*), minha melhor amiga, parceira e confidente, sempre sincera, generosa e sensível, por me permitir viver ao seu lado e estar presente em todos momentos, por ser meu suporte, apoio, fermento. Você será sempre minha referência de perseverança e humanidade. Obrigada por estar ao meu lado ao longo de minha vida e me ajudar alcançar meus objetivos.

A minha orientadora Ivonete Rossi Bautitz, co-orientadora Dilcemara Cristina Zenatti e a professora Eliane Hermes, pela orientação durante todo o desenvolvimento deste trabalho, mas principalmente pelo carinho e amizade, vocês foram essenciais para a conclusão dessa etapa importante em minha vida. Me mostraram que profissionais que realmente amam o que fazem, engajados em fazer a diferença, podem dar um sentido especial a graduação. A vocês meus eternos agradecimentos.

Aos colegas de projeto Cleiton Margato Aloisio, Sara Arruda Franciozi, Simone Theile e Gisele Cruz pela ajuda na realização das tarefas sua contribuição foi muito importante para conclusão desse trabalho.

Aos produtores e empresas que gentilmente forneceram os materiais utilizados na pesquisa.

De modo muito especial agradecer a minha co-orientadora Francielly Torres dos Santos, pela dedicação incondicional, ajuda, paciência, compreensão e orientação, por ter se mostrado mais que uma mentora, uma amiga, com a qual trabalhei, sorri e desabafei, obrigada pelos conhecimentos repassados, não somente científicos e acadêmicos, mas cotidianos e espirituais, que Deus lhe abençoe. As palavras mestre, doutora, professora, apesar de justificarem sua carreira acadêmica nunca farão justiça a você, um ser realmente iluminado. Obrigada por tudo.

RESUMO

Nas últimas décadas o setor avícola tem se desenvolvido rapidamente, tanto para atendimento ao mercado interno como para exportação, o que tem alavancado o agronegócio brasileiro. A cadeia produtiva do frango de corte, gera uma variedade e quantidade considerável de resíduos orgânicos com as mais distintas características. Atualmente, para alguns resíduos da cadeia, o processo de compostagem vem sendo empregado como forma de tratamento, no entanto, devido aos altos teores de nitrogênio o mesmo não ocorre da forma mais adequada. O objetivo deste trabalho foi avaliar a adição da glicerina bruta, em diferentes proporções, como fonte de carbono lábil, para o processo de compostagem dos resíduos produzidos ao longo da cadeia produtiva do frango de corte. Os resíduos orgânicos utilizados foram: cama de frango, lodo de flotador, resíduos de incubatório, carvão remanescente da caldeira (biochar), glicerina bruta, poda de árvores e bagaço de cana de açúcar. O experimento foi montado e conduzido em composteiras construídas utilizando-se paletes. Adotou-se como parâmetros de monitoramento: temperatura a cada três dias, umidade, volume, pH, condutividade elétrica, carbono orgânico total, quantificação de nitrogênio semanalmente, fosforo e potássio, celulose, hemicelulose e lignina no início e final do processo. Como parâmetro microbiológico realizou-se a respiração basal. Todos os tratamentos atingiram temperaturas da fase termofílica (entre 40 e 65 °C), entretanto os tratamentos com adição de GB permaneceram com temperaturas elevadas por um período de tempo maior que o tratamento controle. O tempo médio de compostagem foi de 71,4 dias. A maior redução de massa seca 42,39% pode ser observada no tratamento T6% após 65 dias de tratamento, entretanto a maior redução de volume ocorreu no tratamento T0% 42,72%. O tratamento com maior redução de matéria orgânica foi o T1,5% com 28,88%. De modo geral, os compostos orgânicos obtidos a partir de um sistema de compostagem onde houve adição da glicerina bruta associada ao biochar e resíduos orgânicos agroindustriais, apresentaram valor fertilizante significativo sem presença de agentes fitotóxicos. Sendo assim, o sistema proposto mostrou-se como uma alternativa eficiente para o tratamento dos resíduos da cadeia produtiva do frango de corte e glicerina bruta.

Palavras-chave: Biochar, Células de Compostagem, Composto Orgânico, Reciclagem de nutrientes, Resíduos Agroindustriais.

ABSTRACT

In the last decades, the poultry sector has developed rapidly, both to serve the intern market and to export, which has leveraged Brazilian agribusiness. The production chain of the broiler, generates a variety and considerable amount of organic waste with the most distinct characteristics. Originally, for some chain residues, the composting process has been used as a form of treatment, however, due to the high levels of nitrogen, the same does not occur in the most adequate way. The objective of this work was to evaluate the addition of crude glycerin, in different concentrations, as a source of labile carbon, for the process of composting the residues produced along the production chain of the broiler. The organic residues used were: broiler litter, float sludge, hatchery residue, pyrogenic charcoal, crude glycerin, tree pruning and sugarcane bagasse. The experiment was assembled and conducted in composites constructed using pallets. Was taken as monitoring parameters, the temperature every three days, humidity and weekly volume, PH, electrical conductivity, TOC, quantification of nitrogen, phosphorus and potassium, cellulose, hemicellulose and lignin were evaluated every 15 days, and as a microbiological parameter was used the basal breath. All treatments reached temperatures of the thermophilic phase (between 40 and 65 °C), however, the treatments with CG addition remained at elevated temperatures for a longer period than the control treatment. The average composting time was 71 days. The highest dry mass reduction 42.29% can be observed in the T6 treatment after 65 days of treatment, however the largest reduction in volume occurred in the treatment T0% 42.70%. The treatment with greater reduction of O.M. was the T1.5% with 28.88%. In general, organic compounds obtained from a composting system where there is addition of crude glycerin associated with pyrogenic charcoal and agro industry organic residues, presented significant fertilizer value without the presence of phytotoxic agents, therefore, the proposed system proved to be an alternative efficient for the treatment of the residues of the broiler productive chain and grude glycerin.

Keywords: Biochar, Composting Cells, Organic Compound, Nutrient Recycling, Agro industry residues.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - FASES DA COMPOSTAGEM	22
FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL NA UFPR-SETOR PALOTINA.....	30
FIGURA 3 - A. CONSTRUÇÃO DAS COMPOSTEIRAS. B. DISPOSIÇÃO. C. DIVISÓRIAS E REVESTIMENTO COM TELA	31
FIGURA 4 - DIMENSÕES MÉDIAS DAS COMPOSTEIRAS	31
FIGURA 5 - FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM. A. BA- GAÇO DE CANA. B. PODA DE ÁRVORES URBANAS. C. GLICERINA BRUTA.	32
FIGURA 6 - RESÍDUO DE INCUBATÓRIO.....	33
FIGURA 7 - CAMA DE FRANGO	34
FIGURA 8 - LODO DE FLOTADOR	34
FIGURA 9 - CARVÃO REMANESCENTE DA CALDEIRA.....	35
FIGURA 10 - MONTAGEM EM CAMADAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NAS CÉLULAS DE COMPOSTAGEM.	37
FIGURA 11 - REVOLVIMENTO E HOMOGENEIZAÇÃO DO MATERIAL COMPOSTADO DE CADA CÉLULA.....	37
FIGURA 12 - MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DAS CÉLULAS DE COMPOSTAGEM E DA TEMPERATURA AMBIENTE	44
FIGURA 13 - DIVERSIDADE MICROBIANA PRESENTE NO MATERIAL EM COMPOSTAGEM.....	49
FIGURA 14 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCÍPAIS: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA; CARBONO ORGÂNICO TOTAL; NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL; FÓSFORO TOTAL; POTÁSSIO TOTAL	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – TEOR DE NITROGÊNIO E CARBONO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	35
TABELA 2 - QUANTIDADE EM MASSA NATURAL DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	36
TABELA 3 - REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	38
TABELA 4 - ANÁLISES QUÍMICAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS	42
TABELA 5 -ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS	42
TABELA 6 - PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM	45
TABELA 7 - MASSA SECA DO INÍCIO E FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E REDUÇÃO DE MASSA SECA (%) AO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM.....	46
TABELA 8 - VOLUME INICIAL E FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E REDUÇÃO DE VOLUME (%) AO FINAL DO PROCESSO	47
TABELA 9 - MATÉRIA ORGÂNICA (M.O.) DO INÍCIO E FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E REDUÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA (%) AO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	49
TABELA 10 - CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA AS VARIÁVEIS TEMPO (QUINZENA), RESPIRAÇÃO BASAL (mg CO ₂), COT (%) E TEMPERATURA (°C) NO PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO.....	51
TABELA 11 - PARÂMETROS DE CONTROLE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS IN 25/2006 E IN 25/2009 MAPA.	52
TABELA 12 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS FINAIS DE ACORDO COM A CONCENTRAÇÃO DE GLICERINA BRUTA.....	52

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 OBJETIVOS	14
1.1.1 Objetivo Geral	14
1.1.2 Objetivos Específicos	14
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1 CENÁRIO AVÍCOLA BRASILEIRO	15
2.2 RESÍDUOS ORGÂNICOS PASSÍVEIS DE COMPOSTAGEM.....	15
2.2.1 Resíduo de incubatório.....	16
2.2.2 Cama de frango.....	17
2.2.3 Lodo de flotador	17
2.2.4 Biochar	18
2.2.5 Poda de árvores urbanas	18
2.2.6 Bagaço de cana de açúcar.....	19
2.2.7 Glicerina bruta	20
2.4 COMPOSTAGEM.....	21
2.4.1 Principais fatores que influenciam o processo de compostagem	22
2.4.1.1 Relação carbono/nitrogênio (C:N)	23
2.4.1.2 Temperatura	24
2.4.1.3 Organismos	25
2.4.1.4 Umidade	26
2.4.1.5 Aeração	26
2.4.1.6 Granulometria.....	27
2.4.1.7 pH.....	28
2.5 COMPOSTO ORGÂNICO	28
3 MATERIAL E MÉTODOS	30
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL	30
3.1.1 Características de condução do experimento	30
3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS	32
3.2.1. Resíduos utilizados como fonte de carbono.....	32
3.2.2 Resíduos agroindustriais	32
3.2.2.1 Resíduo de Incubatório	33
3.2.2.2 Cama de frango.....	33
3.2.2.4. Carvão residual	34

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO	35
3.4. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM	38
3.4.1 Parâmetros químicos e físicos avaliados	39
3.4.1.1 pH e condutividade elétrica	39
3.4.1.2 Umidade e Carbono Orgânico Total	39
3.4.1.3 Quantificação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio	40
3.4.1.4 Celulose, hemicelulose e lignina	40
3.4.1.5 Índice de germinação	41
3.4.2 Parâmetro Microbiológico	41
3.4.2.1 Respiração Basal	41
3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA	43
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	44
4.1 MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DURANTE A COMPOSTAGEM	44
4.2 REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME	46
4.3 DEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA	48
4.4 CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE A FASE DE ESTABILIZAÇÃO	50
4.6 EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE GLICERINA BRUTA NO VALOR AGRONÔMICO DO COMPOSTO FINAL	51
5. CONCLUSÃO	57
REFERÊNCIAS	58

1 INTRODUÇÃO

A região sul do Brasil destaca-se em número e desenvolvimento de agroindustriais, tendo a cadeia produtiva da avicultura de corte grande representatividade na região oeste do estado do Paraná. Essa cadeia é marcada por constantes evoluções técnicas em termos de genética, nutrição e ambiência. Essas evoluções permitiram um adensamento constante que aliada as estreitas colaborações entre seus integrantes resultou na conquista do mercado interno e externo gradativamente, suplantando concorrentes na oferta de proteína animal, superando assim os principais fornecedores avícolas mundiais (DE AVILA et al., 2007; FAO, 2017).

O cenário presenciado pela cadeia produtiva do frango de corte revela o desenvolvimento da agroindústria na região. Entretanto, este desenvolvimento vem atrelado à geração significativa de resíduos sólidos orgânicos, altamente poluentes, principalmente os gerados no período que antecede a fase de engorda (incubatório) e durante a fase de abate (lodo de flotor) (COSTA et al., 2017). Atualmente, o destino dos resíduos sólidos orgânicos é feito por meio de contratação de empresas especializadas em tratamento de resíduos industriais, enleiramento e pela compostagem. Pátios de compostagem foram instalados próximos aos centros de produção, apostando em sistemas de leiras revolvidas a céu aberto. Contudo, a restrição de área dos pátios de compostagem somada à rapidez com que os resíduos são produzidos, tem comprometido a qualidade do composto final.

Os resíduos orgânicos agroindústrias possuem elevada quantidade de nitrogênio, por se tratar de material de origem animal. Sendo assim, para que o processo de compostagem ocorra de forma mais eficiente, fontes de carbono precisam ser acrescentadas à composição da massa a ser compostada para balancear a relação carbono/nitrogênio (C:N). Dessa forma, promove-se a estabilização dos resíduos em tempo satisfatório e com o mínimo de perdas de nutrientes, principalmente o nitrogênio, altamente volátil durante a fase termofílica do processo.

A preferência por uma fonte de carbono tem por princípio, especialmente em um segmento econômico, a prontidão na obtenção e a proximidade desta ao local de tratamento. Esta escolha, entretanto, pode não ser a ideal no que se refere à eficiência do processo. Relatos da literatura apontam para a importância da qualidade do

carbono presente na fonte, se degradável ou recalcitrante (LI et al., 2013; KHAN et al., 2014).

A glicerina bruta (GB), coproduto gerado ao fim do processo de produção do biodiesel, necessita de tratamento e destino econômico e ambientalmente adequados. Esse coproduto pode conter até 83% de carbono (glicerol) em sua composição e essa forma, pode ser utilizada como fonte de carbono para o ajuste na relação C:N no processo de compostagem. Além da presença de nutrientes tais como cálcio, magnésio, fósforo e sódio, que exercerem efeito positivo no crescimento de microrganismos (ÇELIK et al., 2008).

Nesse sentido, o estudo da agregação de fontes de carbono a resíduos do complexo avícola torna-se muito importante, pois possibilita a destinação ambientalmente mais adequada para os resíduos orgânicos gerados pelas agroindústrias.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

O objetivo desse trabalho foi avaliar a adição de glicerina bruta associada ao carvão residual, como fonte de carbono lábil para o processo de compostagem de resíduos da cadeia de frango de corte, para produção de substratos orgânicos alternativos.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Verificar a influência do teor de GB nos parâmetros de controle (temperatura, respiração basal e redução de massa e volume);
- Avaliar parâmetros que indiquem a qualidade do composto final, concentração de macro nutrientes e toxicidade do composto, em função dos diferentes teores de GB.
- Verificar se o composto produzido atende as instruções normativas do MAPA para comercialização de fertilizantes orgânicos.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CENÁRIO AVÍCOLA BRASILEIRO

O Brasil destaca-se no agronegócio por sua produção dinâmica, com ênfase para o setor de carnes, o qual graças a um esforço conjunto com melhorias em infraestrutura, pesquisa e financiamentos, conquistou o primeiro lugar nas exportações de carne de frango, seguido pelos Estados Unidos e União Europeia (SINDIAVIPAR, 2017).

Segundo a Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil (CNA) de toda a produção nacional de carne de frango, 1,57 milhão de toneladas foram destinadas ao abastecimento do mercado internacional no ano de 2017, sendo que deste total 36,34% foram produzidos no estado do Paraná. Uma estimativa realizada pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) entre as carnes, a que tenciona maior intensificação de crescimento para o período 2016/17 a 2026/27, é a carne de frango, que deve crescer anualmente 2,8%. Isso representa uma elevação de 29,5% no consumo nos próximos 10 anos, com uma produção alcançando 11,9 milhões de toneladas. Considerando a população total projetada pelo IBGE em 219,0 milhões de pessoas para 2027, tem-se então um consumo de 54,3 kg/hab/ano (CNA, 2018; BRASIL, 2017).

Com o desenvolvimento do setor, toda a cadeia produtiva é beneficiada, gerando emprego e renda para toda região, pois além do produto principal, há também a geração de outras matérias-primas, subprodutos e serviços. Por outro lado, existe a produção de uma quantidade significativa de resíduos ao longo de toda a cadeia, principalmente matrizeiro, incubatório (carcaças e cama de frango) e frigorífico (COSTA et al., 2017). Apesar dos resíduos agroindustriais possuírem elevado potencial poluente, não podem ser considerados como rejeito, pois possuem valor econômico agregado e podem ser tratados e aproveitados no próprio setor (MATOS, 2014).

2.2 RESÍDUOS ORGÂNICOS PASSÍVEIS DE COMPOSTAGEM

A legislação brasileira por meio da Política Nacional dos Resíduos Sólidos Lei 12.305/2010 (BRASIL, 2010), impõe às Indústrias e geradores de resíduos que

elaborem inventário e realizem o gerenciamento de seus resíduos sólidos. Para fins desta resolução entende-se como resíduo sólido industrial “todo o resíduo que resulte de atividades industriais e que se encontre nos estados sólido, semi-sólido, gasoso quando contido e líquido, cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgoto ou em corpos d’água, ou exijam para isso soluções técnicas de tratamento”.

Os resíduos sólidos mais representativos produzidos pela cadeia da avicultura de corte compreendem os resíduos de incubatório, cama de frango, lodo de flotor e biochar/carvão residual remanescente da queima nas caldeiras (CARNEIRO, 2012).

2.2.1 Resíduo de incubatório

O incubatório é a unidade produtiva da agroindústria avícola responsável pelo desenvolvimento embrionário de ovos férteis. Ao longo do processo de incubação podem ocorrer perdas (de 8 a 12% dependendo da eficiência do sistema) dos ovos destinados à produção dos pintainhos, resultando em uma quantidade significativa de resíduos. Os resíduos de incubação são compostos por ovos inférteis, casca de ovos, pintainhos natimortos, mortalidade provinda da transferência da incubadora para o nascedouro e má formação durante o desenvolvimento embrionário (ARAÚJO; ALBINO, 2011).

Um dos grandes entraves da indústria avícola são os custos de processamento e armazenagem do resíduo de incubatório, pois o material possui elevado teor de umidade, baixa degradabilidade, alto risco de contaminação e emissão de gases. Dessa forma, torna-se motivo de preocupação, pois o manejo inadequado do resíduo pode trazer riscos à saúde e ao bem-estar da população, uma vez que o material é fonte de agentes infecciosos, como *Salmonella*, *Pseudomonas* e *Clostridium*, além de que o material pode promover o desenvolvimento de vetores, como insetos, vermes e pequenos roedores (MATTER, 2011). Em contrapartida, os resíduos de incubatório possuem uma elevada concentração de cálcio (CaCO_3) de cerca de 60% e toda uma gama de micronutrientes, auxiliando na redução da acidez do solo (CORRÊA; MIELE, 2011).

2.2.2 Cama de frango

A cama de frango é composta de material absorvente (maravalha, serragem, sabugo de milho triturado, capins e restos de culturas), a qual é distribuída sobre o solo compactado mecanicamente para servir de leito para as aves, absorver água e urina, incorporar as fezes, penas e descamações de pele, bem como restos de alimentos que caem dos comedouros. Além disso, auxilia na redução de oscilações bruscas de temperatura no interior do aviário. Devido à crescente escassez e aumento no valor do substrato de boa qualidade, utilizado como base para a cama de frango, concomitante ao aumento da produção de proteína, as integradoras têm optado por reutilizar a cama de frango para a criação de 6 a 12 lotes de aves para abate. No entanto, após sua utilização ou aparecimento de algum problema sanitário, a cama deve ser retirada e substituída por uma nova (CONCEIÇÃO et al., 2012).

Uma técnica extensivamente empregada no campo é o aproveitamento da cama de frango como adubo para culturas sazonais e pastagens. Além de conter macronutrientes como nitrogênio, potássio e fósforo e micronutrientes como enxofre, zinco, cálcio, magnésio, ferro e cobre, a cama de frango também possui matéria orgânica, que contribui para melhorar a capacidade de infiltração e retenção de água e nutrientes no solo, pois facilita o crescimento das raízes das plantas (ALBERNAZ, 2010).

Todavia, a utilização da mesma cama em lotes de frango subsequentes, promove uma elevação na carga biológica, o que favorece a perpetuação de patógenos, por isso é fundamental que antes do descarte do resíduo, seja aplicado algum tipo de tratamento, voltado a adequação dos parâmetros físico-químicos e redução da carga biológica, objetivando minimizar riscos à saúde humana, animal e ao meio ambiente (ALBERNAZ, 2010).

2.2.3 Lodo de flotador

Processos de flotação como tratamento primário são comumente utilizados em efluentes líquidos que apresentam alta carga de óleos e graxas suspensos como é o caso dos abatedouros e indústrias de processamento de carnes, tendo por finalidade elevar a eficiência da remoção de matéria orgânica presente no efluente líquido (SENA, 2009).

Com a remoção de sólidos do tratamento físico-químico (coagulação e flotação), uma grande quantidade de biomassa (lodo) é gerada, sendo esta geralmente destinada para descarte ou a aterros sanitários, acabando por gerar resíduos indesejáveis como, chorume e metano, poluindo a água, o ar e o solo. No entanto, por se tratar de um resíduo rico em nitrogênio uma opção alternativa, seria a submissão desse material ao processo de compostagem permitindo seu uso como composto orgânico na agricultura (GRAEPIN et al., 2014).

2.2.4 Biochar

O biochar ou carvão residual é um dos subprodutos da carbonização de biomassa (carvão). Segundo Lima et al. (2013), devido a queima incompleta, este resíduo apresenta altas concentrações de carbono pirogênico e baixo teor de nitrogênio, o que lhe confere uma elevada razão C:N e baixa taxa de mineralização, podendo ser adicionado ao solo com a função de melhorar suas qualidades físicas e químicas. A criação de grupos funcionais é o que lhe permite reter nutrientes junto ao complexo de trocas de cargas do solo (CTC) (FISCHER; GLASER, 2011). Outra função destacada por Joyce (2010), é que a inoculação de um solo com biochar devidamente acondicionado pode incentivar a formação de conjuntos altamente benéficos estruturais de micorrizas ao longo do tempo. As micorrizas tem função de aumentar a área de absorção das raízes colaborando para o crescimento de vegetais.

Benites et al. (2014) defende que a maneira mais indicada para adicionar o biochar ao solo é através do processo de compostagem, que permite a oxidação pela temperatura elevada e a ação biótica dos microrganismos inoculados que degradam o carbono disponível. Nesse processo, o biochar pode ser combinado com biomassa rica em nitrogênio para que haja uma boa relação C:N entre materiais estruturantes e energéticos, como tem sido visto em usos com esterco de galinha e em banheiros secos na Índia. Joyce (2010) expõe que em situações em que o biochar foi adicionado diretamente ao solo houve a ocorrência de alterações indesejadas no pH, umidade, ou disponibilidade de nutrientes.

2.2.5 Poda de árvores urbanas

A arborização urbana é considerada como todo tipo de vegetação arbórea

existente dentro do perímetro urbano, em ruas praças, parques, jardins e áreas livres de edificações (BOBROWSKI; BIONDI 2014). A manutenção e limpeza das árvores e vegetação dessas áreas gera resíduos orgânicos. Os resíduos de poda de árvores urbana são gerados nos municípios e normalmente são destinados aos aterros sanitários. No entanto, as galhadas possuem alto poder calorífico, bem como carbono que pode ser decomposto, sendo assim passível de ser compostado (RODRIGUES et al., 2014).

Esse resíduo orgânico é composto por carboidratos, aminoácidos, ácidos graxos, celulose e hemicelulose e lignina, dentre outros. O complexo formado pela lignina, celulose e hemicelulose constitui a formação de uma macromolécula denominada lignocelulose, extremamente importante no processo de compostagem (COSTA et al., 2017).

Sendo assim, a correta destinação dos resíduos urbanos é importante para o desenvolvimento sustentável. A coleta seletiva, a reciclagem e a compostagem do resíduo orgânico e poda de árvores urbanas reduzem a quantidade de resíduos a serem dispostos nos aterros (SOUSA et al., 2017).

2.2.6 Bagaço de cana de açúcar

A cana de açúcar é utilizada na produção de açúcar, para a maior parte dos países tropicais, é um dos principais materiais utilizados para a bioconversão em etanol (GOUVEIA et al., 2009). O Brasil é o maior produtor de cana de açúcar e paralelo a sua produção, gera-se o bagaço de cana de açúcar. O bagaço de cana é o principal exemplo de subproduto da agroindústria brasileira, que pode ser reaproveitado como adubo ou fonte de energia (como combustível), com baixo custo (SANCHEZ et al., 2010).

O bagaço, um resíduo lignocelulósico fibroso obtido da última moagem da cana, é formado por um conjunto de partículas heterogêneas (grãos e fibras). (GOUVEIA et al., 2009). Diante da composição química do bagaço de cana de açúcar, este resíduo demonstra-se com potencial para ser utilizado no processo de compostagem como fonte de carbono. Segundo Paiva et al., (2013) ao submeterem ao processo de compostagem bagaço de cana, casca de café e cama de frango, constatou-se a eficiência em redução de volume e sólidos.

2.2.7 Glicerina bruta

Com a crescente demanda mundial por fontes de energia é recorrente a utilização do biodiesel como combustível, visto que ele tem apresentado um potencial promissor no mundo inteiro. Fato confirmado pela sua enorme contribuição ao meio ambiente, reduzindo qualitativa e quantitativamente os níveis de poluição ambiental, bem como sua utilização como fonte estratégica de energia renovável em substituição ao óleo diesel e outros derivados do petróleo (APOLINÁRIO et al., 2012).

Na produção de biodiesel, mesmo diante dos ganhos econômicos e ambientais, existe a preocupação no que se refere à geração de resíduos. Neste processo tem-se um subproduto conhecido como glicerina bruta, que é composta em maior proporção por glicerol, ácidos graxos e metanol, conferindo-lhe assim alto potencial poluidor (CUBAS et al., 2010).

A transesterificação é um dos processos para a produção do biodiesel, que é baseado em uma reação química que, sinteticamente, é a reação de um óleo vegetal com um álcool simples, em geral, metanol ou etanol. A reação é catalisada por um ácido ou uma base, podendo ser utilizado o hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio. Nessa reação, as moléculas principais dos óleos e gorduras, os chamados triacilgliceróis, são separados em ácidos graxos e glicerina (LARSEN, 2009). Os termos glicerina ou glicerol tem como nome oficial pela *International Union of Pure and Applied Chemistry* (IUPAC) propano – 1, 2, 3 – triol (MENDES; SERRA, 2012).

Para utilizar a glicerina residual é necessária sua purificação, devido à presença de substâncias tóxicas como NaOH, no entanto, o processo de purificação é oneroso. Em contrapartida, na glicerina bruta há elevada quantidade de glicerol que pode ser submetido a processos de decomposição por ser facilmente utilizada pelos microrganismos para a obtenção de energia (SANTIBÁÑEZ et al., 2011).

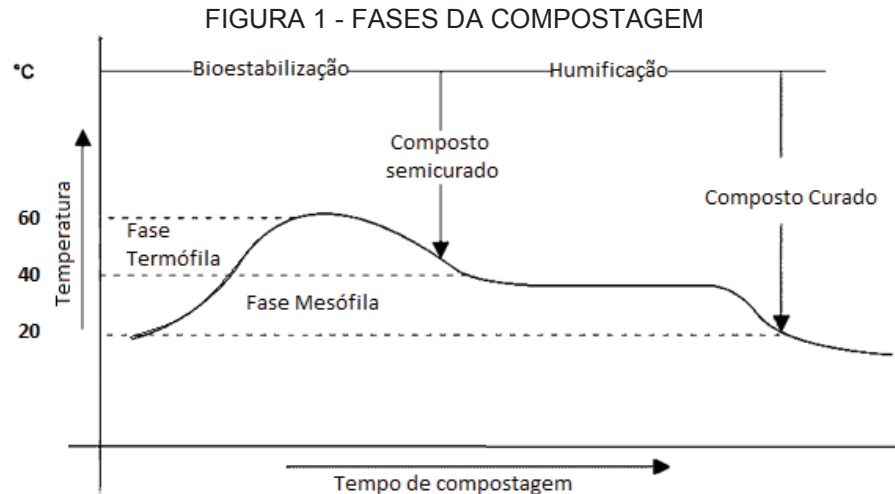
Com o intuito de evitar futuros problemas derivados da acumulação de glicerol e para tornar a produção de biodiesel mais competitiva, torna-se necessário a busca de alternativas para o uso do glicerol bruto gerado nesta produção (RIVALDI et al., 2007). Sendo assim, diante dos custos para a purificação da glicerina bruta, sua utilização como fonte de carbono para o processo de compostagem, que converte resíduos orgânicos em adubos orgânicos, apresenta-se como uma alternativa interessante.

2.4 COMPOSTAGEM

A compostagem segundo Kiehl (1985), é um processo controlado de decomposição bioquímica de materiais orgânicos, transformando-os em um composto estável passível de ser utilizado como fertilizante. O mesmo ocorre no meio ambiente, entretanto, pode ser obtido mais rapidamente, se mantidas as condições ideais de temperatura, umidade e aeração. De acordo com Costa et al. (2009a), o processo de compostagem consiste basicamente na produção de um composto por meio da condição e mistura de materiais orgânicos, de origem vegetal e animal, através da ação de microrganismos.

Outra inferência, considera compostagem a conversão biológica dos resíduos orgânicos, por microrganismos como bactérias, fungos, actinomicetos, protozoários, algas, além de larvas, insetos etc., sob condições aeróbias em composto orgânico. Como resultado da digestão de substâncias orgânicas imobilizadas por microrganismos específicos para cada fase, ocorre à liberação de nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio em elementos minerais prontamente disponíveis para as plantas (PEDROSA et al., 2013). Este pode ser incorporado ao solo como adubação orgânica e com valor agregado, bem como comercializado como substratos orgânicos para a produção de mudas ou hortaliças, desde que atenda as exigências mínimas de qualidade prevista na Portaria N° 25/2009 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (BRASIL, 2009).

O processo de compostagem ocorre em duas fases: a termofílica onde ocorre a bioestabilização do resíduo por reações bioquímicas intensas a temperaturas de 45 a 65 °C, com conseqüente degradação e eliminação de agentes patogênicos do material e a fase mesófila onde ocorre a maturação ou cura, caracterizada pela estabilização/humificação e mineralização do material, tornando-o assim, pronto para o uso como fertilizante orgânico (MATOS, 2014) (FIGURA 1).



Fonte: Adaptado de D'ALMEIDA & VILHENA, (2000).

Quanto maior a variedade de materiais orgânicos presente no processo de compostagem, maior será a diversidade de microrganismos ativos no solo. Entretanto, é indispensável no processo a presença de duas fontes distintas sendo uma de origem animal (que será fonte de nitrogênio) e outra de resíduos vegetais (que será fonte de carbono) (MAGALHÃES et al., 2006).

A definição dos materiais a serem introduzidos no processo de compostagem, consideram além da disponibilidade, fator preponderante nesta situação, a eficiência das opções existentes (ORRICO JUNIOR et al, 2010), visto que, a qualidade do carbono irá determinar fatores importantes no processo, como a otimização do pátio de compostagem, que engloba o tempo de compostagem e a redução de massa e volume. Neste sentido, fontes de carbono de fácil biodegradação apresentam menor tempo de compostagem e maiores reduções de massa e volume. Portanto, o conhecimento das frações que compõem o material vegetal (lignina, celulose e hemicelulose) torna-se necessário como ferramenta para a escolha do resíduo a ser utilizado (KIEHL, 2010).

2.4.1 Principais fatores que influenciam o processo de compostagem

Segundo Kiehl (1998), o composto, produto da compostagem, é resultado de um processo controlado de decomposição bioquímica do material orgânico, promovida por microrganismos, transformando toda matéria prima em um produto mineralizado, livre de contaminantes como metais pesados e patógenos.

A fim de assegurar que o composto final esteja adequado para incorporação ao solo, deve-se monitorar parâmetros que assegurem a eficiência do processo de compostagem ao longo do tempo tais como relação C:N, umidade, aeração, granulometria do material, temperatura, pH, tipo de compostos orgânicos, e dimensões das leiras (VALENTE et al., 2009), bem como daqueles que revelam o potencial fertilizante do produto final como, concentração de macronutrientes, porcentagem de perdas de nutrientes e toxicidade.

Além disso, avaliar a atividade microbiológica durante a compostagem, permite fazer inferências da decomposição da matéria orgânica. A respiração basal é um dos parâmetros mais antigos utilizados para quantificar a atividade metabólica da população microbiana e desta forma avaliar o grau de estabilidade biológica do material compostado (TANG et al., 2007; SILVA et al., 2010).

2.4.1.1 Relação carbono/nitrogênio (C:N)

A quantidade de nutriente disponível para os microrganismos do meio pode ser considerada uma das variáveis mais importantes, pois o atendimento da demanda nutricional irá impactar diretamente na eficiência do processo de degradação do material, bem como definir a qualidade agronômica do composto final (BERNAL et al., 2009).

Segundo Kiehl (2010), o ajuste da relação C:N é essencial para que não ocorram limitações nas taxas de degradação do material orgânico. A relação C:N abaixo de 15:1 limita o substrato energético disponível para a ação dos microrganismos e assim diminui a eficiência de degradação do material orgânico das leiras, com elevada perda de amônia. Enquanto que relações acima de 40:1 apresentam baixa disponibilidade de N, limitando a proliferação e atividade microbiana, resultando na ineficiência de degradação dos resíduos na compostagem. As relações entre 20 a 40:1 são as que apresentam os melhores desempenhos no processo de compostagem. A idealização do sistema de tratamento, além de ajustes técnicos dos parâmetros de controle e métodos a serem adotados, deve considerar a disponibilidade da fonte de carbono (fator limitante em um pátio de compostagem), para que esta não venha encarecer e tornar inviável o processo.

2.4.1.2 Temperatura

Em geral, a matéria orgânica em decomposição libera calor devido ao metabolismo dos microrganismos, no entanto este se dissipa e o material, normalmente, não se aquece. O mesmo não ocorre na compostagem de resíduos orgânicos em montes, ou em condições controladas, pois quando trabalha-se com grandes volumes, o calor produzido se acumula e a temperatura alcança valores elevados, podendo chegar à cerca de 80 °C (KIEHL, 1998).

Kiehl (1998), afirma que a elevação na temperatura pode ser relacionada a vários fatores como materiais ricos em proteínas, baixa relação C:N, umidade e outros. Materiais triturados com menor granulometria e maior homogeneidade, formam leiras com melhor distribuição de temperatura e menor perda de calor.

Com intuito de elucidar a variação da temperatura em um sistema de compostagem, segue descrito, quatro importantes fases da temperatura durante o processo. Fase mesofílica: período de adaptação dos microrganismos a leira, ocorre a decomposição das moléculas quimicamente mais simples, predominância de temperaturas moderadas 40 °C com duração média de dois a cinco dias. Fase termofílica: quando a matéria orgânica previamente oxidada sofre processo de humificação, o processo de compostagem atinge sua temperatura máxima (> 50 °C) e a degradação ocorre de forma mais intensa. Esta fase pode ter a duração de alguns dias a meses, de acordo com as características do material a ser compostado. Após essa fase restaram apenas as moléculas mais complexas, a população bacteriana é baixa, há atuação principalmente de fungo e actomicetos e a temperatura oscila entre 30 e 45°C. Fase de resfriamento: é determinada pela queda da temperatura para valores da temperatura ambiente. Fase da maturação: é o período de estabilização que produz um composto maturado, estabilizado e humificado, livre de patógenos. O composto estabilizado, além de ter temperatura igual à ambiente, apresenta-se quebradiço quando seco, moldável quando úmido, não atrai moscas e não tem cheiro desagradável (BERNAL et al., 1998).

2.4.1.3 Organismos

O processo de compostagem ocorre basicamente devido a atuação de diferentes comunidades de microrganismos como bactérias, actinomicetos, leveduras e fungos, que predominam em diferentes fases da compostagem. No entanto, a fragmentação da matéria orgânica acontece devido a ação combinada da macro e mesofauna (larvas, formigas, besouros e acáros) (BERNAL et al, 2009).

Na primeira fase da compostagem (mesófila), atuam microrganismos (larvas, bactérias e fungos) que metabolizam o nitrogênio orgânico convertendo-o em nitrogênio amoniacal e com o decorrer do processo de decomposição, as concentrações de amônia no substrato podem diminuir devido a volatilização ou conversão à forma de nitratos, ou pela nitrificação. Esse fenômeno é acidificante e contribui para que o composto maturado seja mais ácido do que o material original, porém, se houver condições de anaerobiose, o nitrato será perdido por nitrificação e este fenômeno tem efeito alcalinizante (BERNAL et al, 2009).

Na segunda etapa do processo de compostagem a atividade metabólica dos microrganismos promove um aumento na temperatura da massa das leiras. Quando essas encontram-se superiores a 40 °C começam a predominar os microrganismos termofílicos, como actinomicetos, bactérias e fungos termotolerantes, responsáveis pela decomposição acelerada dos compostos formados por carbono simples e com menor peso molecular. Nessa fase, as temperaturas ultrapassam os 55 °C, promovendo a eliminação dos microrganismos patogênicos para os humanos ou para as plantas. No entanto, em temperaturas acima dos 65 °C a maioria dos microrganismos serão eliminados, incluindo aqueles responsáveis pela decomposição, havendo portanto, a necessidade de controle constante da umidade e aeração, pois estas interferem diretamente na temperatura da massa das leiras (KIEHL, 1985).

Passado a fase termófila, o composto vai perdendo calor e volta a ser povoado por microrganismos como fungos e bactérias mesófilos. Nessa fase o processo de decomposição é mais lento, pois a única fonte de alimento é a celulose, hemicelulose e a lignina que serão as últimas a serem degradadas. Com o findar do material orgânico disponível a temperatura da leira reduz para a temperatura ambiente, e o composto passa a ser povoado mais intensamente pela mesofauna (KIEHL, 1985).

2.4.1.4 Umidade

A existência de água é indispensável para o bom desenvolvimento da compostagem, pois se trata de um processo biológico de decomposição da matéria orgânica, onde a presença de água é fundamental para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. No entanto, esse parâmetro deve estar em equilíbrio, pois a escassez ou excesso de água pode retardar o processo de compostagem (SILVA, 2007). Faixas de umidade maior que 65% trazem prejuízos a aeração, entretanto, umidade menor que 40% pode provocar a inibição da atividade microbiológica, diminuindo a velocidade de degradação do material orgânico (MATOS, 2014).

Como a compostagem é um processo aeróbio, na prática, a umidade ideal deve ser manejada com base na capacidade de aeração da massa de compostagem, ou seja, as características físicas dos materiais como: porosidade e estrutura, visando sempre satisfazer a demanda microbiológica por oxigênio (PEREIRA NETO, 1996). Em caso de excesso de umidade as partículas agregam-se, o que diminui a resistência estrutural da leira, restringindo a difusão de oxigênio pelo composto, reduzindo conseqüentemente a temperatura média da leira (para faixa mesofílica de 20 a 40 °C) e a concentração de oxigênio para valores menores que 5% (POINCELOT, 1975; WILLSON et al., 1976).

Caso o processo decorra em condições de excesso de água, a velocidade de degradação da matéria orgânica diminuirá e condições anaeróbicas se instalarão na massa de compostagem promovendo conseqüências indesejáveis, tais como odores, atração de vetores, formação de chorume, ineficiência da eliminação de patógenos, etc. Por outro lado, teores de umidade baixos, menores do que 40%, inibem a atividade microbiológica, diminuindo a taxa de estabilização (PEREIRA NETO, 1987).

2.4.1.5 Aeração

Aeração é de vital importância para o sistema de compostagem, pois é possível regular a temperatura, remover umidade em excesso e fornecer oxigênio aos microrganismos que realizam a decomposição. Esse processo eleva a atividade biológica, gerando energia que parte será utilizada no metabolismo dos microrganismos e parte será liberada na forma de calor (BERNAL et al., 2009).

A decomposição do material orgânico pode ocorrer por dois processos: na presença de oxigênio (aeróbio) e na sua ausência (anaeróbio). Quando há disponibilidade de oxigênio livre, o tempo de duração do processo até a sua estabilização é mais rápida, predominam microrganismos aeróbios, sendo os agentes mais destacados os fungos, bactérias e actinomicetos (PEIXOTO, 1981). O processo anaeróbio, além de necessitar de mais tempo até a estabilização, tem o inconveniente de gerar mau cheiro, devido a não liberação completa do nitrogênio na forma de amônia, com a conseqüente formação de aminas incompletas, mau cheirosas, as quais devem ser oxidadas para perder esta característica (KIEHL, 1998).

Segundo Kiehl (2010) a aeração da leira depende da granulometria e teor de umidade dos materiais utilizados no processo de compostagem e pode ser realizada por revolvimento do composto, ou aeração forçada por insuflação ou aspiração de ar nos espaços vazios da massa.

2.4.1.6 Granulometria

O tamanho das partículas e sua distribuição na leira são muito importantes para o crescimento dos microrganismos e a preservação da porosidade apropriada para que se mantenha a aeração da massa. Normalmente, os materiais a serem compostados possuem diferentes tamanhos de partículas. Portanto, para que o processo de compostagem ocorra de forma eficiente, torna-los o mais uniformes possível é o ideal (KIEHL, 1985).

A fragmentação desses materiais aumenta a área superficial para atuação dos microrganismos e favorece o aumento da atividade bioquímica durante o processo de compostagem. Contudo, partículas muito pequenas reduzem o espaço para o oxigênio, e acabam retendo mais umidade comprometendo a aeração e favorecendo a instalação de um processo anaeróbio indesejado. Portanto, partículas com tamanho entre 2,5 a 7,5 cm são as mais indicadas para dar início ao processo (KIEHL, 1985). Contudo, há também a necessidade de avaliação da viabilidade econômica de se obter partículas menores.

2.4.1.7 pH

O pH ideal não é um fator essencial para que a compostagem aconteça. Contudo, deve ser considerado para se evitar perdas de nitrogênio relevantes por volatilização da amônia, que pode ser particularmente elevada em $\text{pH} > 7,5$, bem como utilizado como indicativo do estado de decomposição dos resíduos orgânicos (BERNAL et al., 2009). Um pH de 6,7 a 9,0 promove boa atividade microbiana durante a compostagem, embora os valores considerados ótimos estão entre 5,5 e 8,0. Durante a primeira fase da compostagem, o pH do material será levemente ácido devido a atuação dos microrganismos sobre a matéria orgânica crua, o que irá favorecer a proliferação de fungos e a decomposição da celulose e da lignina nas fases seguintes. O pH aumenta gradualmente com a oxidação dos ácidos e materiais mais complexos levando a estabilização do composto orgânico com valores neutros a levemente alcalinos. Assim, valores baixos de pH são indicativos de falta de maturação devido à curta duração do processo ou à ocorrência de processos anaeróbios no interior da pilha em compostagem (KIEHL, 1985).

2.5 COMPOSTO ORGÂNICO

Denomina-se como composto orgânico a matéria orgânica resultante da decomposição microbiológica de resíduos e restos vegetais, sendo este bioestabilizado, homogêneo, sem exalação de cheiro desagradável, de pigmentação escurecida e livre de microrganismos patogênicos (KIEHL, 2010).

O composto orgânico é rico em nutrientes, porém as concentrações de cada elemento serão determinadas pelas matérias primas utilizadas no processo. Por possuir como característica a liberação de macro e micronutrientes de forma mais lenta é um excelente estruturador para o solo, pois além de contribuir com a fertilidade do terreno, atuando nas propriedades físicas, químicas e biológicas, favorece o rápido enraizamento das plantas e aumenta a capacidade de infiltração da água no solo, diminuindo a erosão (KIEHL, 1993).

De acordo com Severino et al. (2004), a aplicação de fertilizantes orgânicos tem vantagens quando comparado aos de origem mineral devido a liberação gradual dos nutrientes, o que permite o máximo de seu aproveitamento pelas plantas. Os

nutrientes minerais são prontamente disponibilizados no solo, sendo assim, pode ocorrer uma perda maior dos nutrientes por volatilização (nitrogênio), fixação (fósforo) ou mesmo lixiviação (potássio).

Segundo Matos (2014) o melhor substrato deve apresentar, dentre outras características importantes, disponibilidade de aquisição, baixo custo de frete, ausência de patógenos, elevada concentração de nutrientes essenciais e pH, textura e estrutura adequados.

No Brasil, a Instrução Normativa N° 25 de 23 de julho de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2009), aprova as normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos, organominerais e biofertilizantes destinados à agricultura. 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, onde 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, onde, metais pesados tóxicos, elementos ou compostos orgânicos sintéticos potencialmente tóxicos são utilizados no processo, resultando em produto de utilização segura 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 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 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, 2017). Na Figura 2 é demonstrada a localização da área experimental. Sendo o estudo conduzido em pátio coberto, não sombreado e impermeabilizado para evitar lixiviação.

FIGURA 2 - LOCALIZAÇÃO DA ÁREA EXPERIMENTAL NA UFPR-SETOR PALOTINA.



Fonte: Adaptado Google Earth Pro (imagem 2016).

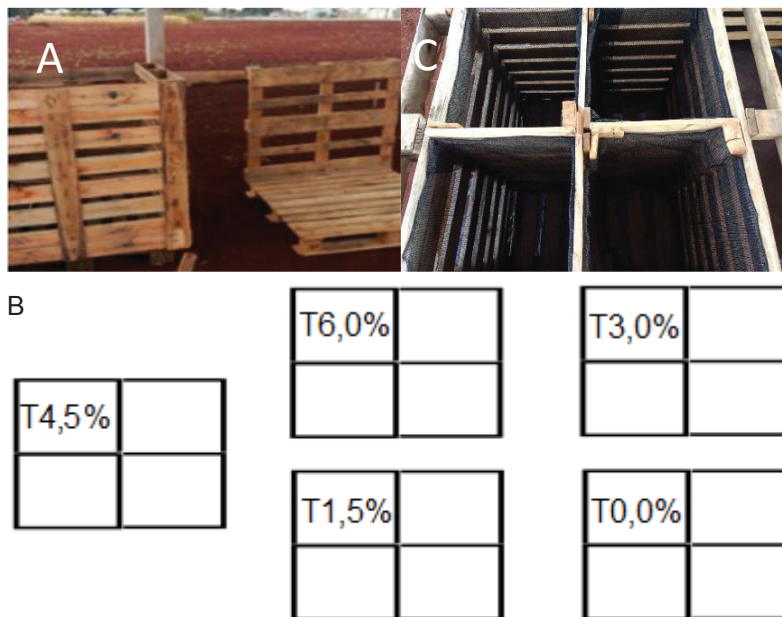
3.1.1 Características de condução do experimento

O processo de compostagem dos resíduos orgânicos agroindustriais foi conduzido em 5 composteiras construídas com paletes. A elaboração foi realizada com um palete de base e quatro paletes perfazendo as paredes (FIGURA 3 A). Construiu-se 4 divisórias dentro de cada composteira, de modo que cada uma possuísse 4 repetições de cada tratamento, revestidas com tela permeável, denominadas de células de compostagem (FIGURA 3 C).

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, composto

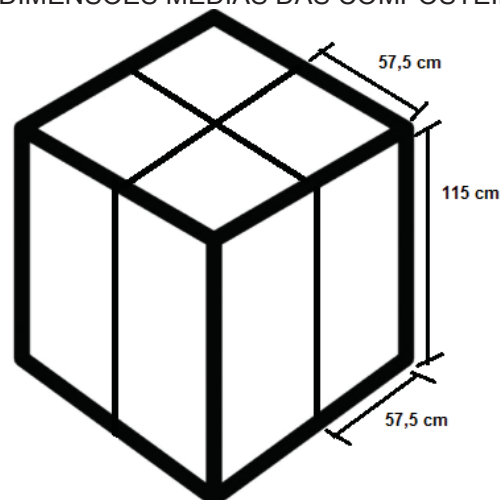
por cinco tratamentos e quatro repetições (cada composteira foi dividida em quatro partes), totalizando 20 unidades experimentais. As composteiras foram confeccionadas manualmente e dispostas (FIGURA 3 B) sobre lona para impermeabilização, pois o pátio de compostagem não possuía piso, somente cobertura para proteção da incidência solar direta e das chuvas. Na Figura 4 é apresentada as dimensões médias das composteiras.

FIGURA 3 - A. CONSTRUÇÃO DAS COMPOSTEIRAS. B. DISPOSIÇÃO. C. DIVISÓRIAS E REVESTIMENTO COM TELA



FONTE – O autor (2017).

FIGURA 4 - DIMENSÕES MÉDIAS DAS COMPOSTEIRAS



FONTE – O autor (2017).

3.2 CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS

Conforme o delineamento experimental os resíduos foram discriminados de acordo com suas características como: resíduos utilizados como fonte de carbono e os resíduos da cadeia produtiva de aves os quais configuram-se como fontes de nitrogênio.

3.2.1. Resíduos utilizados como fonte de carbono

Utilizou-se no processo de compostagem diferentes resíduos como fontes de carbono, sendo eles: poda de árvores urbanas, bagaço de cana de açúcar e glicerina bruta. O bagaço de cana foi adquirido em uma garapeira da região (FIGURA 5 A) e a poda de árvore foi viabilizada pelo município de Palotina (FIGURA 5 B). A glicerina bruta (GB) foi adquirida de uma usina localizada no norte do estado do Paraná (FIGURA 5 C), é proveniente da reação de transesterificação de óleos vegetais e gorduras animais, ou seja, é um coproduto da produção do biodiesel. Devido ao estado líquido a GB foi agregada ao carbono residual (carvão) (FIGURA 5 D), com a função de agente estruturante no processo, para evitar seu escorrimento.

FIGURA 5 - FONTES DE CARBONO NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM. A. BAGAÇO DE CANA. B. PODA DE ÁRVORES URBANAS. C. GLICERINA BRUTA.



FONTE: O autor (2017).

3.2.2 Resíduos agroindustriais

Os resíduos utilizados neste experimento foram fornecidos por uma cooperativa de abate de aves de corte e produtores de engorda de aves da região oeste do

Paraná. Os resíduos orgânicos agroindustriais (resíduo de incubatório, cama de frango, lodo de flotador) configuram-se como as fontes de nitrogênio necessárias ao processo de compostagem.

3.2.2.1 Resíduo de Incubatório

Os resíduos gerados no processo industrial de incubação de ovos (FIGURA 7) são compostos por cascas de ovos, películas, penugem, ovos não-eclodidos, pintainhos mal-formados e natimortos (COSTA et al., 2017). Os resíduos de incubatório fornecidos pela cooperativa foram acondicionados em recipientes de 20 L até sua utilização.

FIGURA 6 - RESÍDUO DE INCUBATÓRIO



FONTE: O autor (2017).

3.2.2.2 Cama de frango

A cama de frango (FIGURA 8) é composta de maravalha e fezes de aves. Após reutilização (entre 6 a 9 lotes) a mesma é destinada a aplicação em áreas agrícolas, ou fornecida para uma empresa privada para produção de organominerais.

Este resíduo em particular foi cedido por um integrado da cooperativa, o mesmo foi coletado após a retirada do 9º lote de frango de corte, sendo que cada lote permaneceu sobre a cama por quarenta e cinco dias. A cama de frango foi acondicionada seco, em sacarias de rafia até sua utilização.

FIGURA 7 - CAMA DE FRANGO



FONTE: O autor (2017).

3.2.2.3. Lodo de flotador

O lodo de flotador é gerado no processo de tratamento de efluentes da linha vermelha, na etapa de flotação o qual é físico-químico. Ainda na tubulação, antes de entrar nos flotadores, é dosado sobre o efluente, produtos químicos como o cloreto férrico que tem função coagulante, e o polímero aniônico. Acoplado ao flotador há um tanque de pressão cuja função é formar microbolhas que contribuem para o método de flotação da matéria orgânica, promovendo a floculação do material em suspensão. O efluente floculado entra no flotador, onde as microbolhas formadas carregarão a gordura para a superfície de forma que a mesma seja raspada por um removedor de flotado (VALÉRIUS, 2013) (FIGURA 9).

FIGURA 8 - LODO DE FLOTADOR



FONTE: O autor (2017).

3.2.2.4. Carvão residual

O carvão é o resíduo remanescente da queima incompleta de cavacos de madeira da caldeira de frigoríficos (FIGURA 10). O carvão residual utilizado no experimento foi fornecido por uma empresa da região com atuação em soluções ambientais para resíduos agroindustriais, proveniente da caldeira de abatedouro de

aves. O carvão atuou no processo como absorvente para a glicerina, para facilitar o seu manuseio devido ao seu estado físico líquido viscoso.

FIGURA 9 - CARVÃO REMANESCENTE DA CALDEIRA



FONTE: O autor (2017).

3.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

Os tratamentos foram constituídos dos resíduos orgânicos proveniente de uma indústria de beneficiamento de aves de corte, bem como diferentes proporções de glicerina bruta (GB) na massa natural do material compostado: 1,5; 3,0; 4,5 e 6,0% de GB, denominando os tratamentos em T0,0; T1,5; T3,0; T4,5 e T6,0, respectivamente sendo o tratamento controle realizado sem a adição de GB (T0,0). As proporções de glicerina bruta foram definidas de acordo com literatura (ORRICO JUNIOR, 2010). A caracterização quanto ao teor de nitrogênio total Kjeldahl (NTK) e carbono orgânico total (COT) dos resíduos orgânicos utilizados no processo de compostagem é apresentada na Tabela 1.

TABELA 1 – TEOR DE NITROGÊNIO E CARBONO DOS RESÍDUOS UTILIZADOS NO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Resíduos orgânicos	COT%	NTK%	C:N
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

Fonte: O autor (2017)

Os tratamentos foram definidos em função da composição de carbono e

nitrogênio dos resíduos, fixando a relação C:N de aproximadamente 26/1 para todos os tratamentos (Tabela 2). 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 relação C:N.

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

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

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

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

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

Resíduos orgânicos (kg)	Teor de Glicerina Bruta (%)				
	0,0	1,5	3,0	4,5	6,0
Bagaço de cana	13,00	13,00	13,00	13,00	13,00
Poda de árvore	15,00	15,00	15,00	15,00	15,00
Lodo de flotor	10,00	11,00	12,50	13,50	15,00
Incubatório	3,00	3,00	3,00	3,00	3,00
Cama de frango	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Carvão residual	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Glicerina Bruta	0,00	0,80	1,68	2,61	3,60
Total célula (kg)	52	54	55	58	60
C:N	26	26	26	26	26

Fonte: O autor (2017)

Os resíduos foram inicialmente pesados individualmente em balança digital para monitoramento da massa e dispostos em camadas. As células de compostagem foram montadas seguindo a seguinte ordem: poda de árvores com a finalidade de evitar lixiviação dos resíduos mais úmidos, em seguida bagaço de cana, resíduo de

incubatório, bagaço de cana, lodo de flotador, glicerina bruta associada ao carvão residual, poda de árvores, lodo de flotador, cama de frango, finalizando com bagaço de cana para evitar a exposição dos resíduos com maior grau de putrefação e atrair vetores permanecendo assim por 7 dias até o primeiro revolvimento (FIGURA 11).

FIGURA 10 - MONTAGEM EM CAMADAS DE RESÍDUOS ORGÂNICOS NAS CÉLULAS DE COMPOSTAGEM.



Fonte: O autor (2017).

Após a montagem das células de compostagem com resíduos orgânicos, foram efetuados revolvimentos manuais (dentro da própria célula de compostagem) semanalmente. A cada quinze dias realizava-se revolvimentos que, consistiam em retirar todo o material de cada célula e homogeneizar em caixas de fibras (FIGURA 12), afim de garantir a completa aeração ao material, seguido de rega para manter a umidade em torno de 60% (MERKEL,1981; PEREIRA NETO, 1996).

FIGURA11 - REVOLVIMENTO E HOMOGENEIZAÇÃO DO MATERIAL COMPOSTADO DE CADA CÉLULA.



FONTE: O autor (2017).

As amostras foram coletadas a cada 15 dias, em diferentes pontos de célula de compostagem após o revolvimento, dessa forma, garantiu-se a coleta de amostras homogêneas. O armazenamento das amostras foi realizado em embalagens plásticas

conforme indicado para cada metodologia de análise utilizada. A TABELA 3 ilustra a rotina das atividades no processo de compostagem.

TABELA 3 - REALIZAÇÃO DAS ATIVIDADES DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Atividades	Frequência	Modo
Revolvimentos dentro da composteira	Semanal	Manual
Irrigações	A cada 4 dias	Manual
Aferição da temperatura	A cada 3 dias	Termômetro digital
Amostragem	Quinzenal	Coleta manual
Retirada do material para revolvimento fora das composteiras	Quinzenal	Manual
Volume	Semanal	Metragem
Massa	Início e Final	Pesagem Manual

Fonte: O autor (2017)

As temperaturas das células foram monitoradas com auxílio de termômetro digital, a uma profundidade de aproximadamente 30 cm. Por ocasião das medidas de temperatura das células de compostagem, a temperatura ambiente do mesmo modo foi monitorada.

A umidade das células foi controlada semanalmente e após cada revolvimento e ajustada com adição da quantidade de água necessária, para se obter aproximadamente 60% de umidade. As amostras foram secas em estufa com circulação forçada de ar a 105 °C até peso constante, para o cálculo da umidade (MERKEL, 1981; PEREIRA NETO, 1996).

A redução de volume foi monitorada nas células feita 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. Considerou-se finalizado o processo de compostagem quando a temperatura do material nas células de compostagem igualou-se a temperatura ambiente.

3.4. MONITORAMENTO DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Com o intuito de assegurar que o produto final, obtido a partir de matéria-prima oriunda dos resíduos agroindustriais, seja de utilização segura para agricultura,

durante o experimento, foram realizadas análises laboratoriais das amostras coletadas, cujos parâmetros estão definidos no Anexo III da Instrução Normativa Nº 25, de 23 de julho de 2009, o qual traz valores normativos dos parâmetros nas amostras expressos em base seca à umidade determinada a 65°C, de Carbono orgânico, Nitrogênio total e Capacidade de troca catiônica (CTC).

3.4.1 Parâmetros químicos e físicos avaliados

A caracterização química dos compostos orgânicos foi realizada no início e final do processo de compostagem. As amostras coletadas foram secas a 60 e 105 °C, em estufa de circulação forçada de ar, até massa constante, as amostras secas a 60 °C foram utilizadas para a determinação de nitrogênio total Kjeldahl (NTK), com a finalidade de evitar perdas. Após esta secagem foram moídas, e então utilizadas para a determinação dos minerais. Todos os resultados das análises foram corrigidos para a base seca (105 °C).

3.4.1.1 pH e condutividade elétrica

A condutividade elétrica (CE) e o pH foram determinados na solução, preparada a partir da amostra em suspensão com água destilada na proporção de 1:5 (m/v). Para leitura do pH e da CE foram utilizados respectivamente pHmêtro e condutímetro de bancada (ambos da marca MS Tecnopon).

3.4.1.2 Umidade e Carbono Orgânico Total

Para a determinação da umidade as amostras coletadas foram acondicionadas em cadinhos de porcelana, anteriormente pesadas para se obter a Tara (T), o peso úmido (Pu) do material e em seguida levadas à estufa de circulação forçada de ar, à temperatura de 60 °C até peso constante, anotado o peso e em seguida secas a 105 °C até peso constante, para poder se expressar o NTK em base seca, corrigida a diferença entre 60 e 105 °C. A umidade foi obtida por subtração entre o peso da amostra úmida (*in natura*) e os sólidos totais.

Para a determinação do teor de Carbono orgânico total (COT), os materiais secos obtidos após a determinação do teor de sólidos totais, foram levados à mufla

em cadinhos de porcelana, devidamente pesados e mantidos a uma temperatura de 550 °C durante um período de 4 h. Após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança com precisão de 0,0001 g, obtendo-se por gravimetria o conteúdo de COT, conforme metodologia de Cunha-Queda et al., (2003).

As perdas de matéria orgânica foram realizadas nas amostras secas a 105 °C, foram encaminhadas ao forno mufla em temperatura de 550 °C por duas horas. Após esse período as amostras foram pesadas em balança de precisão, determinando-se o teor de M.O. As perdas de M.O. devido à mineralização foram calculadas a partir dos conteúdos de cinzas inicial e final para cada célula de compostagem, de acordo com Cunha-Queda et al. (2003).

3.4.1.3 Quantificação de Nitrogênio, Fósforo e Potássio

Para a digestão utilizou-se o bloco digestor, que promove a digestão total da matéria orgânica à base de ácido sulfúrico (H₂SO₄). 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) (Equação 5).

$$\text{Relação C:N} = \frac{\text{COT}}{\text{N}} \quad (\text{Equação 5}).$$

A determinação do Fósforo (P) foi feita por espectrometria de absorção molecular no UV-Vis, segundo Malavolta et al., (1997), em espectrofotômetro da marca Femto, modelo 700 Plus. O Potássio (K) foi determinado após digestão da amostra em ácido nitro-perclórico (EMBRAPA,1999), em fotômetro de chama da marca Digimed, modelo DM-62.

3.4.1.4 Celulose, hemicelulose e lignina

Para determinação da celulose, hemicelulose e lignina, utilizou-se 0,5 g de amostra, seca a 105°C. A quantificação de celulose e hemicelulose foi obtida por meio da determinação de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido

(FDA) e lignina pelo método sequencial descrito por Campos et al. (2004), utilizando a autoclave.

3.4.1.5 Índice de germinação

O índice de germinação (IG) é uma avaliação utilizada para testar a toxicidade do composto orgânico quanto a presença de substâncias fitotóxicas. Para a determinação do IG preparou-se extratos na proporção de 1:10 (m/v) de massa seca de composto, diluídos em água destilada. O extrato permaneceu em mesa agitadora, em agitação por 24 h a 160 rpm. Adicionou-se 3 mL dos extratos em cada placa de Petri contendo papel de filtro de celulose esterilizado duplo e dez sementes de *Lipidium sativum* (agrião de jardim). As placas de Petri contendo as sementes foram incubadas a 25 °C com ausência de luz por 48 h em uma câmara de germinação (DBO) com a metodologia adaptada de Zucconi et al., (1981) e Silva e Vilas Bôas (2007). Com as mesmas características, dez placas de Petri para controle foram preparadas com água destilada. Para cada tratamento foram realizadas duas repetições. O índice de germinação foi calculado como o produto da porcentagem de sementes viáveis, o número de sementes germinadas e o crescimento das raízes após 48 h, conforme Equação 6.

$$IG (\%) = \frac{NG_{ext} * LR_{ext}}{NG_{cont} * LR_{cont}} * 100$$

(Equação 6).

Em que:

NG_{ext} = número de sementes germinadas no extrato.

NG_{cont} = número de sementes germinadas no controle.

LR_{ext} = comprimento médio das radículas do extrato.

LR_{cont} – comprimento médio das radículas do controle.

3.4.2 Parâmetro Microbiológico

3.4.2.1 Respiração Basal

A análise da respiração basal foi determinada segundo Garcia-Gomez; Roig;

Bernal (2003), com algumas modificações, em amostras coletadas quinzenalmente, logo após cada revolvimento, durante todo o processo de compostagem. Pesou-se aproximadamente 11,00 g de amostra fresca e incubou-se em frascos de vidro de 250 mL, previamente esterilizados em autoclave (121 °C/20 min), a 26°C durante 7 dias. O CO₂ produzido foi absorvido em 10 mL de solução de NaOH 2 M colocados no interior do frasco contendo a amostra de composto.

A evolução de C-CO₂ foi por titulação do excesso da solução de NaOH com HCl 2M com adição de BaCl₂ (1%) para a completa precipitação do CO₂. A taxa de respiração basal foi expressa em mg C - CO₂ kg⁻¹, conforme cálculo equação 07.

$$\text{Respiração basal} = \frac{((V_b - V_a) * M * MMC * 1000)}{T} \quad (\text{Equação 7}).$$

Peso seco da amostra

Em que:

V_b: Volume gasto na titulação do branco

V_a: Volume gasto na titulação da amostra

M: Molaridade do Ácido Clorídrico: 2 mol L⁻¹

MMC: Massa molar do carbono: 12

T: tempo de incubação: 96 h

As análises químicas e microbiológicas bem como as metodologias utilizadas na caracterização dos compostos orgânicos estão resumidas nas TABELA 4 e 5.

TABELA 4 - ANÁLISES QUÍMICAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

Parâmetro	Unidade	Método	Referências
NTK	%	Semi-micro-Kjedahl	Malavolta et al. (1989)
COT	%	Gravimetria	Cunha-Queda et al. (2003)
M.O.	%	Gravimetria	Cunha-Queda et al. (2003)
P	g.kg ⁻¹	Espectrofotometria	Lana et al. (2010)
K	g.kg ⁻¹	Fotometria	Lana et al. (2010)
pH	-	Potenciometria	Lana et al. (2010)
CE	mS.cm ⁻¹	Potenciometria	Lana et al. (2010)
Fibras		Gravimetria	Campos et al. (2004)
Índice de Germinação	%	Germinação	Zucconi et al. (1981) e Silva e Vilas Bôas (2007)

Fonte: O autor (2017)

TABELA 5 -ANÁLISE MICROBIOLÓGICA DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS

Parâmetro	Unidade	Método	Referências
Respiração basal	C-CO ₂ kg.h ⁻¹	Volumetria	Garcia-Gomes; Roing; Bernal (2003)

Fonte: O autor (2017)

3.6. DELINEAMENTO EXPERIMENTAL E ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento experimental adotado foi o inteiramente casualizado, utilizando-se cinco tratamentos e quatro repetições (cada composteira foi dividida em quatro partes), totalizando 20 unidades experimentais. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), havendo significância aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância. Utilizou-se ainda, análise estatística multivariada, por meio da Análise de Componentes Principais (ACP ou PCA do inglês).

Foi realizada a Análise de Componentes Principais para interpretação das relações entre as variáveis monitoradas referentes ao valor agronômico do composto final e destas com os indivíduos pesquisados (tratamentos). Os Componentes Principais (CP's) foram extraídos a partir da matriz de correlação das variáveis originais, a fim de evitar interferências das unidades de medida das variáveis estudadas. Foram selecionados os CP's suficientes para explicar acima de 70% da variância dos dados (FERREIRA, 2011).

A ANOVA) foi realizada para os dados referentes ao valor agronômico do composto, a saber, N, P, K, pH, CE e as concentrações de N, P, K e respiração basal. Os dados foram analisados utilizando o software estatístico STATISTIC 8.0.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

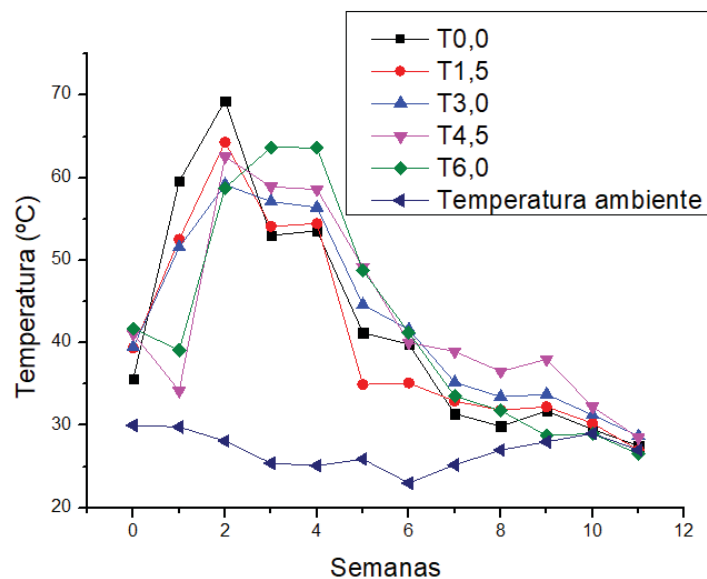
Após o processo de compostagem dos resíduos agroindustriais obteve-se os compostos orgânicos, os quais apresentaram-se maturados após aproximadamente 12 semanas do início do processo. Os resultados dos parâmetros avaliados e monitorados são descritos a seguir.

4.1 MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DURANTE A COMPOSTAGEM

Segundo Kiehl (2010) no processo de compostagem a energia produzida pelos microrganismos exotérmicos, promove uma elevação rápida na temperatura, nos primeiros dias da montagem das leiras. Para Herbets et al., (2005) a variação na elevação da temperatura da fase mesofílica para a termofílica dá-se devido ao período de aclimação dos microrganismos ao substrato. De acordo com Valente et al. (2009), os microrganismos mesófilos se decompõem rapidamente, incorporando nitrogênio na forma inorgânica à massa em compostagem, enquanto as bactérias termófilas degradam os lipídios.

Diante deste contexto, observa-se que todos os tratamentos (T0,0; T1,5; T3,0; T4,5 e T6,0) atingiram a temperaturas termofílica (40 a 65 °C) (FIGURA 13).

FIGURA 12 - MONITORAMENTO DA TEMPERATURA DAS CÉLULAS DE COMPOSTAGEM E DA TEMPERATURA AMBIENTE



Fonte: O autor (2017)

Nota-se que nos tratamentos onde houveram adição de GB os microrganismos necessitaram de mais tempo para adaptação ao substrato, em vista do tratamento T0,0 onde os microrganismos que foram introduzidos as células de compostagem, principalmente com a adição do resíduo nitrogenado, já estavam aclimatados, a temperatura se elevou mais rapidamente. No entanto, os tratamentos com adição de GB, a exceção do T1,5, permaneceram por mais tempo com temperaturas elevadas quando comparados ao T0,0, (Tabela 6).

TABELA 6 - PARÂMETROS DE MONITORAMENTO DE TEMPERATURA DURANTE O PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Parâmetro	T0,0	T1,5	T3,0	T4,5	T6,0
Duração fase termofílica ^a (dias)	40	35	43	44	44
Temperatura máxima (°C)	69,32	64,32	59,15	62,55	65,62
Temperatura máxima (dia)	11°	11°	11°	11°	15°
Temperatura ≥55 °C (dias)	15	21	26	26	33

Média das 4 repetições de cada tratamento.

^aFase termofílica: temperaturas > 40 °C.

Fonte: O autor (2017)

Em todos os tratamentos, a temperatura ultrapassou 55 °C por mais de duas semanas, estando de acordo com os requisitos europeus de saneamento de compostos orgânicos (perduração de 10 a 14 dias a temperaturas acima de 55°C) (COMISSÃO EUROPEIA, 2014; GAVILANES-TERÁN et al., 2017). Sendo que o T6,0 permaneceu por 33 dias com temperaturas acima de 55 °C, o que assegurou a redução máxima de microrganismos patógenos e sementes de plantas invasoras.

A inclusão de lipídeos em leiras de compostagem foi recomendada por Hachicha et al. (2009) até a concentração de 17,4%, com melhorias para a fase termofílica (maior duração e alcance de temperaturas) e a consequente sanitização do produto final. Segundo os autores a inclusão de lipídeos eleva o tempo de altas temperaturas no processo de compostagem. Hachicha et al. (2009) utilizaram resíduos de dejetos de poedeiras e água residuária da extração de azeite e obtiveram uma redução de 95% da fração lipídica introduzida. Esse dado corrobora com o presente estudo, pois a medida que se aumentou a concentração de GB (3,0; 4,5 e 6,0%) verificou-se um maior período de tempo (26, 26 e 33 dias) com temperatura acima de 55 °C. Em contrapartida, o T0,0 foi que mais rapidamente abaixou a temperatura da massa em compostagem.

Entretanto, devido a viscosidade da GB utilizada, o método de aeração (revolvimento) empregado foi tomando por base as pesquisas de Fava (2016), que afirma que proporções acima de 6% favorecem a agregação das partículas da massa, restringindo o espaço disponível a manutenção da aeração nas pilhas, dessa forma, optou-se por não exceder a adição desta proporção.

Na fase de maturação (temperaturas < 40 °C), a degradação do material orgânico não ocorre de forma intensa, pois a atividade microbiana diminui, iniciando o processo de mineralização do carbono remanescente (fase mesófila) (MATOS, 2014). Deste modo, é possível afirmar que a maior intensidade da fase termofílica ocorre nos primeiros 30 dias de degradação dos resíduos com adição de GB.

4.2 REDUÇÃO DE MASSA E VOLUME

A redução de massa e volume dos resíduos após o processo de compostagem dá-se devido as perdas de carbono efetuadas pela biomassa microbiana (COSTA et al., 2009b). Com intuito de crescer carbono facilmente degradável (glicerina bruta) a fontes de nitrogênio disponível em grandes quantidades, buscou-se a interação na velocidade de degradação dos constituintes orgânicos, com maximização dos resultados do processo de compostagem.

A redução de massa do início ao final do processo de compostagem não apresentou diferença significativa entre os tratamentos como pode ser observado na Tabela 7. No entanto, o T6,0 alcançou uma redução de 42,39% de massa em um período de 65 dias, nos demais tratamentos a redução da massa seca não foi expressiva, entre 26,62% no tratamento T4,5 e 33,25% para T1,5 após 74 dias de processo. O tratamento controle (T0,0) apresentou redução de 41,74% de massa seca em um período de 70 dias.

TABELA 7 - MASSA SECA DO INÍCIO E FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E REDUÇÃO DE MASSA SECA (%) AO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tratamento	Massa seca Início (kg)	Massa seca Final (kg)	Redução de massa (%)	Dias de compostagem*
T0,0	19,33 a	11,26 b	41,74 a	70
T1,5	19,58 a	13,07 ab	33,25 a	74
T3,0	20,73 a	14,61 ab	29,52 a	74
T4,5	20,89 a	15,33 a	26,62 a	74
T6,0	20,95 a	12,07 ab	42,39 a	65

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade, pelo teste Tukey. *Temperatura se igualou a temperatura ambiente.

Fonte: O autor (2017).

Segundo Kiehl (1985), a redução de peso esperada ao final do processo de compostagem é de aproximadamente 50%. Costa et al. (2016) avaliando a compostagem de resíduo de incubatório e outros de origem agroindustrial, obtiveram resultados semelhantes ao presente estudo. Os autores alcançaram maior resultado na redução de massa seca de 48,70% em 70 dias de compostagem e com um volume inicial de 500 kg em massa fresca. Enquanto, Costa et al. (2009a), ao analisarem a eficiência da aeração no primeiro estágio de compostagem de carcaça de aves atingiram reduções de massa seca na ordem de 51 a 38% para as leiras aeradas e 30,5 a 48% para as não aeradas.

Os valores inferiores de redução de massa seca apresentados neste experimento, se comparados com outros estudos, podem estar atrelados a poda de arborização urbana utilizada como uma fonte de carbono. Este material inicialmente apresentava grande quantidade de galhos triturados, caracterizados por conter maior quantidade de carbono recalcitrante, acarretando em dificuldades em sua degradação.

No volume final do processo de compostagem, o T0,0 foi o que apresentou a maior redução com 42,72% em relação ao volume inicial. Na sequência os tratamentos que apresentaram maior redução no volume final foram os tratamentos T4,5; T1,5 e T3,0, com um volume 42,59; 41,75 e 26,50% respectivamente (Tabela 8).

TABELA 8 - VOLUME INICIAL E FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E REDUÇÃO DE VOLUME (%) AO FINAL DO PROCESSO

Tratamento	Volume inicial (cm ³)	Volume final (cm ³)	Redução de volume (%)
T0,0	206 a	118 b	42,72 a
T1,5	218 a	127 ab	41,75 a
T3,0	212 a	134 ab	36,80 ab
T4,5	209 a	120 b	42,59 a
T6,0	190 a	139 a	26,50 b

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

Fonte: O autor (2017)

Segundo Kiehl (2010) a redução de volume esperada em leiras de compostagem conduzidas de 90 a 120 dias, é cerca de 33%, variando de acordo com as características dos resíduos utilizados e das condições em que o processo foi

conduzido. Desta forma, o T6,0 não se apresenta dentro da recomendação proposta. Esse fato pode ser explicado devido a maior concentração de GB, de alguma forma ter influenciado na compactação do volume no início do processo, pois esse tratamento apresentou menor volume inicial, sem diferença estatística aos demais. No entanto, com a presença de maior conteúdo de lipídeos para o ataque dos microrganismos termofílicos sugere-se que a degradação do carbono recalcitrante, como podas de árvores, tenha sido reduzida.

O *layout* do pátio de compostagem deve ter como premissa o volume médio diário recebido de resíduos e a área disponível para operação e eventuais restrições. Quanto mais tempo a leira permanecer no pátio de compostagem para atingir a estabilidade e quanto menor a redução de massa e consequentemente volume, maior a área necessária.

4.3 DEGRADAÇÃO DA MATÉRIA ORGÂNICA

Bactérias, fungos e actinomicetos são responsáveis pela degradação e consequente transformação da matéria orgânica. Devido a isto, fatores que influenciam na atividade microbiana, são responsáveis pela qualidade do composto orgânico gerado (OLIVEIRA, 2014).

Os resultados obtidos ao final da pesquisa demonstram que nenhuma das concentrações de GB utilizadas interferiu no processo de degradação da matéria orgânica (M.O.), pelo contrário a glicerina bruta mostrou-se uma excelente fonte de carbono facilmente degradável que foi muito bem aceita pelos micro e macroorganismos existentes na flora do sistema de compostagem (FIGURA 14). Na Tabela 9 observa-se a redução percentual da matéria orgânica (M.O.).

FIGURA 13 - DIVERSIDADE MICROBIANA PRESENTE NO MATERIAL EM COMPOSTAGEM



FONTE: O autor (2017)

TABELA 9 - MATÉRIA ORGÂNICA (M.O.) DO INÍCIO E FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM E REDUÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA (%) AO FINAL DO PROCESSO DE COMPOSTAGEM

Tratamento	M. O. Início (%)	M. O. Final (%)	Redução de M.O.
T0,0	79,07 a	64,03 a	19,02%
T1,5	88,24 a	62,75 a	28,88%
T3,0	86,33 a	70,19 a	18,70%
T4,5	83,20 a	69,38 a	16,61%
T6,0	80,22 a	69,09 a	13,87%

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

Fonte: O autor (2017)

Segundo Valente et al., (2009) as ações dos microrganismos mesófilos iniciam a decomposição dos resíduos orgânicos, fazendo a quebra/degradação inicial da matéria orgânica. Para que ocorra a digestão, esses microrganismos liberam enzimas hidrolíticas, que retiram porções de matéria orgânica na forma solúvel e de baixo peso molecular. Assim, se produz ácidos, que degradam as proteínas, os amidos e os açúcares, promovendo a liberação de calor na massa de compostagem.

Os fungos, que são heterotróficos, utilizam a matéria orgânica sintetizada pelas bactérias e outros microrganismos, como fonte de energia, para degradação da celulose e lignina. Esses microrganismos têm a capacidade de utilizar a celulose como fonte de carbono e energia, que é o mais abundante polímero encontrado na matéria orgânica vegetal. Mas além dos micros, macrorganismos como os cupins, larvas, insetos, nematóides e minhocas podem ser encontrados em uma compostagem.

Esses escavam, mastigam, digerem e misturam os materiais compostáveis, tornando-os menores e dessa forma auxiliando o trabalho dos fungos e bactérias (OLIVEIRA 2005).

4.4 CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA PARÂMETROS MONITORADOS DURANTE A FASE DE ESTABILIZAÇÃO

Um dos parâmetros mais antigos utilizados para quantificar o nível da atividade microbiana é a respiração basal, pois permite fazer inferências sobre o teor e o estágio da decomposição da matéria orgânica. Assim como outros processos metabólicos, a respiração basal depende do estado fisiológico da célula microbiana e é influenciada por diversos fatores como umidade, temperatura, disponibilidade de nutrientes, relação C:N, presença de resíduos orgânicos, entre outros (SILVA et al., 2010). Em razão desta realidade pode-se afirmar que, a utilização de variados tipos de resíduos no processo, em diferentes concentrações, altera o comportamento da microbiota, pode estimular ou inibir a sua atividade, principalmente em relação aos processos de transformação da matéria orgânica, ciclagem de nutrientes e interações de troca com a maioria das espécies de plantas (ZATORRE, 2008).

Na Tabela 10 é apresentada a correlação de Spearman para as variáveis tempo (quinzenal), respiração basal, carbono orgânico total (COT) e temperatura durante o processo de estabilização dos resíduos orgânicos.

O COT (%) e o tempo (quinzena), apresentaram correlação significativa ($p < 0,05$) para todos os tratamentos (T0,0, T1,5, T3,0, T4,5 e T6,0). O acentuado decréscimo na concentração de COT deve-se ao consumo acelerado das formas mais lábeis do carbono, pelos microrganismos presentes, no início do processo de compostagem.

Durante a fase mais ativa do processo, o C-orgânico diminui no material devido à decomposição da matéria orgânica (MO). A quebra de MO reduz o peso da leira e diminui conseqüentemente a relação C:N, pois os microrganismos eliminam parte do COT como gás carbônico (COSTA et al., 2005; BERNAL et al., 2009). Para as demais variáveis analisadas a correção não foi significativa ($p > 0,05$).

TABELA 10 - CORRELAÇÃO DE SPEARMAN PARA AS VARIÁVEIS TEMPO (QUINZENA), RESPIRAÇÃO BASAL (mg CO₂), COT (%) E TEMPERATURA (°C) NO PROCESSO DE ESTABILIZAÇÃO

	Tratamento	Tempo	Respiração Basal	COT	Temperatura
Tempo	T0,0	1			
	T1,5	1			
	T3,0	1			
	T4,5	1			
	T6,0	1			
Respiração Basal	T0,0	-0,70 ^{ns}	1		
	T1,5	-0,90 ^{ns}	1		
	T3,0	-0,70 ^{ns}	1		
	T4,5	-0,90 ^{ns}	1		
	T6,0	-0,90 ^{ns}	1		
COT	T0,0	-1,00*	0,70 ^{ns}	1	
	T1,5	-1,00*	0,90 ^{ns}	1	
	T3,0	-1,00*	0,70 ^{ns}	1	
	T4,5	-1,00*	0,90 ^{ns}	1	
	T6,0	-1,00*	0,90 ^{ns}	1	
Temperatura	T0,0	-4,00 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1
	T1,5	-0,70 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1
	T3,0	-0,40 ^{ns}	0,10 ^{ns}	0,40 ^{ns}	1
	T4,5	-0,70 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,70 ^{ns}	1
	T6,0	-0,60 ^{ns}	0,30 ^{ns}	0,60 ^{ns}	1

*: correlação significativa a $p < 0,05$. ns: correlação não significativa.

FONTE: O autor (2017)

4.6 EFEITO DA CONCENTRAÇÃO DE GLICERINA BRUTA NO VALOR AGRONÔMICO DO COMPOSTO FINAL

Os resultados da composição química do composto orgânico final nos diferentes tratamentos (Tabela 11), expõem de forma clara que a qualidade do composto produzido, alcançou (para os parâmetros monitorados) os requisitos mínimos exigidos pela legislação brasileira, mostrando-se eficiente para o tratamento de resíduos agroindustriais.

TABELA 11 - PARÂMETROS DE CONTROLE DE COMPOSTOS ORGÂNICOS IN 25/2006 E IN 25/2009 MAPA.

Parâmetro	Limite MAPA	T0,0	T1,5	T3,0	T4,5	T6,0
Umidade máxima ^a	50,0*	48,30	45,60	48,70	47,60	49,50
NTK mínimo ^a	0,5*	2,92	2,91	3,16	2,95	3,11
COT mínimo ^a	15,0*	35,60	34,90	39,00	37,80	38,40
pH mínimo	6,0*	7,54	7,75	7,56	7,62	7,31
Relação C:N máxima	20,0*	12,21	12,11	12,36	12,93	12,40

^aValores expressos em %; * IN Nº 25/2009.

FONTE: O autor (2017)

De acordo com Revoredo et al., (2008) dentre as características de um substrato, podem-se citar propriedades químicas conhecidas e constantes. Deve ser um meio rico em nutrientes, não salino, não conter substâncias tóxicas, ser inodoro, não ser muito alcalino, nem muito ácido (valores de pH próximo da neutralidade), deve ser uniforme em toda a extensão, de fácil manuseio, ser facilmente disponível e de baixo custo.

Na Tabela 12 estão expressos os resultados da composição química e valores nutricionais dos compostos ao fim do processo de compostagem. Pode-se inferir que, a introdução da GB não afetou de forma negativa o valor agrônômico do composto final obtido em relação a concentração dos nutrientes nos compostos.

TABELA 12 - PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DOS COMPOSTOS ORGÂNICOS FINAIS DE ACORDO COM A CONCENTRAÇÃO DE GLICERINA BRUTA

Parâmetros	T0,0	T1,5	T3,0	T4,5	T6,0
Relação C:N	12,21 a	12,11 a	12,36 a	12,93 a	12,40 a
IG (%)	146,51 a	146,45 a	133,21a	144,02 a	132,47 a
COT (%)	35,60 a	34,90 a	39,00 a	37,80 a	38,40 a
NTK (%)	2,92 a	2,91 a	3,16 a	2,95 a	3,11 a
K (g kg ⁻¹)	9,05 a	9,02 a	9,53 a	9,71 a	9,33 a
P (g kg ⁻¹)	0,89 a	0,93 a	0,98 a	1,40 a	0,85 a
pH	7,53 ab	7,74 a	7,55 ab	7,61 a	7,30 b
CE (mS.cm ⁻¹)	2,22 a	2,58 a	2,05 a	2,53 a	2,86 a

Teste Tukey (p<0,05), onde letras diferentes na linha representam médias estatisticamente diferentes. CE: condutividade elétrica; COT: carbono orgânico total; NTK: nitrogênio total Kjeldahl; IG: índice de germinação.

Fonte: O autor (2017)

A relação C:N que inicialmente encontrava-se em 26:1 reduziu para aproximadamente 12:1 ao fim do processo de compostagem em todos os tratamentos, corroborando com Kiehl (2010) que afirma que o composto estabilizado deve apresentar uma relação C:N entre os valores de 8:1 e 12:1 atendendo assim as exigências prevista na Portaria N° 25/2009 do Ministério de Agricultura, Pecuária e Abastecimento para comercialização de fertilizantes orgânicos que é de no máximo 20:1.

De modo geral, valores distintos de concentração de nutrientes presentes no composto final são previstos, devido a composição química diversificada dos materiais utilizados como matéria prima, Costa et al. (2017) em sua pesquisa buscando aproveitamento de resíduos de incubatório utilizando processo de compostagem obtiveram ao final do processo um composto com uma relação C:N de 7:1 e 9:1, enquanto Gao et al. (2010) encontrou valores finais de 16:1 a 18:1 quando trabalharam com esterco de galinha e serragem como matéria prima para o sistema de tratamento de compostagem.

Segundo Bernal et al., (2009) o composto que apresenta índice de germinação (IG) acima de 80% está livre de compostos fitotóxicos. Os índices de germinação no início do processo de compostagem foram de 53,36; 48,97; 58,42; 48,81 e 51,14% para os tratamentos T0,0; T1,5; T3,0; T4,5 e T6,0, respectivamente. Enquanto que, os valores obtidos no composto final para o IG foram superiores a 130% (Tabela 10), classificando os compostos finais como fitoestimulantes na germinação e crescimento da raiz das plantas. O composto final pode ser classificado de acordo com Bernal et al. (2009) como muito maturado por apresentar índices de germinação acima de 100%.

À medida que o tempo de compostagem se prolonga, as perdas de carbono e nitrogênio aumentam, enquanto os microrganismos consomem carbono como fonte de energia, o nitrogênio é usado na reprodução celular (BERNAL et al., 2009). As reduções de carbono ao longo do processo de compostagem não apresentaram diferenças estatísticas entre os tratamentos. e todos os substratos alternativos apresentam-se dentro do estipulado pela Instrução Normativa N° 25/2009 que dispõe valor de no mínimo 15% de COT em substratos.

As perdas de nitrogênio não são desejadas devido à redução do valor agrônômico do composto final. A perda de N está relacionada à volatilização da amônia, consequência do pH alcalino no início do processo e temperaturas elevadas

(BERNAL et al., 2009; GAVILANES-TERÁN et al., 2017). Neste estudo, observa-se que os tratamentos não apresentaram diferença estatística no teor de nitrogênio, com valores de 2,92; 2,91; 3,16; 2,95 e 3,11% no T0,0; T1,5; T3,0; T4,5 e T6,0, respectivamente. A Instrução Normativa N° 25/2009 estabelece que o teor mínimo de N nos substratos deve ser 0,5%, sendo assim, todos os tratamentos apresentam-se dentro do estipulado.

O fósforo é um nutriente de grande importância no cultivo de mudas e plantas, pois é responsável pelo desenvolvimento da parte aérea das plantas (SILVA et al., 2015), sendo um dos macronutrientes exigidos em maiores quantidades (LANA et al., 2010). No critério de referência, a IN N°25/2009 estabelece parâmetros em relação ao Pentóxido de Fósforo, os valores de P do presente estudo estão apresentados em quantidade de fósforo total. Em todos os tratamentos não houve diferença estatística na quantidade de fósforo total.

O potássio é responsável pelo crescimento das raízes das mudas (COSTA et al., 2009b), sendo importante na síntese de carboidratos nas plantas (CAUNII et al., 2010). A IN N° 25/2009 estabelece valores de K na forma de Óxido de Potássio, do mesmo modo que P, os valores de K estão apresentados em concentrações de potássio total. Os tratamentos não apresentaram diferença estatística entre si.

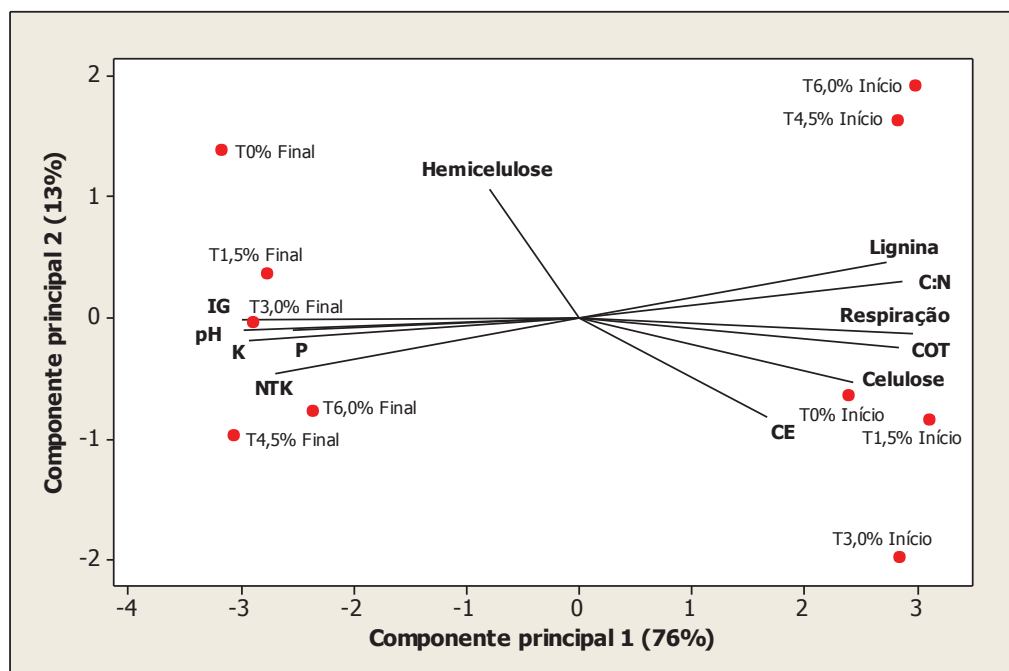
O parâmetro pH comportou-se segundo Kiehl (1985) afirma que a matéria orgânica crua, de origem vegetal ou animal, é naturalmente ácida e a compostagem aeróbia aumenta o seu pH, tornando-o neutro quando bioestabilizado e básico quando humificado, no fim do processo. Corroborando com Kiehl, Pedrosa et al. (2013), afirmam que no início da compostagem, comumente pode-se observar uma redução do pH, tornando o composto levemente ácido, decorrente da liberação de ácidos devido a ação de decomposição da matéria orgânica pelos fungos e as bactérias. Posteriormente estes ácidos são decompostos até serem completamente oxidados, atingindo na etapa final do processo um pH neutro a levemente alcalino.

O pH interfere diretamente na qualidade do composto orgânico quando utilizado na produção de mudas. Segundo Revoredo et al., (2008) a baixa solubilidade do ferro em um valor de pH maior que 6,5 e a elevada solubilidade do manganês em valor de pH abaixo de 5,5 são os maiores problemas. Além da possibilidade de ocorrer fitotoxicidade por excesso de manganês solúvel em valores de pH abaixo de 5,4, aumenta o risco de toxidez de ferro, zinco e cobre do substrato.

A condutividade elétrica é um parâmetro relevante e que precisa ser analisado para se avaliar o valor agrônômico do composto. Esta reflete a concentração total de íons no composto, afetando a absorção de nutrientes, o crescimento da planta e a produtividade (CHANG et al., 2011). Segundo Sharma et al. (1997), valores entre 0,64 e 6,85 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$ são considerados normais para uso de resíduos em áreas agrícolas, enquanto que, Kiehl (1998) afirma que a CE dos compostos orgânicos não deve ser superior a 4 $\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Os valores encontrados ao final do processo, em todos os tratamentos, estão de acordo com o estabelecido na literatura (TABELA 10), sendo que T0,0% foi o tratamento que iniciou com menor índice de CE seguido de T6,0; T4,5; T3,0 e T1,5.

Com intuito em auxiliar na interpretação dos resultados referentes aos parâmetros avaliados nos compostos orgânicos finais, a análise de componentes principais (ACP) apresenta-se uma ferramenta eficiente (FIGURA 15).

FIGURA 14 – ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS: CONDUTIVIDADE ELÉTRICA; CARBONO ORGÂNICO TOTAL; NITROGÊNIO TOTAL KJELDAHL; FÓSFORO TOTAL; POTÁSSIO TOTAL



FONTE: Extraído de análise de componentes principais (ACP), (2018).

As variáveis que apresentaram maior influência para a componente principal 1 são o índice de germinação (IG), lignina, celulose, C:N, respiração basal, COT, CE, P, pH, K e NTK. Esta componente representa explicação de 76% da variância dos dados. Observa-se que as variáveis IG, pH, K, P e NTK correlacionam-se

negativamente com a componente principal 1, em que os valores no composto final são maiores em relação ao início do processo de compostagem, ou seja, superiores estatisticamente.

Os parâmetros lignina, celulose, respiração basal, C:N, COT e CE correlacionam-se positivamente com a componente principal 1, maiores valores para os compostos orgânicos no início do processo se comparados aos valores finais. Fato já supracitado, pois a medida que o processo de estabilização acontece, são acentuadas as perdas de COT, fibras e atividade microbiana. A componente principal 2 é responsável pela explicação de 13% da variância dos dados, totalizando uma somatória das duas primeiras componentes principais em 89%.

Como citado anteriormente, a composição química dos compostos orgânicos produzidos está diretamente relacionada com o material de origem e os compostos orgânicos finais, obtidos a partir da compostagem de resíduos agroindustriais da cadeia do frango de corte, apresentam valor fertilizante significativo, podendo ser utilizados no solo como fonte de nutrientes para as plantas ou mesmo como substratos na produção de mudas de hortaliças. Segundo Takane et al., (2012) o uso de fertilizantes de maior precisão com substratos de alta qualidade é amplamente difundido na maioria das produções agrícolas comerciais.

5. CONCLUSÃO

O processo de compostagem utilizando adição de GB associada ao carvão residual e resíduos orgânicos agroindustriais foi eficiente e satisfatório no tratamento dos resíduos propostos, não influenciando negativamente (até a concentração de 6%) os parâmetros de controle importantes, como temperatura, aeração, umidade e tempo de estabilização.

A maior intensidade na atividade microbiana e enzimática da fase termofílica, associada a maiores concentrações de carbono lábil, favoreceu a elevação da temperatura e sua manutenção por um período de 21, 26 e 33 dias, bem acima dos requisitos europeus de saneamento de compostos orgânicos, que é de 10 a 14 dias a temperaturas acima de 55°C.

De modo geral, os compostos orgânicos produzidos apresentaram-se como fertilizantes alternativos eficientes, atendendo a normativa do MAPA IN N° 25/2009, enquadrando-se na classificação - classe "B" em relação aos parâmetros avaliados

Os compostos orgânicos finais obtidos estão livres de compostos fitotóxicos, o que aliado a concentração de macronutrientes presentes no término do processo, assegura que adição da GB como fonte de carbono lábil ao sistema de compostagem, não somente auxiliou o processo de compostagem como inferiu valor agronômico significativo a este.

REFERÊNCIAS

- ALBERNAZ, W. M. Uso da cama de frango como adubo orgânico na região central de Minas Gerais. **Embrapa Milho e Sorgo-Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento** (INFOTECA-E), 2010.
- APOLINÁRIO, F.D.B.; PEREIRA, G.F.; FERREIRA, J.P. Biodiesel e Alternativas para utilização da glicerina resultante do processo de produção de biodiesel. Bolsista de Valor: **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.
- BENITES, V. de M; TEIXEIRA, W.G.; REZENDE, M.E.; PIMENTA, A.S. Utilização de carvão e subprodutos da carbonização vegetal na agricultura: aprendendo com as terras pretas de índio. **Embrapa Amazônia Ocidental-Capítulo em livro científico (ALICE)**, 2014.
- BERNAL, M.P., PAREDES, C., SÁNCHEZ-MONEDERO, M.A., CEGARRA, J.,. Maturity and stability parameters of composts prepared with a wide range of organic wastes. **Bioresource Technology**, v. 63, p. 91–99, 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, p. 5444-5453, 2009.
- BOBROWSKI, R.; BIONDI, D. Gestão da arborização de ruas - estudo de caso na cidade de Curitiba, PR. **Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana**, v. 9, p. 132-150, 2014.
- BRASIL, 2009 - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. MAPA **Instrução Normativa N° 25**, de 23 de julho de 2009, Brasília, 2009.
- BRASIL, 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**, Lei 12.305. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 2 ago. 2010.
- BRASIL, 2017 - MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO MAPA. **Projeções do Agronegócio**, disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>> Acesso em setembro de 2017.
- CAMPOS, F.P. **Métodos de análises de alimentos**. In: CAMPOS, F.P.; NUSSIO, C.M.; NUSSIO, L.G. (Eds.). Piracicaba: FEALQ, 2004. 135p.
- CARNEIRO, L. J. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. 64f Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

CAUNII, A.; CUCIUREANU, R.; ZAKAR, A.M.; TONEA, E.; GIUCHICI, C. Chemical composition of common leafy vegetables. **Studia Universitatis**, v. 20, p. 45-48, 2010.

ÇELIK, I. B. GHIA, U.; ROACHE, P.J.; FREITAS, C.J.; COLEMAN, H.; RAAD, P.E. Procedure for Estimation and Reporting of Uncertainty Due to Discretization in CFD Applications. **Jornal de fluidos {Engenharia-Transações} da {ASME}**, v. 130, p.15, 2008.

CHANG, D. C., CHO, I. C., SUH, J. T., KIM, S. J. e LEE, Y. B. Growth and yield response of three aeroponically grown potato cultivars (*Solanum tuberosum* L.) to different electrical conductivities of nutrient solution. **American Journal of Potato Research**, v. 88, p. 450-458, 2011.

COMISSÃO EUROPEIA. **Critérios de fim de resíduos para resíduos biodegradáveis submetidos a tratamento biológico (composto e digestão): propostas técnicas**, 2014. Disponível em: https://europa.eu/european-union/topics/environment_pt. Acesso em: 03.04.18).

CNA - CONFEDERAÇÃO DA AGRICULTURA E PECUÁRIA DO BRASIL. **Central de comunicação**, 2018. Disponível em: <http://www.cnabrazil.org.br/noticias/cresce-em-8-receita-com-exportacao-de-frango-no-parana>. Acesso em: 30.01.2018.

CONCEIÇÃO, P. S. da et al. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização**. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa. 2012.

CORRÊA, J. C; MIELE, M. A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos. **Embrapa Suínos e Aves-Capítulo em livro técnico-científico (ALICE)**, 2011.

COSTA, M. S. S. DE M. et al. Compostagem de resíduos sólidos de frigorífico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 13, p. 100–107, fev. 2009a.

COSTA, S. E. V. G. A.; SOUZA, E. D.; FLORES, J. P. C.; ANDRIGUETTI, M. H. Distribuição de potássio e de raízes no solo e crescimento de milho em sistemas de manejo de solo e da adubação em longo prazo. **Revista Brasileira de Ciências do solo**, v. 33, p. 1291-1301, 2009b.

COSTA, M.S.S.M.; LORIN, H.E.F.; COSTA, L.A.M.; CESTONARO, T.; PEREIRA, D.C.; B. 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.M.; BERNARDI, F.H.; COSTA, L.A.M.; PEREIRA, D.C.; LORIN, H.E.F.; ROZATTI, M.A.T.; CARNEIRO, L.J. Composting as a cleaner strategy to broiler agro-industrial wastes: Selecting carbono source to optimize the process and improve the quality of the final compost. **Journal of Cleaner Production**. v. 142, p. 2084-2092, 2017.

CUBAS, J. L.; ADÃO, D.C; FERREIRA, F.A.F; DELFINO, L.D.; ZAGONEL, G.F; SILVA, P.R.; MAIA, M.; ADAD, L.B.; VECHIATTO, W.W.D.; SUCHEK, E.M.; COSTA, B.J. Neutralização da glicerina bruta obtida pela transesterificação dos óleos de crambe, cárcamo e soja. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL**, 7., 2010, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte: UFLA, 2010.

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.

DE AVILA, V. S. ABREU, V. M. N.; FIGUEIREDO, E. A. P. de; BRUM, P. A. R. de; OLIVEIRA, U. de. Valor agrônômico da cama de frangos após reutilização por vários lotes consecutivos. **Embrapa Suínos e Aves-Comunicado Técnico (INFOTECA-E)**, 2007.

EMBRAPA SOLOS, EMBRAPA INFORMÁTICA AGROPECUÁRIA. **Manual de Análises Químicas de Solos, Plantas e Fertilizantes**. Rio de Janeiro: [s.n.], 1999.

FAVA, A. F. **Glicerina bruta em co-digestão anaeróbia e co-compostagem com dejetos de poedeiras**. 2016. 44f Dissertação (Mestrado em Zootecnia) Universidade Federal da Grande Dourados– Dourados, MS : UFGD, 2016.

FAO. Organização das Nações Unidas para a Alimentação e Agricultura. **Anuário estatístico**. Disponível em: < <http://www.fao.org/brasil/pt/>>. Acesso em: 01 novembro 2017.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 35, p. 1039-1042, 2011.

FISCHER, D.; GLASER, B. **Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration**. Martin-Luther-University Halle-Wittenberg, Institute of Agricultural and Nutritional Sciences, Soil Biogeochemistry, Halle, Germany Management of Organic Waste, p. 167-199, 2011.

GAO, M.; LI, B.; YU, A.; LIANG, L.; SUN, Y. The effect of aeration rate on forced aeration composting of chicken manure and sawdust. **Bioresource technology**, v. 101, p. 1899-1903, 2010.

GARCIA-GOMEZ, A., ROIG, A., BERNAL, M.P. Composting of the solid fraction of olive mill wastewater with olive leaves: organic matter degradation and biological activity. **Bioresource Technology** v. 86, p. 59–64, 2003.

GAVILANES-TERÁN, I. et al. Composto agroindustrial como alternativa de turfa na indústria hortícola do Equador. **Revista de Gestão Ambiental**, V186, p. 79-87, 2017.

- GOUVEIA, E.R.; NASCIMENTO, R.T.; SOUTO-MAIOR, A.M. Validação de metodologia para a caracterização química de bagaço de cana-de-açúcar. **Química Nova**, v. 32, p.1500-1503, 2009.
- GRAEPIN, C; FOLLMANN, A. J; SCHROEDER, J. K; NEUHAUS, F; RODRIGUES, A. C.; KEMERICH, P. D.C. Compostagem como alternative de destinação para o lodo flotado de abatedouro de frangos. **REMOA**, v. 13, p. 4011-4018, 2014
- HACHICHA, R.; HACHICHA, S.; TRABELSI, I.; WOODWARD, S.; MECHICHI, T. Evolution of the fatty fraction during co-composting of olive oil industry wastes animal manure: Maturity assessment of the end product. **Chemosphere**, v. 75, p. 1382-1386, 2009.
- HERBETS, R. A.; COELHO, C.R.A.; MILETTI, L.C.; MENDONÇA, M.M. Compostagem de resíduos sólidos orgânicos: aspectos biotecnológicos. **Revista Saúde e Ambiente**, v. 6, p. 41-51, 2005.
- JOYCE, J. Conditioning biochar for application to soils. **The Biochar Revolution**, 2010.
- KHAN, N; CLARK, I; SANCHEZ-MONEDERO, M. A; SHEA, S; MEIER, S; BOLAM, N. Maturity indices in co-composting of chicken manure and sawdust with biochar. **Bioresource Technology**, v. 168, p 245-251, 2014.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. 1 ed. Piracicaba: **Agronômica Ceres Ltda**, 1985, 492p.
- KIEHL, J. E. Fertilizantes Organominerais. Piracicaba: **O autor**, 1993. 189p
- KIEHL, E. J. Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto. Gráfica e Editora **Degaspari**. Piracicaba, 1998.
- KIEHL, E. J. Fertilizantes Orgânicos. Editora **Agronômica Ceres LTDA**. 248 p. São Paulo, SP, 2010.
- LANA, M. C.; FEY, R.; FRANCOLOSO, J.F.; RICHART, A.; FONTANIVA, S. **Análise química de solo e tecido vegetal: práticas de laboratório**. Cascavel: Edunioeste, 2010. 130 p.
- LARSEN, A. C. Co-digestão anaeróbia de glicerina bruta e efluente de fecularia. 2009. 55 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE, Cascavel, 2009. Disponível em: <<http://www.dominiopublico.gov.br/download/texto/cp114920.pdf>>. Acesso em: 14 abr.2018.
- LI, Y; LI, W; LIU, B. WANG, K; SU, C; WU, C. Ammonia emissions and biodegradation of organic carbon during sewage sludge composting with different extra carbon sources. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 85, p. 624-630, 2013.

LIMA, S. L.; TAMIOZZO, S.; PETTER, F. A.; MARIMON, B. S.; MARIMON JUNIOR, B. H. Desenvolvimento de mudas de beterraba em substratos Comerciais tratados com biochar. **Agrotropica**. V.25, p. 181-186, 2013.

MAGALHÃES, M. A. de; MATOS, A. T. de; DENÍCULI, W; TINOCO, I. de 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, p.466–471, 2006.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; OLIVEIRA, S.A. **Avaliação do estado nutricional das plantas**. 2.ed. Piracicaba: Potafos, 1997. 319p.

MATOS, A. T. **Tratamento e Aproveitamento Agrícola de Resíduos Sólidos**. Viçosa, MG: Ed. UFV, 2014, 146-167p.

MATTER, J. M. **Co-digestion of poultry hatchery residues and agroindustrial waste water**. 2011. 59 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2011.

MENDES, D.B.; SERRA, J.C.V. Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento. **Revista Liberato**, v. 13, p. 01-09, 2012.

MERCKEL, A. J. **Managing livestock wastyes**. Westport: Avi Publishing Company, 1981.

OLIVEIRA, A. M. G.; DE AQUINO, A. M.; NETO, M. T. C.. Compostagem caseira de lixo orgânico doméstico. **Embrapa Agrobiologia-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2005.

OLIVEIRA, P. D. C. de. **Compostagem de resíduos agroindustriais em leiras com diferentes fontes de carbono**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

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

PAIVA, E.C.R.; MATOS, A.T.; BARROS, R.T.P.; COSTA, T.D.R.; SARMENTO, A.P. Avaliação de leiras estáticas aeradas na compostagem de carcaças de frango. **Engenharia na agricultura**, v.21, p. 482-492, 2013.

PEDROSA, T. D.; FARIAS, C. A. S. de; PEREIRA, R. A.; FARIAS; E.T. R. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. v. 1, p. 44-48, 2013.

PEIXOTO, J. O. Destinação final de resíduos, nem sempre uma opção econômica. **Engenharia Sanitária**, v.1, p. 15-18, 1981.

- PEREIRA NETO, J. T., 1987: “**On the Treatment of Municipal Refuse and Sewage Sludge Using Aerated Static Pile Composting – A Low Cost Technology Approach**”. University of Leeds, Inglaterra. p. 839-845.
- PEREIRA NETO, J. T., 1996: **Manual de Compostagem**. Belo Horizonte – UNICEF – 56 p.
- POINCELOT, The Biochemistry and Methodology of Composting. **Commerce Agricultural Experiment Station bulletin** v. 754, p. 38, 1975.
- REVOREDO, M.D.; ARAÚJO, J.P.C.; CORTEZ, G.E.P.; DARLI, A.B. **Uso de substratos para o cultivo de hortaliças**. Jaboticabal: FUNESP, 55p. 2008.
- RIVALDI, J. D.; SARROUH, B.; FIORILO, R.; SILVA, S. S. Glicerol de biodiesel: Estratégias biotecnológicas para o aproveitamento do glicerol gerado da produção de biodiesel. **Biotecnologia Ciência e Desenvolvimento**, v. 37, p. 44-51, 2007.
- RODRIGUES, P.R.B.; PICAÇO, A.P.; SERRA, J.C.V.; GUARDA, E.A. Análise do potencial de reutilização dos resíduos provenientes de poda, município de Palmas, Tocantins. **Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, v.6, p. 269-284, 2014.
- SANCHEZ, E.M.S.; CAVANI, C.S.; LEAL, C.V.; SACHEZ, C.G. Efeito do Tratamento Alcalino de Fibras de Juta no Comportamento Mecânico de Compósitos de Matriz Epóxi. **Polímeros**, v. 20, p.194, 2010.
- SANTIBÁÑEZ, C.; VARNERO, M.T.; BUSTAMANTE, M. Residual glycerol from biodiesel manufacturing, waste or potential source of bioenergy: a review. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 71, p. 469-475, 2011.
- SHARMA, V. K.; CANDITELLI, M.; FORTUNA, F. CORNACCHIA, G. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: **Journal Energy Conversion and Management**, v. 38, p. 453-478, 1997.
- SENA, R. F. **Tratamento de efluentes da indústria de processamento de carnes utilizando flotação por ar dissolvido e processos de oxidação avançada**. Dissertação (Doutorado Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina 2009.
- SEVERINO, L. S; COSTA, F. X; BELTRÃO, N. E de M; LUCENA, M. A. de; GUIMARÃES, M. M. B. Mineralização da torta de mamona, esterco bovino e bagaço de cana estimada pela respiração microbiana. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 5, p. 6, 2004
- SILVA, L. N. da, **Processos de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

SILVA, F.A.M.; VILLAS BÔAS, R.L. Teste de germinação como indicador de maturação em composto orgânico. **Revista Energia na Agricultura**, v. 22, n.3, p.63-73, 2007.

SILVA, R. R.; SILVA, M. L. N.; CARDOSO, E. L.; MOREIRA, F. M. S.; CURTI, N.; ALOVISI, A. M. T. Biomassa e atividade microbiana em solo sob diferentes sistemas de manejo na região fisiográfica campos das Vertentes – MG. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 34, n. 5, p. 1585-1592, 2010.

SILVA, E. M. B.; FRIGO, G. R.; BEZERRA, M. D. L.; SANTOS, C. S. A.; SOUSA, H. H. F.; SILVA, T. J. A. Adubação fosfatada em rúcula: produção e eficiência no uso da água. **Revista do Centro Universitário de Patos de Minas Cerrado Agrociências**, n. 6, 2015.

SINDIAVIPAR. Sindicato das Indústrias de Produtos Avícolas do Estado do Paraná. **Estatística**. Disponível em: <<https://www.sindiavipar.com.br.2017>>. Acesso em: 05 dezembro, 2017.

SOUSA, A.I.; OLIVEIRA, Y.R.; FRANCISCHINI, P.D.D.; PACHECO, A.C.L.; ABREU, M.C. Compostagem como ferramenta de educação no campo, **Revinter**, v. 10, n. 01, p. 29-44, fev. 2017.

TAKANE, R.J.; SIQUEIRA, P.T.V.; KAMPF, A.N. **Técnica de preparo de substratos para aplicação em hortaliças**. 2. Ed. Brasília: LK Editora, 100 p. 2012.

TANG, J.C.; SHIBATA, A.; ZHOU, Q.; KATAYAMA, A. Effect of temperature on reaction rate and microbial community in composting of cattle manure with rice straw. **Journal of Bioscience and Bioengineering** ed.104, 321–328, 2007.

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

VALÉRIUS, N. C.S, Sistema de tratamento de efluentes para águas residuárias em um abatedouro de aves no oeste do paraná. Dissertação (Trabalho de conclusão de curso em Tecnologia em Biotecnologia) – Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2013.

WILLSON et al., “Recent Advances in Compost Technology”. In: **Sludge Management, Disposal and Utilization, Information Transfer**. Inc. Rockville, MD. p. 167, 1976.

ZATORRE, N. P. Atributos biológicos do solo como indicadores de qualidade do solo. **Gaia Scientia, Seropédica**, v. 2, n. 6, p. 9-13, 2008.

ZUCCONI F., PERA A., FORTE M., De BERTOLDI M. Evaluating toxicity of immature compost. **BioCycle**, v.22, n. 2, p. 54–57, 1981.