

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ENGENHARIA AMBIENTAL
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL

PAULA DELISE DA COSTA DE OLIVEIRA

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM LEIRAS
COM DIFERENTES FONTES DE CARBONO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO
2014

PAULA DELISE DA COSTA DE OLIVEIRA

**COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM LEIRAS
COM DIFERENTES FONTES DE CARBONO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2 (TCC II) do curso de Engenharia Ambiental, do Departamento de Engenharia Ambiental, do Câmpus Campo Mourão, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. José Hilton Bernardino de Araújo

Coorientadora: Dra. Francieli Helena Bernardi

CAMPO MOURÃO
2014



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Campus Campo Mourão
Diretoria de Graduação e Educação Profissional
Departamento Acadêmico de Ambiental - DAAMB
Curso de Engenharia Ambiental



TERMO DE APROVAÇÃO

COMPOSTAGEM DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS EM LEIRAS COM DIFERENTES FONTES DE CARBONO

por

PAULA DELISE DA COSTA DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 12 de Fevereiro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a banca examinadora considerou o trabalho **APROVADO**.

Prof. Dr. José Hilton Bernardino de Araújo

Dra. Francieli Helena Bernardi

Prof. Dra. Mônica Sarolli Silva De Mendonça Costa

Prof. Dra. Sônia Barbosa de Lima

"O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental".

Dedico este trabalho aos meus pais, Rui e Icelene. Juntos, sempre fizeram o possível, e às vezes até o impossível, para que eu pudesse alcançar os meus objetivos de vida e me sentir amada em todos os momentos.

AGRADECIMENTOS

À força de amor maior, Deus, que me concedeu o direito de experimentar a maravilhosa intensidade da vida terrena. Aos meus pais, Rui e Ilcelene, e, as minhas irmãs, Carolina e Rubia, por dedicarem a mim todo amor, carinho, aconchego, conselhos, apoio, tempo, trabalho, paciência e atenção, sou eternamente grata, amo vocês.

A todos os outros queridos familiares que sempre se importaram com o meu bem-estar e felicidade.

Aos os meus admiráveis professores de graduação pelos ensinamentos repassados e a todos os queridos colaboradores da UTFPR, Campo Mourão. Em especial, ao meu orientador Professor Doutor José Hilton Bernardino pela confiança.

A minha coorientadora, Francieli Helena Bernardi, por me orientar e ensinar, durante todos os momentos de desenvolvimento deste trabalho com muita paciência, carinho, atenção, dedicação e amizade, e, por me acalmar nos tempos de desespero e falta de confiança própria. Estendo minha imensa gratidão a Professora Doutora Mônica Sarolli Silva De Mendonça Costa pela oportunidade, ensinamentos e carinho; a UNIOESTE de Cascavel por ter me aberto suas portas; e, a toda equipe do Laboratório de Resíduos Agroindustriais pela calma, cuidado e parceria, equipe que muito me iluminou por toda etapa de campo e análises. Todos vocês tornaram os meus dias de trabalho muito mais agradáveis.

As amizades que firmei ao longo de toda minha graduação, por toda diversão, aprendizado, e, boas energias, palavras e atitudes nos meus momentos difíceis. Dentre os inúmeros, os especiais: Johnata, Henrique, Thalita, Franceline, Jonas, Jeferson, Guilherme B., William, Mateus, Lucas, Rodrigo, Guilherme J. e Paulo T., família que constitui em Campo Mourão, devido ao curso.

Aos amigos de longa data, por há muito tempo me aconselharem, compreenderem e oferecerem acalento: Fernanda, Layse, Thomas, Jaqueline F. e Jaqueline H..

A todos que já dividi um lar por estudar longe da casa de meus pais, vocês se tornaram essenciais no meu desenvolvimento pessoal e me trazem ótimas lembranças: Bruna, Gregh, Rafa, Bahia, Daniel, Valéria e Taini.

Aos meus colegas de turma, de curso e de universidade, que muito me instruíram durante as trocas de conhecimentos e busca por melhorias educacionais e estruturais dentro e fora da instituição.

“Quando tudo nos parece dar errado
Acontecem coisas boas
Que não teriam acontecido
Se tudo tivesse dado certo.”

Renato Russo

RESUMO

OLIVEIRA, Paula Delise da C. de. **Compostagem de resíduos agroindustriais em leiras com diferentes fontes de Carbono**. 2014. 51f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão 2014.

Os descartes e subprodutos gerados ao longo da cadeia produtiva da agroindústria devem ser adequadamente estabilizados antes da sua disposição final no ambiente, pois, se não forem previamente manejados, representam um grande potencial poluidor. A compostagem mostra-se como uma alternativa de estabilização, com a vantagem de reaproveitar os nutrientes presentes nesses resíduos, transformando-os após a finalização do processo em fertilizante orgânico que tem o potencial de realizar melhorias físicas, químicas e biológicas no solo. Desta forma, o objetivo deste trabalho foi monitorar determinados fatores ao longo do processo de compostagem, e, analisar as características do composto orgânico produzido. Cinco leiras constituídas por uma mistura de resíduos agroindustriais (resíduos de incubatório, lodo de flotador, cama de matrizeiro, tripa celulósica e carvão remanescente da caldeira) foram montadas. Em todas as leiras, a umidade foi ajustada semanalmente a 60%, foram realizados dois revolvimentos semanais no primeiro mês e apenas um após este período e em todas, definiu-se uma relação C:N inicial de aproximadamente 30:1. O fator a ser variado foram as fontes de carbono utilizadas: T₁: algodão, T₂: poda urbana, T₃: serragem, T₄: bagaço de cana-de-açúcar e T₅: capim Napier. Os tratamentos foram monitorados até as leiras atingirem temperatura ambiente. Dentre os fatores analisados, observou-se que T₁ atingiu mais rapidamente a fase termófila do processo, enquanto T₃ demorou mais tempo para isso. Os tratamentos 2 e 5 apresentaram as mais altas médias de temperatura dentro da fase termófila. O pH das leiras aumentou em todos os tratamentos, apresentando ao final do processo característica alcalina, apenas T₄ se distinguiu por apresentar maior aproximação da neutralidade. A concentração de NTK também se elevou, exceto para T₃ que praticamente permaneceu estabilizada, isto ocorreu devido as grandes perdas do nutriente por volatilização, causada pelo fato da serragem apresentar um C mais resistente à degradação. O COT diminuiu como o esperado pela perda de massa proveniente da utilização do C da matéria orgânica como fonte de energia. A CE se elevou em todos os tratamentos, exceto em T₃. Na análise do composto final, o T₃ apresentou a relação C:N mais alta e a menor disponibilização de N, macro nutriente de suma importância para o desenvolvimento de vegetais. De acordo com a legislação vigente, considerando apenas os parâmetros avaliados acima, apenas o T₃ não produziu um fertilizante orgânico comercializável, enquanto os outros tratamentos apresentaram um produto de qualidade satisfatória e em condições de comercialização.

Palavras-chave: Resíduos da desfibrilação de algodão. Podas urbanas. Serragem. Bagaço de cana. Capim Napier.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Paula Delise da C. de. **Agroindustrial waste composting in windrows with different sources of carbon**. 2014. 51f. Completion of course work (Bachelor of Environmental Engineering) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão 2014.

Discharges and by-products generated throughout the production chain of agricultural industry should be adequately stabilized before its final disposal on the environment, because if they are not previously managed, represent a major pollution potential. Composting is shown as an alternative stabilization, with the advantage of reusing the nutrients present in these wastes, transforming them after completion of the process in organic fertilizer that has the potential to make physical improvements, chemical and biological soil. Thus, the objective of this work was to monitor certain factors during the composting process, and analyze the characteristics of the produced organic compound. Five piles consisting of a mixture of organic residues (hatchery waste, flotation sludge, mother nursery bed, cellulosic casings and remaining coal boiler) were mounted. In all plots, the moisture was adjusted to 60% on a weekly, two weekly turnings were conducted at one month and just after this period and all, we defined a lower C: Initial N of approximately 30: 1. The factor to be varied were the carbon sources used: T₁: cotton, T₂: urban pruning, T₃: sawdust, T₄: bagasse from sugar and T₅: Napier grass. The treatments were monitored until they reach room temperature plots. Among the factors analyzed, it was observed faster than T₁ reached the thermophilic stage, while T₃ took longer for that. Treatments 2:05 had the highest average temperature in the thermophilic phase. The pH of the windrows increased in all treatments, with the end of the alkaline characteristic process, only T₄ distinguished by having closer neutrality. The concentration of NTK also increased, except for T₃ that practically remained stable, this occurred due to large losses of nutrient volatilization, caused by the fact sawdust present a more resistant to degradation C. TOC decreased as expected by the weight loss from C using the organic matter as an energy source. The EC increased in all treatments, except for T₃. The analysis of the final compound, T₃ showed the C: N ratio higher availability and lower N, short macro nutrient important for plant development. According to current legislation, considering only the above parameters evaluated, only the T₃ did not produce a marketable organic fertilizer, while the other treatments showed a product of satisfactory quality and marketing conditions

Keywords: Waste of cotton carding. Urban Pruning. Sawdust. Sugarcane Bagasse. Napier Grass.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Classificação dos Resíduos Sólidos, segundo ABNT NBR 10004 de 2004.....	16
Figura 2 - Curva padrão de temperatura e suas etapas durante o processo de compostagem, segundo Kiehl. Em a, faixa de temperatura mesófila, e, em b, termófila.....	21
Figura 3 - Curva padrão para as fases de compostagem, segundo Bidone e Povinelli	22
Figura 4 – Parâmetros tolerados pela Instrução Normativa N° 25 de 23 de Julho de 2009, do Ministério Da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.....	27
Figura 5 – Aspectos dos resíduos agroindustriais utilizados em todos os tratamentos acompanhados e analisados. Em a. resíduo de incubatório, em b. cama de matrizeiro, em c. lodo de flotador, em d. carvão remanescente das caldeiras, e, em e. tripa celulósica.....	28
Figura 6 – Pátio com cobertura e piso de concreto localizado no NEEA da Unioeste em Cascavel, local onde os tratamentos foram montados e monitorados.....	29
Figura 7 – Pesagem dos cinco diferentes tratamentos montados e acompanhados no NEEA da Unioeste em Cascavel.....	31

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Temperatura da média diária do T ₁ , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.....	34
Gráfico 2 - Temperatura da média diária do T ₂ , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.....	35
Gráfico 3 - Temperatura da média diária do T ₃ , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.....	35
Gráfico 4 - Temperatura da média diária do T ₄ , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.....	36
Gráfico 5 - Temperatura da média diária do T ₅ , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.....	37
Gráfico 6 – Média das temperaturas dos tratamentos, a cada 14 dias.....	39
Gráfico 7 – Desenvolvimento do pH nos tratamentos ao longo da compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.....	40
Gráfico 8 - Dinâmica do nitrogênio total (NTK) durante o processo de compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.....	41
Gráfico 9 - Dinâmica do Carbono orgânico Total (COT) em função do tempo de compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.....	42
Gráfico 10 – Comportamento da CE nos tratamentos ao longo do processo de compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.....	43

LISTA DE SIGLAS, SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

C – Carbono

CE – Condutividade Elétrica

COT - Carbono Orgânico Total

C:N – Carbono:Nitrogênio

NTK - Nitrogênio Total de Kjeldahl

N - Nitrogênio

O₂ – Oxigênio

pH – Potencial Hidrogeniônico

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 OBJETIVOS GERAIS	15
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	16
3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS.....	16
3.2 A AGROINDÚSTRIA E SEUS RESÍDUOS.....	17
3.3 COMPOSTAGEM	18
3.3.1 Temperatura.....	20
3.3.2 Aeração.....	23
3.3.3 pH.....	24
3.3.4 C:N	24
3.3.5 Umidade	26
3.4 COMPOSTO ORGÂNICO	26
4 MATERIAL E MÉTODOS	28
4.1 RESÍDUOS UTILIZADOS NO PROCESSO.....	28
4.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO.....	29
4.2.1 Temperatura.....	30
4.2.2 Umidade e Aeração	31
4.2.3 Massa.....	31
4.2.4 Amostragem	32
4.4 METODOLOGIAS EMPREGADAS	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	34
5.1 MONITORAMENTO DIÁRIO DE TEMPERATURA.....	34
5.2 PARÂMETROS ACOMPANHADOS E FERTILIZANTES ORGÂNICOS PRODUZIDOS.....	38
6. CONCLUSÃO.....	45
REFERÊNCIAS	46

1 INTRODUÇÃO

O setor agroindustrial brasileiro tem ampliado sua produtividade para atender as elevadas e crescentes taxas da demanda populacional por alimentos. Com isto, aumentam-se também as gerações de resíduos, em estado sólido, efluentes líquidos e materiais presentes nas emissões atmosféricas. Como exemplo, pode-se citar: resíduos de abatedouros, lodos das estações de tratamento de efluentes, invólucro de embutidos, carvão remanescente de caldeiras, resíduos da limpeza de grãos em unidades de beneficiamento, resíduo da desfibrilação de algodão, bagaço de cana-de-açúcar, resíduo de incubatório, embalagens de fertilizantes, entre outros (SBIZZARO, 2013; TONETO, SAIANI, DOURADO, 2014).

Há muito tempo tem se pesquisado alternativas de tratamento para os descartes e subprodutos gerados por este tipo de atividade, não só para atender a legislação ambiental vigente, mas também, para promover a preservação ambiental. Sabe-se que uma parte considerável destes resíduos é composta por materiais orgânicos ricos em nutrientes, os quais se não tratados e acumulados desordenadamente no ambiente, podem levar à poluição da água e do solo (principalmente eutrofização de corpos hídricos), a disseminação de doenças, além de provocar odores desagradáveis. As opções de tratamentos em estudo são compostas por processos aeróbios ou anaeróbios, ou ainda pela combinação destas técnicas (AMORIM, 2002; BERNARDI, 2011; CARNEIRO 2012).

A compostagem apresenta-se como uma dessas opções de tratamento, de baixo custo e boa eficiência. Este processo tem por finalidade, obter mais rapidamente e em condições desejadas a estabilização da matéria orgânica. O mesmo minimiza os impactos causados pela grande geração de resíduos, e, gera o aproveitamento dos elementos químicos nutricionais neles existentes. É uma técnica biológica aeróbia, a qual com o adequado monitoramento permite a reciclagem dos nutrientes, sem que ocorram excessivas perdas nutricionais por lixiviação ou volatilização (COSTA et al., 2005; KIEHL, 2010; BECHARA, 2013).

Esta opção de tratamento consiste na quebra das grandes cadeias constituintes dos resíduos orgânicos. Microrganismos degradadores agem sobre as moléculas da matéria-prima (resíduos) e as transformam em um material de interesse, o composto orgânico. Produto que é ótimo condicionador de características químicas, físicas e biológicas do solo (BUDZIAK, MAIA, MANGRISH, 2004).

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

Para a produção deste composto, faz-se necessário o controle e acompanhamento de todos os fatores que podem interferir no procedimento, bem como na qualidade final do produto, são eles: relação Carbono:Nitrogênio, temperatura, aeração, umidade e potencial Hidrogeniônico (pH), sendo que este último parâmetro é apenas acompanhado. Segundo os autores Orrico Júnior, Orrico e Lucas Júnior (2010), a matéria utilizada como principal fonte de Carbono (C) também influenciará na compostagem. Pois os microrganismos utilizam este nutriente como fonte energética para o processo.

A produção de um composto final que atenda aos requisitos legais, sendo passível de utilização em solo agrícola, é uma forma de reduzir, ou, até mesmo eliminar a incidência de passivos ambientais e gerar um produto com retorno financeiro por ser condicionador de melhorias no solo.

Com base no exposto acima, o presente trabalho teve como objetivo acompanhar e avaliar o processo de compostagem de resíduos agroindustriais, com a adição de diferentes fontes de C. Os descartes e subprodutos tratados em todas as leiras foram: resíduos de incubatório, lodo de flotador, cama de matrizeiro, tripa celulósica e carvão remanescente da caldeira. E as cinco diferentes fontes de C utilizadas foram: resíduos da desfibrilação de algodão (T₁), poda urbana (T₂), serragem (T₃), bagaço de cana-de-açúcar (T₄) e capim Napier (T₅). Como finalidade proposta também se identificou as misturas, aqui tratadas, que podem ser utilizadas neste tipo de técnica para a produção de um fertilizante orgânico de acordo com a norma vigente.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVOS GERAIS

Objetivou-se neste trabalho acompanhar e avaliar o processo de compostagem com a adição de diferentes fontes de Carbono em leiras de resíduos agroindustriais, respeitando a relação C:N inicial próxima de 30:1, e ainda, identificar as misturas que podem ser utilizadas neste tipo de tratamento para a produção de um fertilizante orgânico de acordo com a norma vigente.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para o cumprimento do objetivo geral, foram propostos os seguintes objetivos específicos:

- Controlar a aeração e umidade do processo;
- Realizar aferições de temperatura diária nas leiras;
- Comparar a redução de massa das leiras em Matéria Seca;
- Monitorar os parâmetros: pH, Carbono Orgânico Total (COT), Condutividade elétrica (CE) e Nitrogênio Total de Kjeldahl (NTK), a cada duas semanas de processo.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1. RESÍDUOS SÓLIDOS

Os Resíduos Sólidos são definidos pela Lei Nº 12.305, de 2010 (BRASIL; 2010) e pela Norma Brasileira Regulamentadora ABNT NBR - 10.004 de 2004 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS; 2004). A primeira institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, e, a segunda os classifica para que possam ser gerenciados adequadamente, conforme ilustrado na Figura 1. Ambas, em consonância definem como um material, substância, objeto ou bem descartado, em estado sólido, semissólido e líquido, resultante de atividades antrópicas, os quais devido as suas particularidades têm como inviável o seu lançamento direto em rede pública de esgotos ou em corpos d'água.

Classe I	Classe II	
Resíduos <u>Perigosos</u>	Resíduos <u>Não Perigosos</u>	
	classe IIA – Não inertes	classe II B – Inertes
Em função de suas propriedades físicas, químicas ou infectocontagiosas, pode apresentar: a) risco à saúde pública, provocando mortalidade, incidência de doenças ou acentuando seus índices; b) riscos ao meio ambiente, quando o resíduo for gerenciado de forma inadequada.	Podem ter as seguintes propriedades: biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água. Geralmente mais fácil de ser classificado por exclusão, quando não classificado em classe I, nem classe II B.	Quaisquer resíduos que quando amostrados, segundo a ABNT NBR 10007, e submetidos a um contato dinâmico e estático com água destilada ou deionizada, à temperatura ambiente, conforme ABNT NBR 10006, não tiverem nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações superiores aos padrões de potabilidade de água.

Figura 1 – Classificação dos Resíduos Sólidos, segundo ABNT NBR 10004 de 2004.

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas (2004).

Tais descartes podem ser extremamente distintos entre si. Suas características físicas, químicas e biológicas, dependem de diferentes condicionantes, tais como: a origem da geração (que pode ser domiciliar, comercial, industrial, agrícola, serviços de saúde), a natureza física (seco ou molhado), composição química (orgânico e inorgânico), os potenciais riscos ao ambiente e os potenciais riscos à saúde humana (D'ALMEIDA; VILHENA, 2010).

O grande potencial poluidor desses resíduos, a menor disponibilidade de área para acondicionamento, as carências tecnológicas, a falta de critérios e de controle na disposição final, o crescimento demográfico e o desenvolvimento tecnológico (propicia uma maior

produção), juntos, tem tornado o problema cada vez mais grave, e, aumentado a preocupação quanto ao seu manejo adequado (VERAS, POVINELLI, 2004; BRUNI 2005).

Porém, parte deste material descartado apresenta a possibilidade de ser convertido em produtos comerciais ou matérias-primas para processos secundários, pois pode conter muitas substâncias de alto valor. Para esta transformação é necessário que seja empregado, a tecnologia de tratamento adequada para cada tipo de resíduo (LAUFENBERGA; KUNZA; NYSTROEM, 2003).

3.2 A AGROINDÚSTRIA E SEUS RESÍDUOS

O setor agroindustrial visa à obtenção de alimentos e fibras, é formado pela junção das seguintes atividades: criação de animais, o cultivo agrário, o beneficiamento destes produtos e suas transformações, a produção de bens industriais para a agropecuária e os serviços financeiros correspondentes. Há muito tempo ele tem colaborado com o crescimento econômico do país. Entretanto, contribui significativamente para o aumento da geração de resíduos, os quais são produzidos de forma concentrada em diversos tipos de processos e apresentam composição conhecida e constante, destacando-se dentre eles os sólidos orgânicos (MULLER, 1982; BELUSSO, SERRA, 2006; ROSA et al., 2011; PEDROSA et al., 2013).

O Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA, 2012) realizou um diagnóstico dos resíduos urbanos e agrosilvopastoris num panorama nacional, o Comunicado nº 145, baseado em dados de Institutos, Associações e Ministérios respeitados da área. Segundo este estudo, estima-se que as Agroindústrias das principais criações animais (bovinos, aves e suínos), somadas as indústrias primárias ligadas a elas, tenham produzido 83,4% do total gerado pelo setor agrosilvopastoril no país (IPEA, 2012). O descarte inadequado no ambiente (sem prévio tratamento), deste relevante ramo na geração de resíduos, pode gerar sérios problemas de contaminação química e microbiológica do solo e da água, o que coloca em risco a qualidade de vida da população ao redor das unidades produtoras (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Com relação aos subprodutos e descartes produzidos pela agroindústria de maneira geral, pode-se citar: resíduos de abatedouros, lodos das estações de tratamento de efluentes, palha de arroz, invólucro de embutidos, carvão remanescente de caldeiras, resíduos da limpeza de grãos em unidades de beneficiamento, resíduo da desfibrilação de algodão,

bagaço de cana-de-açúcar, conteúdo ruminal de bovinos, manipueira das feccularias, restos de culturas e hortaliças, resíduo de incubatório, tortas da produção de biodiesel, efluentes de abatedouros, resíduos de aves de postura, e, outros variados (BERNARDI, 2011; CARNEIRO, 2012).

Apesar de a maior porção destes resíduos apresentarem elevado poder poluente, não devem ser considerados como lixo, sem valor econômico. Pois, quando são manejados de forma adequada, possuem valor econômico agregado (SILVA, 2007).

Segundo Benedites (2006), entre os principais resíduos agroindustriais com potencial para uso agrícola disponíveis no Brasil, considerando sua composição e as escalas de produção estão: os resíduos da indústria sucroalcooleira (bagaço da cana-de-açúcar, torta de filtro, cinzas de caldeira, borra de branqueamento do açúcar), resíduos da produção animal (camas, restos de carcaças, esterco, sólidos oriundos da limpeza das baias), resíduos da indústria de processamento de frutas e hortaliças (casca de coco, bagaços diversos, produtos alimentícios após a validade ou fora do padrão), resíduos da produção de carvão vegetal (fino de carvão, alcatrão e ácido pirolenhoso) e as palhadas resultantes da produção de sementes de gramíneas.

Além de preservar o ambiente evitando impactos negativos causados pelo descarte inadequado, o aproveitamento dos variados resíduos agroindustriais, pode gerar benefícios econômicos. Dentre as possíveis maneiras, através da recuperação de elementos químicos valiosos, como, o Nitrogênio, Fósforo e Potássio (N, P e K). Essa transformação pode ser realizada por meio da compostagem, alternativa biotecnológica de tratamento de resíduos orgânicos com finalidades agronômicas.

3.3 COMPOSTAGEM

Não se trata de uma técnica nova, pois, a compostagem já vem sendo aplicada há alguns séculos no Oriente, especialmente na China (PEIXOTO, 1988). No Brasil os primeiros estudos relacionados foram de Dafert, o primeiro diretor do Instituto Agronômico de Campinas, que, em relatórios entre as datas de 1888 e 1893, incentivava e orientava como os produtores deveriam instalar em suas propriedades os “depósitos de composto” (KIEHL, 1985).

Segundo Kiehl (1985), compostagem é um processo controlado, de decomposição bioquímica de materiais orgânicos transformados em um produto mais estável e utilizado como fertilizante, obtendo-o mais rapidamente se em melhores condições para os atuantes na estabilização da matéria orgânica. De acordo com Costa (2005), consiste basicamente na geração de um composto por meio da disposição e mistura de materiais orgânicos, de origem vegetal e animal, para que ocorra de forma acelerada o processo natural de decomposição através da ação de microrganismos. Os autores Budziak, Maia, Mangrigh (2004) e Cunha Queda (1999) afirmam que a compostagem é um método caracterizado por ser um processo aeróbio, biológico, espontâneo e com fatores controlados, de degradação e transformação de materiais heterogêneos, orgânicos e instáveis, resultante da ação microbiológica.

Esta alternativa de tratamento apresenta baixo custo e é sanitariamente eficiente na eliminação de patógenos e odores fortes e desagradáveis. É comumente realizada em pátios, onde o material é disposto em montes de forma cônica (pilhas de compostagem), ou, montes de forma prismática com seção similar à triangular (leiras de compostagem) (BIDONE, POVINELLI, 1999; COSTA et al., 2009; BERNARDI, 2011).

A utilização da compostagem como sistema de reciclagem de resíduos agroindustriais é eficaz, tal afirmação é apoiada na literatura nacional. Dentre os trabalhos mais recentes, se destacam: Dessbesell et al. (2013), seguiram a emissão de óxido nitroso (N_2O) durante a compostagem automatizada de dejetos líquidos de suínos; Bernardi (2011), usou o processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial; Calazans et al. (2011), acompanharam a dinâmica da atividade das fosfatases ácida e alcalina em sistema de compostagem de resíduos agrícolas associados a rochas; Santos (2010), testou o efeito da compostagem do lodo de curtume e seu uso agrícola em indicadores biológicos de qualidade do solo; Cestonaro et al. (2010), julgaram o desempenho de diferentes substratos na decomposição de carcaça de frango de corte; Primo et al. (2010), aferiram a qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo; Costa et al. (2009), avaliaram o processo de compostagem de resíduos sólidos de frigorífico; Valent et al. (2009), fizeram um levantamento da literatura com relação aos fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos; Silva (2007), testou o processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais; Magalhães et al. (2006), avaliaram o processo de compostagem de resíduo orgânico (bagaço de cana-de-açúcar triturado), utilizado como material filtrante para águas residuárias de suinocultura; Costa et al. (2005), analisaram o efeito da aeração no primeiro estágio da compostagem de carcaça de aves; entre outros.

A compostagem é desenvolvida por microrganismos aeróbios e facultativos (os principais envolvidos são: bactérias, actinomicetos e fungos), portanto, pode ser comprometida por qualquer fator que atinja a atividade dos mesmos. No processo a ação microbiológica e enzimática é fundamental na fragmentação gradual e oxidação dos detritos na matéria orgânica. Então, para a obtenção de uma adequada degradação da matéria orgânica sem elevadas perdas nutricionais por lixiviação ou volatização, e, redução no tempo necessário para as transformações apropriadas no descarte inicial, é necessário que alguns fatores devam ser monitorados e mantidos sobre controle ao longo do processo (VERAS, POVINELLI, 2004; KIEHL, 2010).

De acordo com Bruni (2005), Barreira, Junior, Rodrigues (2006), Kiehl (2010) e Bernardi (2011), muitos fatores interferem e influenciam na decomposição durante o processo. Podendo-se citar a aeração, umidade, temperatura, pH, relação C:N, tamanho da partícula e os resíduos orgânicos utilizados. Eles intervêm no tempo de estabilização e qualidade do produto final gerado.

Com isto, para se obter um composto de boa qualidade em menos tempo, é necessário que os resíduos apresentem uma adequada relação de nutrientes e fatores, proporcionando condições favoráveis ao crescimento e metabolismo das colônias de microrganismos (FIORI; SCHOENHALS; FOLLADOR, 2008).

Portanto, segundo Valent et al. (2009), a eficiência da compostagem pode ser avaliada pela qualidade do composto produzido, que está diretamente relacionada ao fornecimento de condições ótimas para as transformações do tratamento.

3.3.1 Temperatura

De acordo com Pereira Neto (2007), a temperatura é a variável mais útil para acompanhar a evolução do processo, já, que pode ser obtida de maneira direta, instantânea, de forma contínua, e, é a resposta da atividade microbiana. Pois, o metabolismo exotérmico durante a fermentação aeróbica, eleva de forma natural à temperatura das pilhas ou leiras. Quando há uma diminuição na temperatura é indicativo de uma atenuação na biodegradação. A compostagem pode ocorrer em regiões de temperaturas mesofílicas (25° a 43°C) e termofílicas (45 a 85°C) (KIEHL, 1985).

Os autores Kiehl (1985), Valent et al. e Bernardi (2011) relatam que a temperatura está relacionada com diversos fatores, por exemplo, umidade, relação de nutrientes, aeração e granulometria dos materiais constituintes das leiras (materiais moídos e peneirados com granulometria fina e maior homogeneidade apresentam menos perda de calor, pois, formam montes com melhor distribuição; leiras com materiais mais grosseiros proporcionam boa aeração, são mais sujeitos a perdas de calor do que os anteriores).

Segundo Kiehl (1985), a compostagem pode ser dividida em três fases com relação à temperatura, como apresentado na Figura 2. A primeira etapa mesofílica, a segunda etapa termofílica e a terceira etapa mesofílica novamente. Correspondendo as duas primeiras a bioestabilização da matéria orgânica, a qual o composto deixa de ser prejudicial às raízes e sementes. E a última, é a de humificação ou maturação da matéria orgânica.

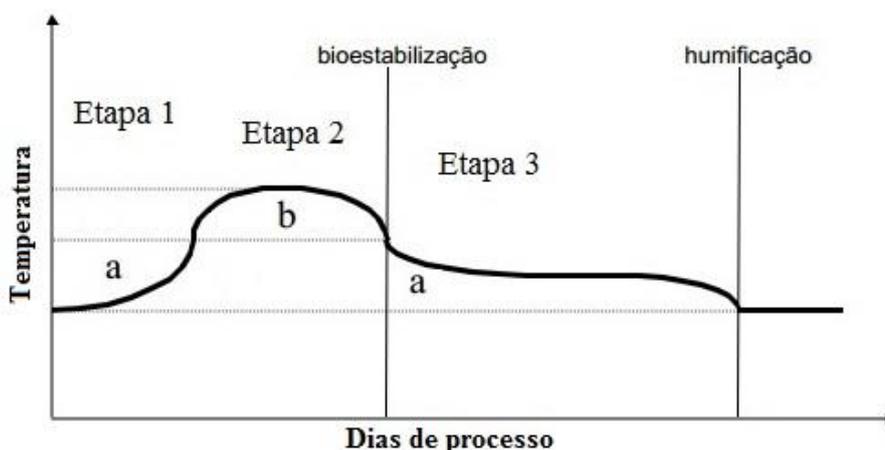


Figura 2 - Curva padrão de temperatura e suas etapas durante o processo de compostagem, segundo Kiehl. Em a, faixa de temperatura mesofílica, e, em b, termofílica.

Fonte: Adaptado de Kiehl (1985).

Já, Bidone e Povinelli (1999), definem quatro etapas da compostagem. A Etapa 1, de elevação da temperatura até o limite apontado como ótimo pelos autores, entre 50°C e 60°C. A Etapa 2, se procede depois de atingida esta temperatura, onde é conduzida então, a bioestabilização, degradação ativa do material orgânico, na faixa de aquecimento adequada, termofílica. Na Etapa 3, inicia-se o resfriamento do material e sua maturação. Na 4, é o período final de maturação, de cura do material compostado, com a formação de ácidos húmicos. A Figura 3 representa esquematicamente as etapas citadas acima.

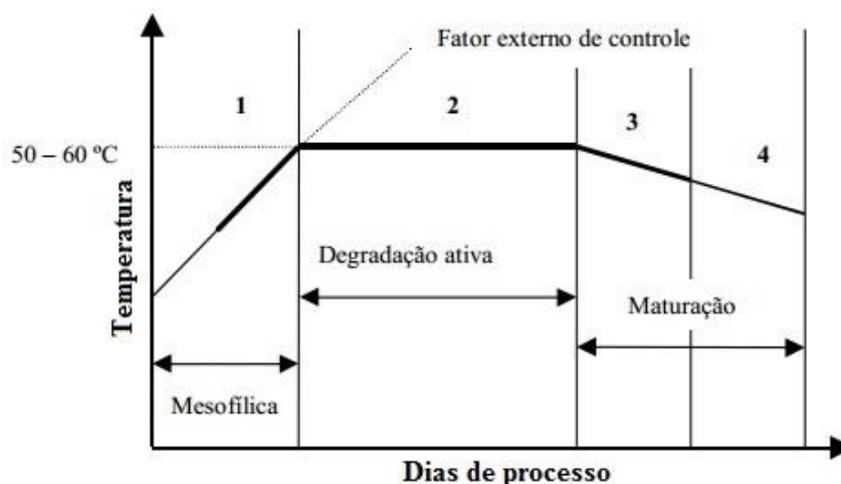


Figura 3 - Curva padrão para as fases de compostagem, segundo Bidone e Povinelli (1999).

Fonte: adaptado de Bidone e Povinelli (1999).

Na fase termofílica ocorre a máxima decomposição dos compostos orgânicos, sendo considerada uma fase de degradação ativa de polissacarídeos como amido, celulose e proteínas, transformando-os em subprodutos que serão utilizados pela microbiota. Porém, à medida que os estoques de C são consumidos e exauridos, a temperatura decresce gradualmente, até igualar-se à temperatura ambiente (VALENT et al.; 2009).

Com relação aos microrganismos patogênicos e as sementes de plantas daninhas, a fase termófila do processo também é responsável por estas eliminações. A microbiota indesejável é mesófila, portanto, acima de 50°C só encontram condições desfavoráveis para o seu desenvolvimento, não se proliferam e morrem, quanto à inativação das sementes, ocorre acima de 62°C (BIDONE, POVINELLI, 1999). Além da destruição e/ou inativação pelo calor, o autor Haug (1993) menciona que os patógenos são destruídos ou controlados também pelas relações ecológicas existentes na massa de compostagem como, por exemplo, a competição. Porém, temperaturas acima de 65°C tornam o processo menos eficiente, e, maiores que 70°C quando mantidas por longos períodos são desaconselháveis, uma vez que eliminam os microrganismos bioestabilizadores, responsáveis pela transformação do material bruto em húmus, tal controle pode ser exercido pelo revolvimento constante da leira, pois a aeração auxilia no controle de temperatura (BIDONE, POVINELLI, 1999; CARNEIRO, 2012).

Como indicador de condições satisfatórias de equilíbrio no seu ecossistema, a pilha ou leira, deve registrar temperaturas de 40 a 60°C dentro do segundo ao quarto dia da montagem (FIORI; SCHOENHALS; FOLLADOR, 2008).

O valor de temperatura e pH elevados durante o processo de compostagem podem condicionar o balanço NH_3/NH_4 , favorecendo a emissão/volatização de NH_3 (BRITO et al., 2008), sendo que, temperaturas acima de 65°C , associadas a pH maiores que 7,5 a 8,0 favorecem as perdas de nitrogênio pela volatilização da amônia, gerando odores desagradáveis (PEREIRA NETO, 1989).

3.3.2 Aeração

O fornecimento de ar é vital à atividade microbiana, pois os microrganismos aeróbios têm a necessidade de oxigênio (O_2) para oxidar a matéria orgânica heterogênea que lhes serve de alimento, e assim alterar as características iniciais dos resíduos. A falta deste elemento pode se tornar fator limitante para a atividade microbiológica e assim prolongar tempo necessário para a bioestabilização e maturação do composto (FERNANDES, DA SILVA, 1999; COSTA et al., 2005).

Quando a disponibilidade de O_2 é zero, ou quase nada, os microrganismos aeróbios morrem e são substituídos pelos anaeróbios. Os quais são indesejados neste tipo de tratamento, pois, decompõe a matéria orgânica mais lentamente e produzem odores indesejáveis causando a atração de vetores patógenos (KIEHL, 2010).

A leira, ou pilha, quando vista em corte exhibe variáveis porcentagens de O_2 no ar encontrado em seus espaços vazios. A camada mais externa apresenta cerca de 18 a 20%, enquanto que, caminhando para o centro da leira aumenta-se o teor de gás carbônico e diminui o de O_2 , o núcleo (base e centro), quando não revolvido, demonstra aproximadamente de 0 a 2% de O_2 . Considerando-se que no interior o conteúdo mínimo deva ser 5% a aeração deve ser realizada periodicamente. A circulação de O_2 depende da estrutura e umidade da massa e principalmente dos revolvimentos realizados (KIEHL, 1985).

A aeração aumenta a disponibilidade de O_2 , assim aumenta a atividade microbiana, o que eleva a temperatura (COSTA et al., 2005).

3.3.3 pH

A matéria orgânica crua, de origem vegetal ou animal, é naturalmente ácida. A compostagem aeróbia aumenta o seu pH, tornando-o neutro quando bioestabilizado e básico quando humificado, no fim do processo. Então, ao se realizar determinações periódicas deste parâmetro, pode-se acompanhar o desenvolvimento da decomposição, e, ao fim do processo, o composto quando aplicado em solo ácido favorece o bom desenvolvimento vegetal (KIEHL, 1985).

Os autores Fernandes e Silva (1999) complementam afirmando que a passagem à fase termófila é acompanhada de rápida elevação do pH, que se explica pela hidrólise das proteínas e liberação de amônia. Assim, normalmente ele se mantém alcalino (7,5-9,5), durante a fase termófila.

A faixa de pH considerada ótima para o desenvolvimento dos microrganismos responsáveis pela compostagem, segundo Pereira Neto (2007), situa-se entre 4,5 e 9,5, uma vez que a maioria das enzimas encontram-se ativas nesta faixa. E, de acordo com Valente et al. (2009) o pH alcalino no processo de compostagem acarreta perdas de N pela volatilização de amônia.

3.3.4 C:N

A relação C:N deve ser determinada no material a ser compostado para efeito de balanço de nutrientes, e, no produto final para efeito de qualidade do composto. Isto, porque a atividade dos microrganismos heterotróficos depende tanto de N para síntese de proteínas, quanto de C para ser sua fonte de energia (VALENT et al., 2009).

Os microrganismos absorvem os elementos em uma proporção de 30 partes de C para uma de N. Das 30, 20 são eliminadas como CO₂, e 10 são incorporadas no protoplasma junto com a única parte de N (KIEHL, 1985). Devido a este fator, para que possa se proporcionar condições ótimas para uma ação eficaz da microbiota é indicada uma relação inicial de 30/1 (PEREIRA NETO, 2007; FIORI, SCHOENHALS, FOLLADOR, 2008).

A baixa relação C:N favorece a emissão de amônia, perda de N, durante a fase termofílica da decomposição aeróbia e retarda o processo de estabilização da matéria orgânica (DA SILVA, 2007).

Durante a fase ativa do processo de compostagem o C-orgânico (biodegradável) diminui no material devido à decomposição da matéria orgânica (MO) pelos microrganismos. Pois, como serve de fonte de energia para os microrganismos, durante o processo ocorre à liberação dele como CO₂ (SILVA et al., 2009). Esta perda de MO reduz o peso da pilha e diminui a relação C:N (BERNARDI, 2011).

O tempo para que ocorra a estabilização ou a maturação dos resíduos orgânicos, está diretamente relacionado à relação C:N inicial dos materiais utilizados como substratos. Segundo os autores Bernal; Albuquerque e Moral (2009), o valor final obtido no composto orgânico para que ele seja considerado bioestabilizado, deve ser $C:N \leq 25$. Ainda, baseado nos resultados dos experimentos desenvolvidos, pode-se dizer que para alcançar uma relação C:N adequada é necessário misturar diferentes resíduos orgânicos (VALENT et al., 2009). Portanto, na compostagem de dois ou mais materiais, para diminuir as perdas de N e propiciar um desenvolvimento ótimo na compostagem, deve-se buscar um equilíbrio para a relação C:N, utilizando resíduos ricos em nitrogênio aliados a resíduos palhosos (SILVA et al., 2002).

A qualidade da fração de carbono na leira servirá como indicativo da facilidade de degradação do material, sendo que, quanto maior for a resistência para que ocorra a degradação do substrato utilizado como fonte de C, maiores serão as perdas de N (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR; 2010).

As fibras vegetais são ótimas fontes de C, são constituídas basicamente por três componentes: celulose, lignina e hemicelulose. A celulose é um polissacarídeo com fórmula molecular geral $(C_6H_{10}O_5)_n$. Associada a ela, nos tecidos das plantas, encontra-se a hemicelulose, mistura de polissacarídeos de cadeia ramificada e baixa massa molecular, o qual promove a flexibilidade às plantas e atua como o ligante da celulose com a lignina. Apesar de apresentarem essencialmente os três mesmos membros, podem ser retiradas de distintas partes das plantas, por exemplo, do caule, das folhas, do fruto, do tronco e outros; o que faz com que estas fibras possam ser diferentes entre si (ROWELL et al., 1997; RAZERA, 2006).

3.3.5 Umidade

A água é indispensável para as necessidades fisiológicas dos microrganismos. Porém, a escassez ou excesso pode retardar o processo de compostagem (SILVA, 2007). Segundo Keihl (1985) a umidade ótima da leira deve ser inicialmente de 60 a 65%, para granulometria grosseira, de 55 a 60% para fina, e, não deve ser inferior a 40%, pois a microbiota é afetada quando chega a 35%.

3.4 COMPOSTO ORGÂNICO

O composto orgânico é o material obtido da compostagem. Ele possui coloração escura, é bioestabilizado, homogêneo, de odor não agressivo, isento de microrganismos patogênicos e apresenta o teor de nutrientes determinado pelas matérias-primas que foram utilizadas no processo, sendo classificado como adubo orgânico. Quando aplicado ao solo em determinadas quantidades, em épocas e formas adequadas, pode proporcionar melhorias nas suas qualidades químicas, biológicas e físicas, esta última não condicionada por fertilizantes minerais. Tem a possibilidade de atuar como um corretivo da acidez, um complexante de elementos tóxicos e uma fonte de liberação lenta de macro e micronutrientes às plantas, garantindo a produção de colheitas compensadoras, com produtos de boa qualidade, sem causar danos ao solo, à planta ou ao ambiente (DA SILVA, 2007; KIEHL, 2010).

Porém, antes da aplicação, é necessário realizar uma caracterização do produto formado no processo, pois, de acordo com os resíduos e processos empregados, a qualidade do produto final pode variar de excelente a péssima (FERNANDES, DA SILVA, 1999).

Um parâmetro que precisa ser analisado é a condutividade elétrica (CE), ela representa a presença de sais no composto. Segundo Sharma et al. (1997), valores entre 0,64 e 6,85 mS.cm⁻¹ são considerados normais para uso de resíduos em áreas agrícolas. Já o autor Kiehl (1998), afirma que a CE dos compostos orgânicos não deve ser superior a 4 mS.cm⁻¹.

As características do composto devem ser normatizadas por legislação específica (FERNANDES, DA SILVA, 1999). No Brasil, a Instrução Normativa Nº 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. Em Anexo I, Capítulo II ocorre à 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;
- 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.

Em Anexo III, da mesma legislação, especificações dos fertilizantes orgânicos mistos e compostos, apresentado na Figura 4.

ANEXO III
ESPECIFICAÇÕES DOS FERTILIZANTES ORGÂNICOS MISTOS E COMPOSTOS

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

Garantia	Misto/composto				Vermicomposto
	Classe A	Classe B	Classe C	Classe D	Classes A, B, C, D
Umidade (máx.)	50	50	50	70	50
N total (mín.)	0,5				
*Carbono orgânico (mín.)	15				10
*CTC ⁽¹⁾	Conforme declarado				
pH (mín.)	6,0	6,0	6,5	6,0	6,0
Relação C/N (máx.)	20				14
*Relação CTC/C ⁽¹⁾	Conforme declarado				
Outros nutrientes	Conforme declarado				

⁽¹⁾ É obrigatória a declaração no processo de registro de produto.

Figura 4 – Parâmetros tolerados pela Instrução Normativa Nº 25 de 23 de Julho de 2009, do Ministério Da Agricultura, Pecuária E Abastecimento. Fonte: BRASIL, (2009).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 RESÍDUOS UTILIZADOS NO PROCESSO

Foram utilizados no processo diferentes resíduos agroindustriais. Resíduos de incubatório (ovos não eclodidos, pintainhos mortos, pintainhos com má formação), lodo de flotador (resíduo resultante do processo de tratamento físico dos efluentes industriais da linha vermelha), cama de matrizeiro (onde há formação de ovos), tripa celulósica (invólucro de salsicha) e carvão remanescente da caldeira (Figura 5). Como fontes de C para os tratamentos foram utilizados: resíduo da desfibrilação de algodão, resíduo da poda de árvores urbanas, serragem, resíduo de bagaço de cana de açúcar e capim Napier. Os resíduos agroindustriais utilizados foram fornecidos pela Cooperativa Agroindustrial Consolata (Copacol). A descrição detalhada dos resíduos agroindustriais pode ser obtida em Bernardi (2011).

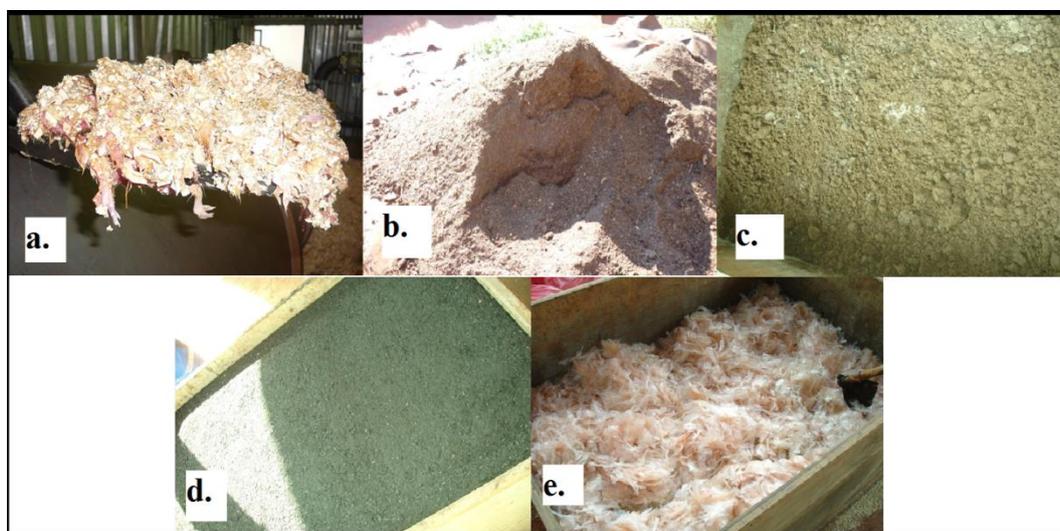


Figura 5 – Aspectos dos resíduos agroindustriais utilizados em todos os tratamentos acompanhados e analisados. Em a. resíduo de incubatório, em b. cama de matrizeiro, em c. lodo de flotador, em d. carvão remanescente das caldeiras, e, em e. tripa celulósica.

Dentre as atividades desenvolvidas pela cooperativa, estão: matrizeiro, incubatório de aves para a produção de pintainhos comerciais, frigorífico de aves, produção de embutidos, unidade de beneficiamento de grãos, entre outras.

4.2 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O ensaio foi conduzido no Núcleo Experimental de Engenharia Agrícola (NEEA) da Universidade Estadual do Oeste do Paraná (Unioeste). O NEEA localiza-se no município de Cascavel, na BR 467, no km 16, a uma altitude média de 760 metros. Segundo a classificação climática de Köppen, apresenta Clima Cfa, subtropical mesotérmico superúmido, o qual demonstra as seguintes características: sem estação de seca definida, com temperatura média para os meses de inverno inferior a 16°C, e, nos meses de verão temperaturas pontuais que ultrapassam os 30°C (IAPAR, 2010).

Cinco leiras foram confeccionadas em 26 de abril de 2014, em pátio coberto e com piso de concreto (Figura 6), respeitando-se a relação C:N de aproximadamente 30:1 e o peso de cada tratamento foi composto por 50% do peso em massa seca de uma fonte de carbono.



Figura 6 – Pátio com cobertura e piso de concreto localizado no NEEA da Unioeste em Cascavel, local onde os tratamentos foram montados e monitorados.

Para obter uma relação C:N de aproximadamente 30:1, utilizou-se os valores de NTK e COT de cada resíduo. Dividindo-se o valor de COT/NTK, tem-se a relação C:N de cada material, conforme apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Composição inicial dos resíduos utilizados durante o processo de compostagem acompanhado.

Material	C (%)	N (%)	C/N
Lodo	50,80	6,00	8,47
Cama	43,12	2,50	17,25
Incubatório	10,20	2,60	3,92
Tripa	54,12	0,30	180,40
Desfibrilação do algodão	50,80	2,03	25,02
Poda urbana	53,92	1,10	49,02
Serragem	54,37	0,20	271,85
Bagaço cana-de-açúcar	54,02	0,20	270,10
Napier	50,41	1,60	31,51

A quantidade de material utilizada, em massa seca, para cada tratamento pode ser observada na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2. Quantidade de material utilizado no processo em massa seca para cada tratamento.

RESÍDUOS	T₁ (kg)	T₂ (kg)	T₃ (kg)	T₄ (kg)	T₅ (kg)
Resíduo da desfibrilação de Algodão	130	0	0	0	0
Resíduo de poda de árvore	0	100	0	0	0
Serragem	0	0	109	0	0
Bagaço de cana	0	0	0	175	0
Capim Napier	0	0	0	0	128
Cama de aviário	17	26	17	26	17
Invólucro embutidos (Tripa celulósica)	90	35	31	31	56
Resíduo de incubatório	8	25	34	34	17
Lodo flotador	8	13	35	35	8
Carvão remanescente caldeira	25	25	25	25	25

As leiras foram montadas manualmente. Os resíduos foram inicialmente pesados em uma balança digital com máximo de pesagem de 200 kg (marca Filizola, modelo ID-1500), dentro de um tambor de 200L de polipropileno e dispostos em camadas.

Os parâmetros monitorados durante o processo são apresentados a seguir.

4.2.1 Temperatura

A temperatura foi monitorada diariamente em seis pontos diferentes por leira, com o auxílio de um termômetro de mercúrio. Para fins de comparação a temperatura ambiente

também foi monitorada diariamente. Em seguida, para a ilustração dos dados, a média aritmética das temperaturas foi calculada e utilizada nos gráficos.

4.2.2 Umidade e Aeração

Para controlar a aeração, revolvimentos foram realizados manualmente durante o processo, com a utilização de pás, seguidos de rega, sendo, duas vezes por semana no primeiro mês, e uma vez por semana nos meses seguintes até a finalização do processo.

Durante todo o processo a umidade da leira foi controlada e ajustada semanalmente com adição de água, para aproximadamente 60% de umidade. O teor de umidade a campo foi determinado com o uso de micro-ondas, conforme metodologia adaptada por Tavares et al. (2008). Já a umidade a 105°C para o cálculo da Matéria Seca (MS), seguiu a metodologia proposta por Kiehl (1985).

4.2.3 Massa

O procedimento para obtenção de massa se deu no início e fim do processo. A massa foi monitorada com o uso de balança digital (marca Filizola, modelo ID-1500) e auxílio de um tambor de polipropileno (Figura 7).



Figura 7 – Pesagem dos cinco diferentes tratamentos montados e acompanhados no NEEA da Unioeste em Cascavel.

O processo foi considerado finalizado quando a leira atingiu valores de temperaturas próximos à temperatura ambiente de 20°C.

4.2.4 Amostragem

As amostragens foram realizadas a cada 14 dias para todos os tratamentos. Para fins de análises químicas laboratoriais, cada leira foi dividida em três partes iguais e em cada parte foram coletadas sub-amostras em seis diferentes pontos, formando três amostras compostas por leira.

Após a coleta, as amostras foram levadas ao laboratório pré-secas a 50°C, em estufa de circulação de ar até massa constante, a fim de evitar perdas, principalmente de nitrogênio. Em seguida foram moídas em moinho de facas (marca Solab, modelo SL 30) e os resultados foram expressos em base seca (105°C), para a realização de NTK e COT.

Para determinação de pH e CE as amostras coletadas, foram imediatamente analisadas.

4.4 METODOLOGIAS EMPREGADAS

Para a determinação do índice de pH baseou-se na metodologia de Kiehl (1985), com a dissolução da amostra em água. Após pesar 10g de amostra fresca em frasco plástico limpo e adicionar 50 mL de água destilada, o mesmo foi levado para a mesa agitadora (Marca Marconi, modelo MA376/240) por 30 minutos a 180rpm, permanecendo em repouso por 30 minutos. Com auxílio de um peagâmetro de bancada (marca Tecnal, modelo Tec-3MP) previamente calibrado com solução padrão, realizou-se a leitura no sobrenadante.

A condutividade elétrica aferida baseou-se também na metodologia de Kiehl (1985), utilizou-se a mesma amostra preparada para o pH com dissolução em água e utilização de mesa agitadora e leitura no sobrenadante. Porém o equipamento empregado foi o condutivímetro de bancada (marca Femto, modelo mCA 150), previamente calibrado com soluções padrões.

Para a determinação do Nitrogênio utilizou-se a metodologia proposta por Malavolta et al. (1997). Pesou-se 0,2 gramas de amostra em tubo micro-Kjeldahl. Na capela, adicionou-se 3mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado e 0,7g da mistura digestora em cada tubo. Os tubos foram levados ao bloco digestor (marca Quimis, modelo Q327M) até atingir a temperatura de $350^\circ C$. Depois de atingida essa temperatura, os mesmos permaneceram por 1 hora no bloco digestor. Após a conclusão da digestão os tubos foram retirados no bloco digestor e adicionou-se aproximadamente 10 mL de água destilada por tubo.

Antes de iniciar a destilação, preparou-se previamente um erlenmeyer contendo 5mL de solução indicadora de ácido bórico (H_3BO_3) a 2%. No destilador de Kjeldahl (marca Tecnal, modelo TE-0363), com auxílio de uma proveta, adicionou-se 10 mL de hidróxido de sódio (NaOH) com uma concentração de 40% no compartimento específico. A amostra foi destilada até atingir aproximadamente 40mL. Para diminuir possíveis erros amostrais, realizaram-se dois brancos para cada bloco. Em seguida, titulou-se com H_2SO_4 a uma concentração de 0,0025 Molar a solução de 40mL coletada no erlenmeyer. Na determinação de NTK utilizou a equação (1).

$$\%NTK = ((V1 - V2) * 700 * (1/P))/10000 \quad (1)$$

Sendo, V1: volume gasto na titulação da amostra, V2: volume gasto na titulação do branco e P: peso da amostra.

Para a determinação do teor de Carbono orgânico total, os materiais foram secos a $105^\circ C$, colocados em cadinho previamente tarados, e levados à mufla, devidamente pesados e mantidos a uma temperatura de $580^\circ C$ durante um período de 2 horas. Após resfriamento em dessecadores, os materiais foram pesados em balança analítica (marca Tecnal, modelo M214A) com precisão de 0,0001g, obtendo-se por diferença o conteúdo de carbono orgânico total, conforme metodologia de Cunha-Queda et al. (2003). O cálculo utilizado para determinação de %COT foi a equação (2).

$$\%COT = ((P1 - P2 / P1 - T) * 100) / 1,8 \quad (2)$$

Sendo, P1: peso da amostra a $105^\circ C$ + tara do cadinho, P2: Peso da amostra a $580^\circ C$ + tara do cadinho, e, T: tara do cadinho.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MONITORAMENTO DIÁRIO DE TEMPERATURA

O T_1 tem o comportamento, da sua temperatura no decorrer da compostagem, apresentada pela linha vermelha no Gráfico 1.

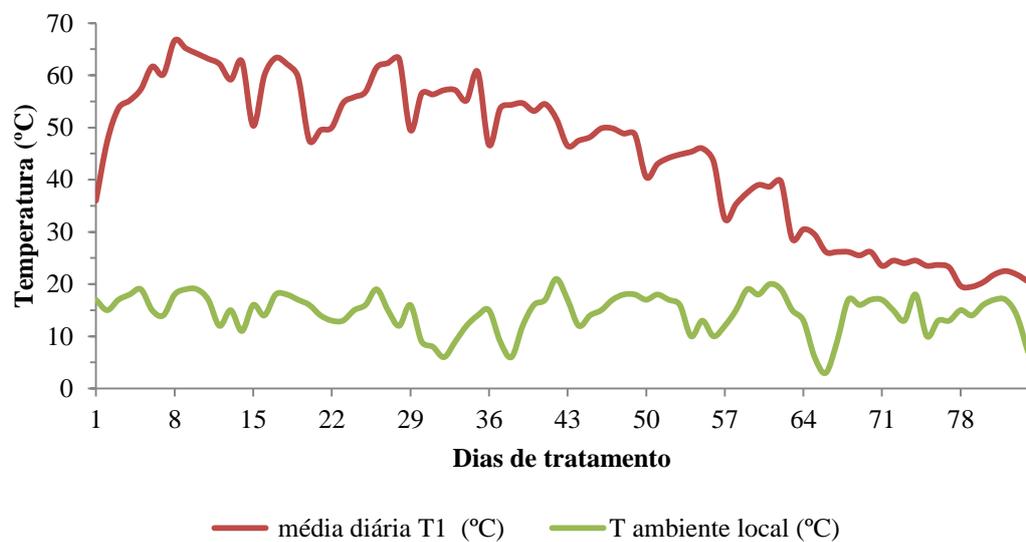


Gráfico 1 – Temperatura da média diária do T_1 , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.

Este tratamento iniciou rapidamente sua fase termofílica, dois dias após o enleiramento, ela durou 48 dias e a temperatura máxima registrada foi de 66,7°C, no oitavo dia de processo. Com o fim da degradação ativa, ocorreu o rebaixamento da temperatura. A fase mesofílica durou 34 dias até atingir médias próximas a 20°C. Isso ocorreu mais rapidamente nesse do que nos outros tratamentos, levou ao todo 84 dias. Demonstrando assim, que a Fonte de C utilizada no T_1 desenvolveu um perfil mais rápido de degradação.

O T_2 apresentou um desempenho de temperatura conforme ilustrada no Gráfico 2 abaixo. Ele iniciou sua fase termofílica já no primeiro dia após seu enleiramento, esta mesma fase permaneceu por 55 dias. Sua temperatura máxima registrada foi de 66,8°C no 13º dia de compostagem. A fase mesofílica durou 36 dias, portanto, o tratamento prolongou-se por 91 dias.

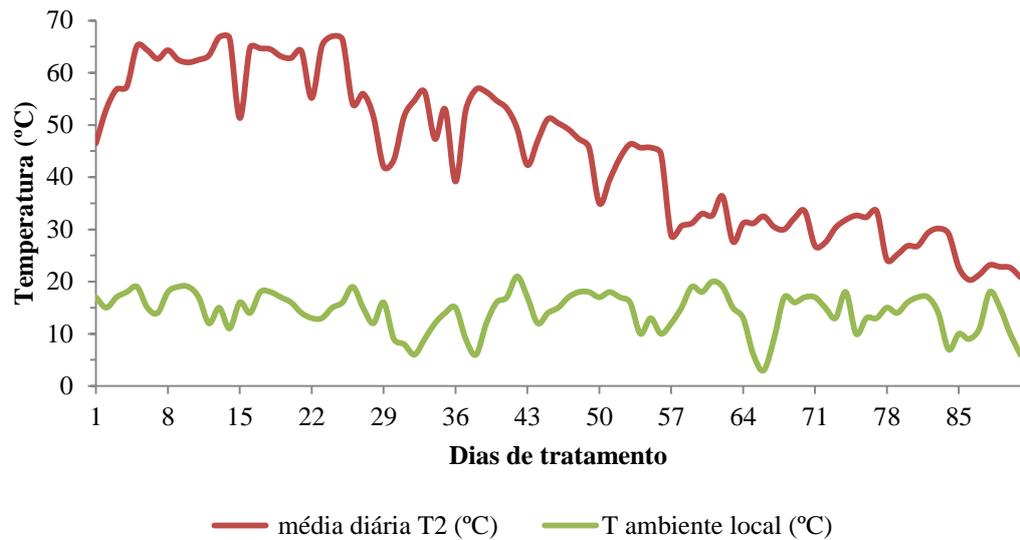


Gráfico 2 - Temperatura da média diária do T_2 , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.

O Gráfico 3 ilustra a temperatura acompanhada em T_3 . Compostagem que iniciou sua fase ativa de degradação no terceiro dia de processo e a manteve por 31. A maior temperatura registrada foi de $60,7^{\circ}\text{C}$ no 26° dia. Sua fase mesofílica durou 120 dias, tornando-se com isto o tratamento mais demorado, pois ao todo levou 153 dias para finalizar.

Esse moroso processo com médias relativamente baixas durante a fase termofílica, indica que de acordo com este parâmetro, a Fonte de C aqui utilizada não desenvolveu condições ótimas a biodegradação dos resíduos.

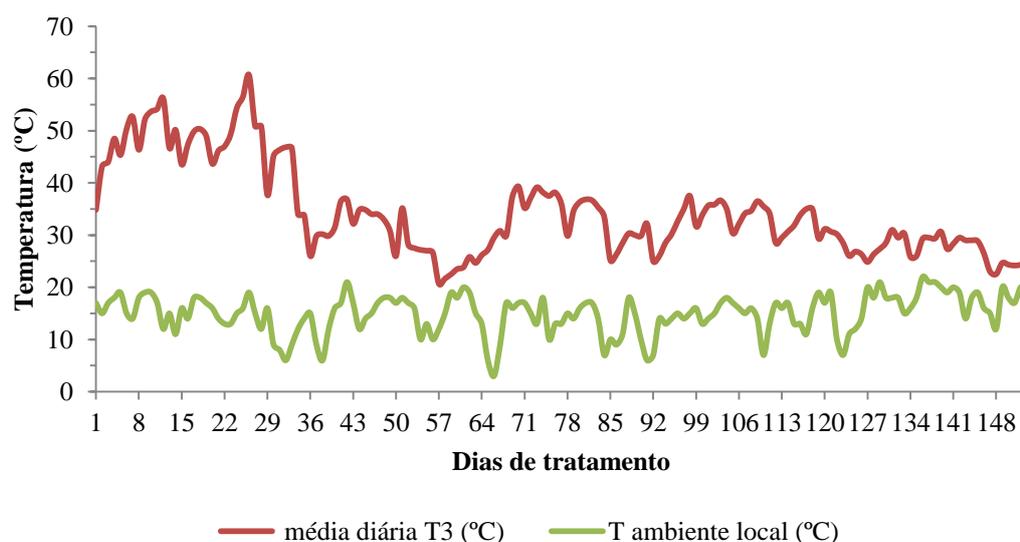


Gráfico 3 - Temperatura da média diária do T_3 , e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.

O T₄ teve sua temperatura apresentada conforme demonstrado no Gráfico 4. Foi o que mais demorou a iniciar a fase termofílica, apenas no nono dia após seu enleiramento. Sua fase de degradação ativa durou 41 dias, e, a máxima registrada foi de 60,3°C no 31º dia de processo. A etapa mesofílica perdurou pelo mesmo tempo que a termofílica, levando ao todo 91 dias de compostagem.

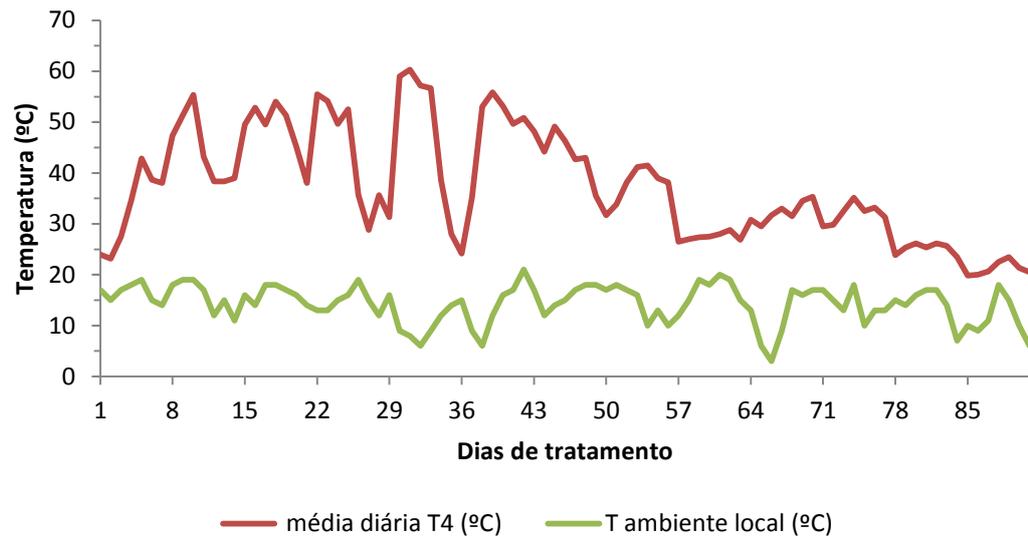


Gráfico 4 - Temperatura da média diária do T₄, e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.

No Gráfico 5 a seguir, é possível visualizar o comportamento da temperatura acompanhada em T₅ ao longo da compostagem. Este tratamento atingiu a fase de degradação ativa no segundo dia de compostagem. O pico máximo foi registrado no 11º dia de tratamento, o qual atingiu 68,8°C. A fase termofílica permaneceu por 54 dias e a mesofílica por 35, com isto, o processo levou 91 dias.

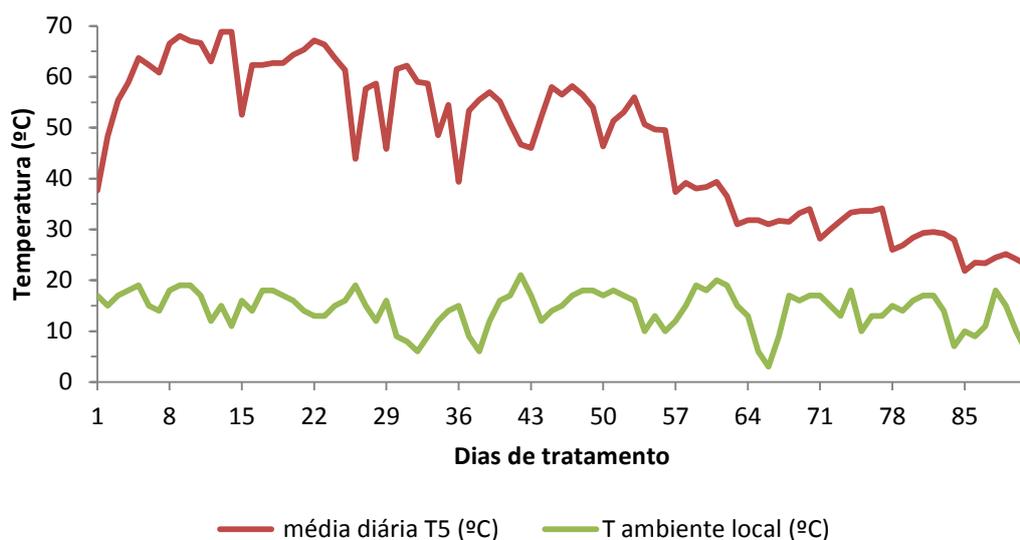


Gráfico 5 - Temperatura da média diária do T₅, e, T ambiente, aferidas ao longo do processo de compostagem.

De maneira geral, o que pôde se observar com relação à temperatura é que todos os tratamentos conseguiram atingir a fase termofílica do processo. Entretanto, o único que não apresentou condições satisfatórias no equilíbrio do seu ecossistema, no início da fase termofílica, foi o T₄. Pois, não iniciou esta fase de degradação ativa antes do quarto dia de enleiramento, como o indicado em literatura pelos autores Fiori, Schoenhals, Folador (2008).

Durante a fase termofílica nenhuma das leiras apresentou temperaturas acima de 70°C, o que garantiu condições para o estabelecimento dos microrganismos bioestabilizadores (BIDONE; POVINELLI, 1999).

Foi possível perceber certa similaridade nos T₂, T₄ e T₅. Ambos apresentaram 91 dias de compostagem. Porém, T₂ e T₅ conseguiram apresentar tendências de médias mais altas na fase termofílica de seus processos.

O T₃ por apresentar o maior tempo de compostagem, e, apresentar tendências de menores temperaturas ao longo de todo processo, quando comparado aos outros tratamentos, é o que se apresenta como o mais insatisfatório neste parâmetro.

5.2 PARÂMETROS ACOMPANHADOS E FERTILIZANTES ORGÂNICOS PRODUZIDOS

Os resultados da composição química do composto orgânico final nos diferentes tratamentos podem ser visualizados na Tabela 3. Constatou-se que o tratamento em que se utilizou serragem como principal fonte de carbono, T₃, apresenta geralmente os resultados menos interessantes do ponto de vista agrônômico.

Tabela 3 Concentrações médias de Carbono (COT), Nitrogênio (NTK) e relação C:N; aferições de pH e condutividade elétrica (CE); nos compostos orgânicos gerados ao final dos processos de compostagem.

TRATAMENTO	CARBONO	NITROGÊNIO	pH	CE	C:N
	%			mScm ⁻¹	
T ₁	36,2 a	3,3 a	9,3 b	6,2 a	11 c
T ₂	32,9 ab	2,2 b	9,4 a	2,9 c	15 b
T ₃	30,6 b	1,3 c	8,9 c	1,6 d	23 a
T ₄	32,8 ab	2,2 b	7,5 d	3,4 c	15 b
T ₅	33,8 ab	2,2 b	9,5 a	4,5 b	16 b

Legenda: T₁: algodão; T₂: Poda de árvores urbanas; T₃: serragem; T₄: bagaço de cana; T₅: capim Napier.

Letras minúsculas comparam médias entre os tratamentos em cada variável e se iguais não diferem entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Nesse sentido, o composto orgânico obtido em T₃ apresenta a menor concentração de N, macro nutriente consumido em quantidades significativas, principalmente por gramíneas e leguminosas. Os autores Monteiro et al. (2002) relacionam diretamente o declínio na taxa de crescimento, e, na qualidade destes vegetais, com a diminuição na disponibilidade do N. O alto custo da fertilização nitrogenada em cultivos agrícolas, também engrandece a relevância deste nutriente no composto orgânico (CORSI; MARTHA JR., 1997). Segundo Gerlach et al. (2013) é o nutriente mais limitante no desenvolvimento das plantas e o que mais onera custo de produção.

A maior relação C:N ao final do processo foi observada quando se utilizou a serragem como principal fonte de carbono, em T₃. Apontando este tratamento como o menos biodegradável. Entretanto, o valor obtido ainda encontra-se na faixa de estabilização segundo dados apresentados por Bernal, Albuquerque e Moral (2009), relação menor que 25:1.

A baixa disponibilidade de N no composto final em T₃ pode ser explicada, pelo fato de nesta leira conter mais C resistente à degradação do que lábil, quando comparado com os outros tratamentos. De acordo com Brito et al. (2005), a falta de C mais facilmente assimilável pelos microrganismos, faz com que ocorra um acúmulo do nutriente nas formas de íon amônio (N-NH₄⁺) e nitrato (N-NO₃), podendo ocasionar perdas do nutriente por lixiviação, desnitrificação ou volatilização quando em meio com pH básico.

Como a temperatura é a resposta à atividade dos microrganismos, as observações a seguir, podem ajudar a indicar que a quantidade de C lábil, o mais facilmente degradável, e, o disponível para servir como fonte de energia imediata, diminui mais rápido em T₃ do que no restante (KIEHL, 1985; PEREIRA NETO, 1996; VALENT et al., 2009). O Gráfico 6 elaborado com o objetivo de uma melhor visualização e consequente comparação do comportamento da temperatura, demonstra uma curva do T₃ com o primeiro pico em torno de 50°C, menor que T₁, T₂ e T₅; este tratamento exibe também um decréscimo mais rápido do que T₁, T₂, T₄ e T₅, pois atinge valores inferiores a 40°C depois de 42 dias de processo, enquanto que, os outros tratamentos apenas depois de aproximadamente 70 dias.

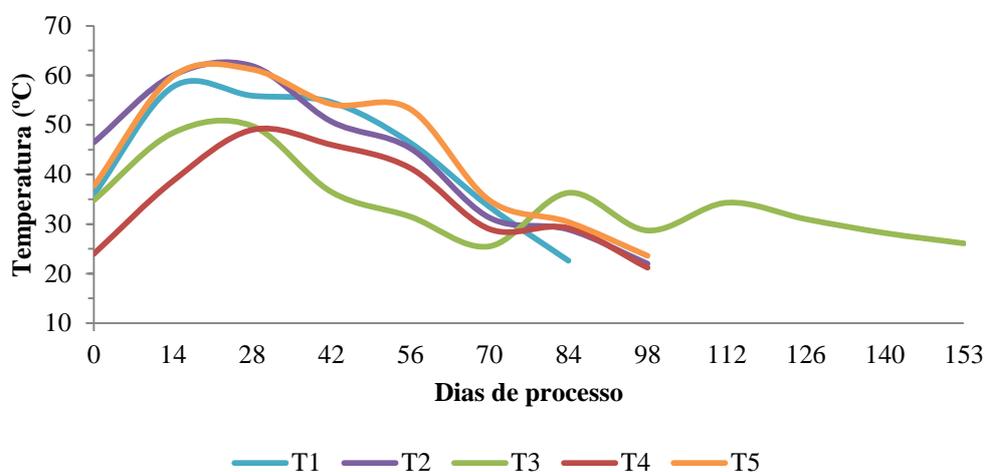


Gráfico 6 – Média das temperaturas dos tratamentos, a cada 14 dias.

Vale lembrar, que como a temperatura não é uma variável exclusivamente dependente da fonte de C, segundo Kiehl (1985), Bernardi (2011) e Valent et al. (2009), as discussões acima são apenas indicações, baseadas na padronização da relação C:N inicial, umidade e aeração.

Dentre os possíveis mecanismos de perda do N citados por Brito et al. (2005), a lixiviação é uma possibilidade pouco provável, pois, com a umidade monitorada durante os processos não se observou formações significativas de chorume (JARDIM, 1995; HIDALGO,

DA SILVA, 2012). A desnitrificação é um processo realizado por bactérias anaeróbias em meio anóxico, com ausência de O_2 , portanto, devido as constantes aerações a chance de perda de N por esta causa, também se torna baixa (TORTORA, FUNKE, CASE, 2012). Entretanto, a volatilização apresenta-se como a provável principal responsável pelas perdas de N, destacada em T₃, pois segundo a equação química (3) de Diest (1988), o meio alcalino favorece a volatilização do gás amônia, e como pode se acompanhar no Gráfico 7, o meio foi de predominância básica em todos os processos.

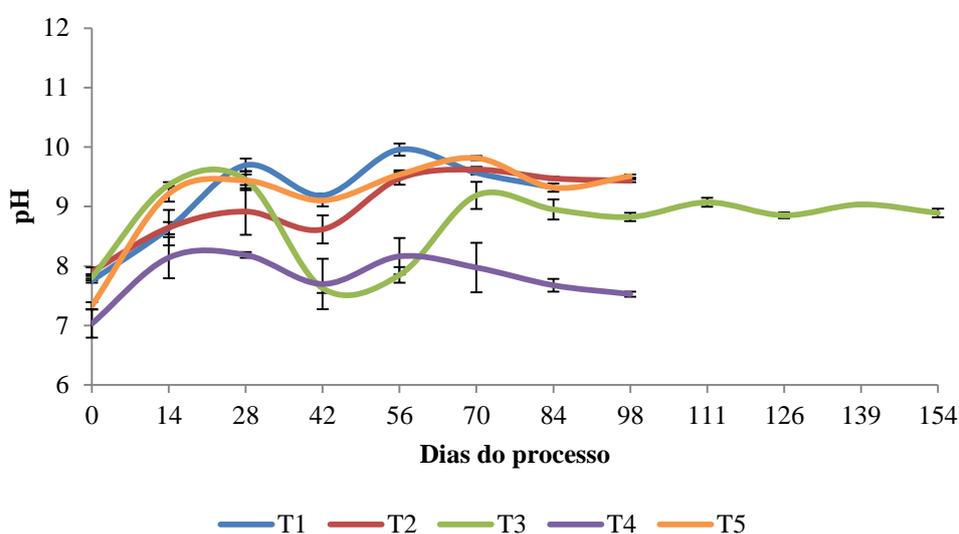
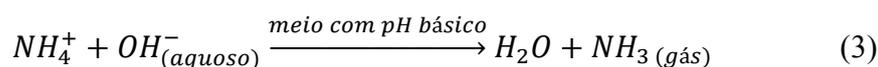


Gráfico 7 – Desenvolvimento do pH nos tratamentos ao longo da compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.

Quanto ao pH, observou-se em praticamente todas as situações um aumento do pH, característico do processo de compostagem. Apenas o T₄ tem um valor relativamente baixo quando comparado com os outros. Este parâmetro fornece informações sobre o estado de decomposição da matéria orgânica que foi submetida a um processo de fermentação. A matéria-prima crua apresenta pH ácido, quando neutra ou quase neutra, pode-se dizer que ela está estabilizada, e, quando básica humificada (KIEHL, 1985).

Quando relacionado o pH com o NTK, demonstrado no Gráfico 8, pode se observar entre os dias 28 e 42 um decréscimo de pH no T₃, acompanhado por um pico de elevação na concentração de NTK nos mesmos dias. Ainda, entre os dias 56 e 70 é possível se visualizar uma elevação de pH, o qual é respondido por uma leve diminuição de NTK.

Nos outros tratamentos também se pode observar tal comportamento, por exemplo, no T₁, percebe-se um aumento na porcentagem de NTK do dia 28 ao 42, período em

que se observa um abaixamento no pH; no T₂ do dia 14 ao 28 ocorre um aumento de pH e diminuição de NTK.

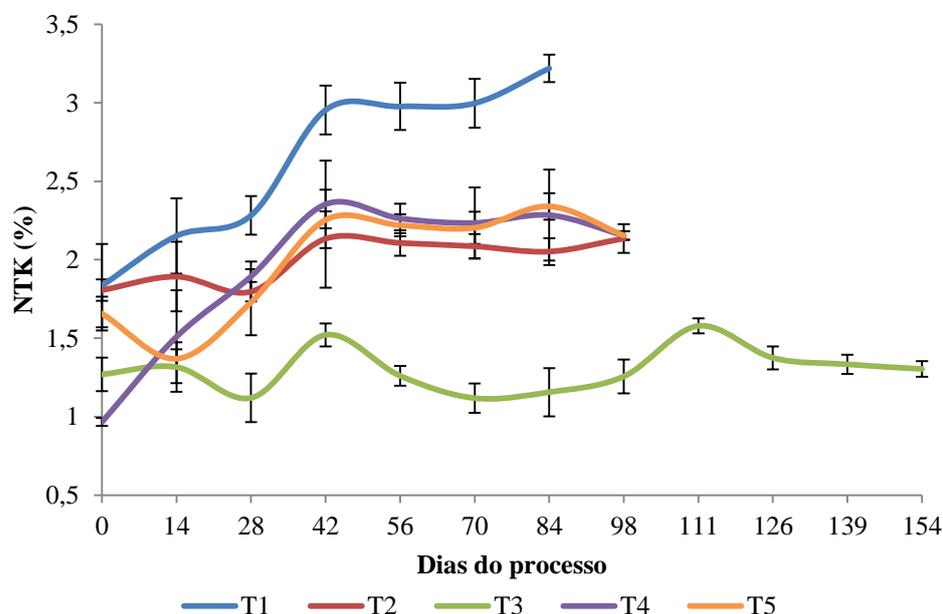


Gráfico 8 - Dinâmica do nitrogênio total (NTK) durante o processo de compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.

A dinâmica do NTK apontou de maneira geral um comportamento ascendente para a concentração do elemento em praticamente todos os tratamentos, observa-se visualmente no Gráfico 8 um maior aumento em T₁, T₄ e T₅. Apenas no T₃ houve uma aparente estabilização, pois o valor final é praticamente igual ao inicial, fato explicado pelas perdas por volatilização. Segundo Liang et al. (2006), o aumento na concentração de N na compostagem, está diretamente relacionado a dois fatores: a perda de massa, pelo consumo do C orgânico pelos microrganismos, e a menor perda de nitrogênio por volatilização, principalmente durante a fase termofílica do processo.

Ao se observar o Gráfico 9 abaixo se constata que os tratamentos destacados no parágrafo acima, apresentam um acentuado decréscimo na concentração de COT do início até o 42º dia de compostagem, quando, comparados com o restante dos dias de processo. Esta diminuição deve-se ao consumo acelerado das formas mais lábeis do carbono no início dos tratamentos. Durante a fase ativa do processo, o C-orgânico diminui no material devido à decomposição da matéria orgânica (MO). Esta quebra de MO reduz o peso da leira e diminui consequentemente a relação C:N, pois os microrganismos eliminam parte do COT como gás carbônico (SANTOS, 2000; COSTA et al., 2005; BERNAL, ALBURQUERQUE, MORAL, 2009).

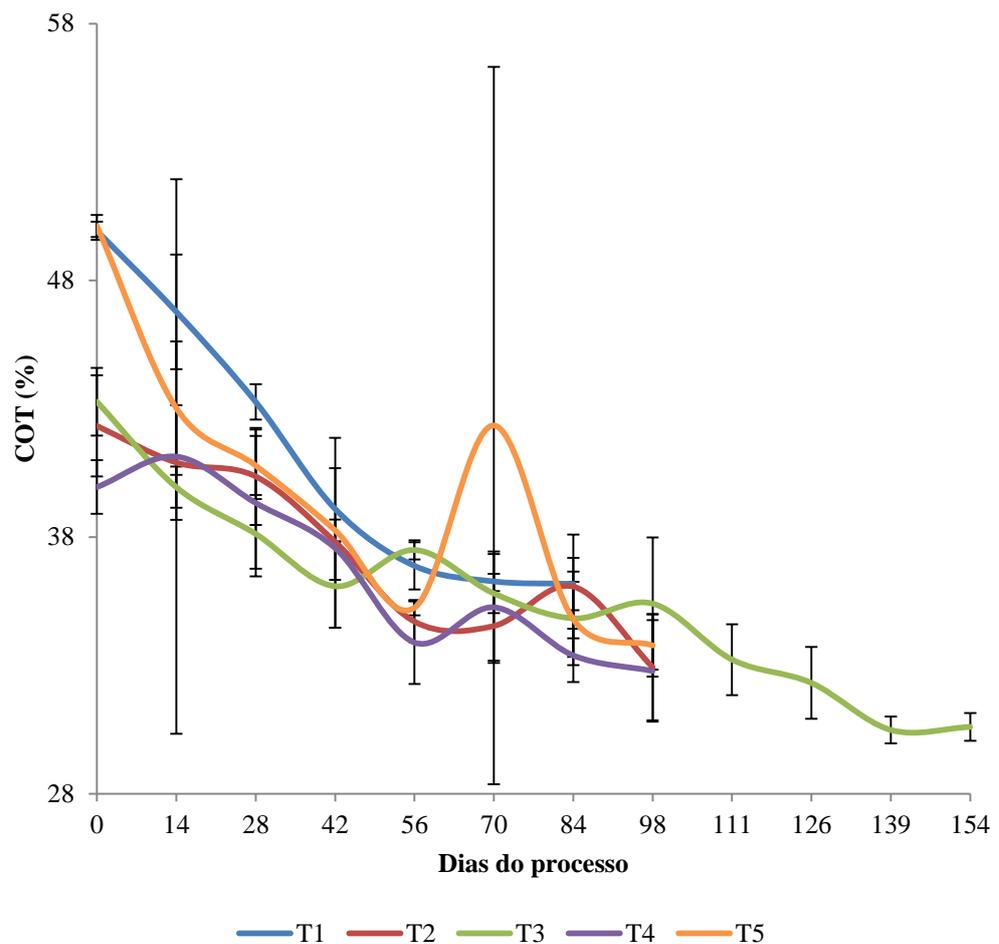


Gráfico 9 - Dinâmica do Carbono orgânico Total (COT) em função do tempo de compostagem, com seus respectivos Desvio Padrão.

O T₅ apresentou um aumento na concentração de COT a partir do dia 56, isto pode ser explicado por erro de análise ou amostral, pois não houve durante a compostagem inserção de material orgânico nas leiras.

Na Tabela 4 a seguir é possível visualizar a redução da Massa Seca (MS) no final do processo. Segundo Kiehl (1985), a redução de peso esperada ao final do processo de compostagem é de aproximadamente 50%. Gorgati (2001), avaliando o processo de compostagem em resíduos sólidos urbanos obteve, em média, uma redução de 47% no peso de MS após o processo, tanto em leiras cobertas como em descobertas. Já Costa et al. (2005), ao analisar a eficiência da aeração no primeiro estágio de compostagem de carcaça de aves atingiu reduções na ordem de 51 a 38% para as leiras aeradas e 30,5 a 48% para as não aeradas em MS.

Tabela 4 Quantidade de Massa Seca (MS) do material utilizado no início dos tratamentos e ao final do processo, e as % de reduções.

Tratamentos	MS		
	Início	Final	Redução
T1	278,6	96,3	65,4%
T2	223,6	111,6	50,1%
T3	243,3	96,4	60,4%
T4	281,8	112,8	60,0%
T5	203,0	81,1	60,1%

Portanto, o que se pode constatar na Tabela 4, é que as reduções de MS apresentaram tendências dentro do esperado de acordo com a literatura consultada. Sendo que, o T₁ apresentou intenção de maior redução quando comparado aos outros tratamentos.

Outro parâmetro que indiretamente fornece informação sobre o potencial nutriente do composto orgânico quando usado como fertilizante agrícola é a CE. Ela está diretamente relacionada ao acúmulo de nutrientes no composto ao longo da compostagem, portanto, é indicativo do potencial fertilizante (SOUZA et al., 2005). O Gráfico 10 apresenta o comportamento dos tratamentos quanto a CE ao longo da compostagem.

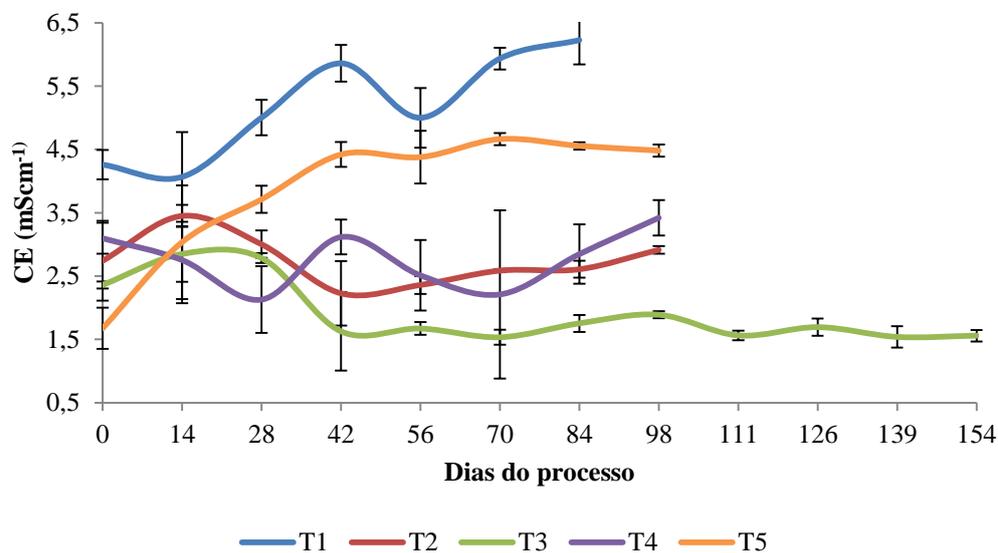


Gráfico 10 – Comportamento da CE nos tratamentos ao longo do processo de compostagem e seus respectivos Desvio Padrão.

Foi possível acompanhar um aumento na CE na maioria dos tratamentos, diferente do indicado por Kiehl (1998). Os T₁ e T₅ neste parâmetro apresentaram comportamentos semelhantes. Observou-se diminuição apenas no tratamento T₃, a volatilização de amônia e a precipitação de sais minerais pode ser a causa desta diminuição (PAREDES et al., 2002).

Quanto à legislação vigente, conforme os dados apresentados na Tabela 3 e a umidade mantida no processo, todos os tratamentos atenderam os limites exigidos nos seguintes aspectos: Carbono Orgânico (apresentaram quantidades superiores a 15%); pH (aferição superior a 6) e umidade (máximo de 50%). Porém, na relação C:N final, o T₃ ultrapassou o valor permitido, 20:1, diferentemente dos outros tratamentos, que se enquadraram dentro do admitido neste parâmetro.

Vale salientar que o parâmetro norteador do fim da compostagem foi a temperatura, porém, se tivesse utilizado a própria relação C:N como indicativo de fim do processo, o T₃, apesar de apresentar tendências mais demoradas, poderia atingir o valor estipulado pela norma.

6. CONCLUSÃO

De acordo com os parâmetros analisados ao longo da compostagem desses resíduos, pode se observar que na maioria deles o T₃ apresentou um comportamento menos interessante dentre os tratamentos estudados.

Pois, quando comparado aos outros tratamentos, o T₃ que utilizou a serragem como principal fonte de C, permaneceu por menos tempo na fase de degradação ativa, apresentou a menor porcentagem final de NTK, a menor presença de sais devido ao baixo valor de CE no fim do processo e o único que não se enquadrou na relação C:N exigida pela norma vigente, apesar de que se este último parâmetro fosse o determinante para o fim da compostagem neste trabalho, o T₃, poderia ter se enquadrado no estabelecido pela legislação e produzido um fertilizante orgânico comercializável.

Os T₁, T₂, T₄ e T₅ produziram fertilizantes orgânicos de qualidade com tendência a menor tempo de processo quando comparados com T₃, e ainda, produziram fertilizantes orgânicos de acordo com a norma vigente nos parâmetros pH, Nitrogênio, Carbono Orgânico e relação C:N. Portanto, a seguinte mistura dos resíduos agroindustriais: resíduos de incubatório, lodo de flotor, cama de matrizeiro, tripa celulósica e carvão remanescente da caldeira apresentaram-se adequadamente tratados por compostagem, quando, utilizados como principal fonte de C: resíduos da desfibrilação de algodão, ou poda urbana, ou bagaço de cana-de-açúcar ou capim Napier.

REFERÊNCIAS

AMORIM, Ana Carolina. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002 108f. Dissertação (Mestre em Produção Animal). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual de São Paulo, Jaboticabal, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.004**. Resíduos Sólidos – Classificação. Rio de Janeiro, RJ, 2004.

BARREIRA, Luciana Pranzetti; JUNIOR, Arlindo Philippi; RODRIGUES, Mario Sergio. Usinas de compostagem do estado de São Paulo: qualidade dos compostos e processos de produção. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária**. v. 11, n. 4, p. 385-393, out/dez. 2006.

BECHARA, Erika (Organizadora). **Aspectos Relevantes da Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Vários Autores 1ªEd. São Paulo, SP. Editora: Atlas, 2013

BELUSSO, Diane; SERRA, Elpídio. Caracterização Sócio-espacial da Agricultura no Oeste Paranaense: um estudo de caso em Palotina-PR. **Revista Agrária**, São Paulo, v. 73, n.4, p. 20-39, 2006.

BENITES, Vinicius de Melo **Produção de insumos agrícolas a partir de resíduos agroindustriais**. **Fertbio**. Solos Brasil, Bonito. 2006.

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

BERNARDI, Francieli Helena. **Uso do processo de compostagem no aproveitamento de resíduos de incubatório e outros de origem agroindustrial**. 2011. 78f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Centro De Ciências Exatas E Tecnológicas da Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná. Cascavel, 2011. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/tede//tde_arquivos/1/TDE-2012-01-30T133937Z-667/Publico/Francieli_Helena_Bernardi.pdf>.

BIDONE, Francisco Ricardo Andrade; POVINELLI, Jurandir. 1999. **Conceitos básicos de resíduos sólidos**. São Carlos, São Paulo: EESC – Universidade de São Paulo, USP.

BRASIL. Lei Nº12. 305 de 02 de agosto de 2010. Institui A Política Nacional De Resíduos Sólidos; Altera A Lei Nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; E dá outras providências. **Diário Oficial da União Republica Federativa do Brasil. Brasília**, DF, 02 de ago. 2010.

BRASIL. Instrução Normativa Nº 25, DE 23 DE JULHO DE 2009. Aprova as Normas sobre as especificações e as garantias, as tolerâncias, o registro, a embalagem e a rotulagem dos fertilizantes orgânicos simples, mistos, compostos (...). **Diário Oficial da União Republica Federativa do Brasil. Brasília**, DF, 28 de jul. 2009.

BRITO, Luis Miguel; AMARO, Ana Luisa; MOURÃO, Isabel; COUTINHO, João. Transformação da matéria orgânica e do nitrogênio durante a compostagem da fração sólida do chorume bovino. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**. v. 32, n. 5, p. 1959-1968, Viçosa, set./out. 2008.

BRUNI, Vinicio Costa. **Avaliação do processo operacional de compostagem aerada de lodo de esgoto e poda vegetal em reatores fechados**. 114f. Dissertação (Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental) Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

BUDZIAK, Cristiane R.; MAIA, Claudia M. B.; MANGRICH, Antonio S. Transformações Químicas da Matéria Orgânica Durante a Compostagem de Resíduos da Indústria Madeireira. **Química Nova**, vol. 27, n. 3, p. 399-403, Curitiba, Pr., fev 2004.

CALAZANS, Giovanna Moura; MARRIEL, Ivanildo Evódio; RESENDE, Álvaro Vilela; BATISTA, Raquel Oliveira; HICKMANN, Clerio; CRUZ, José Carlos. Dinâmica da atividade das fosfatases ácida e alcalina em sistema de compostagem de resíduos agrícolas associados a rochas. IN: RESUMOS DO VII CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROECOLOGIA. Fortaleza. **Cadernos de Agroecologia** v. 06, n. 02, dez 2011.

CASALI, Dionísio Júnior. **Tratamento do efluente de uma recicladora de plásticos utilizando coagulante não metálico e compostagem**. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos - Área de Concentração: Processos Agroindustrias, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria 2011.

CARNEIRO, Leocir José. **Compostagem de resíduos agroindustriais: revolvimento, inoculação e condições ambientais**. 2012. 64f Dissertação. (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2012.

CESTONARO, Taiana; ABREU, Paulo G. de; ABREU, Valeria M. N.; COLDEBELLA, Arlei; TOMAZELLI, Inaiara L.; HASSEMER, Marla J. Desempenho de diferentes substratos

na decomposição de carcaça de frango de corte. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v. 14, n. 30, p. 1318–1322, set. 2010.

COSTA, Mônica Sarolli Silva De Mendonça. **Caracterização dos dejetos de novilhos superprecoces: reciclagem energética e de nutrientes**. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia: Energia na Agricultura). Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp, Botucatu, 2005.

COSTA, Mônica Sarolli de M.; COSTA, Luiz Antonio de M.; OLIBONE Dáci; RÖDER, Cinthia; BURIN, Alcione; Anderson V., KAUFMANN; Mara L., ORTOLAN. Efeito da Aeração no Primeiro Estágio da Compostagem de Carcaça de Aves. **Eng. Agrícola**. Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 549-556, ago. 2005.

CUNHA QUEDA, Ana Cristina Ferreira. Dinâmica do azoto durante a compostagem de materiais biológicos putrescíveis. 1999, 280f. Tese (Doutorado em engenharia agroindustrial). Instituto Superior de Agronomia, Universidade Técnica de Lisboa. 1999.

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.

DESSBESELL, Alexandre; AITA, Celso; DONEDA, Alexandre; CANTÚ, Rafael Ricardo; PUJOL, Stefen Barbosa; GIACOMINI, Diego Antonio; GONZATTO Rogério; LANZA Régis; GARCIA, Gerson Guarez. Emissão de N₂O durante a compostagem automatizada de dejetos líquidos de suínos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 3. 2013, São Pedro, SP. **Anais...** p. 12-15.

D'ALMEIDA, Maria Luiza Otero; VILHENA, André (organizador). **Lixo Municipal: Manual do Gerenciamento Integrado**. 2ed. São Paulo: IPT/CEMPRE, 2000, 170 p.

FERNANDES, Fernando.; PIERRO, Antonio Carlos; YAMAMOTO, Rodolfo Yassuhiro. Produção de fertilizante orgânico por compostagem do lodo gerado por estações de tratamento de esgotos, **Pesq. Agropec. Brasileira**, Brasília, v 28, n°5, p 567 – 574, maio 1993.

HAUG, Roger Tim. **The practical Handbook of Composting Engineering**. United States of America: Lewis Publishers, 1993.

INSTITUTO AMBIENTAL DO PARANÁ – IAPAR **Agrometeorologia**. Classificação Climática. 2011.

INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos: diagnóstico dos resíduos urbanos, agrosilvopastoris e a questão dos catadores**. Comunicado nº 145. 2012

KIEHL, Edmar José **Fertilizantes Orgânicos**. Editora Agronômica Ceres. Degaspari. Piracicaba, 1985.

KIEHL, Edmar José **Manual de Compostagem: Maturação e Qualidade do Composto**. Gráfica e Editora Degaspari. Piracicaba, 1998.

KIEHL, Edmar José; **Fertilizantes Orgânicos**. Editora Agronômica “CERES” LTDA. 248 p. São Paulo, SP, 2010.

LAUFENBERGA, Günther; KUNZA, Benno; NYSTROEM, Marianne. Transformation of vegetable waste into added products: (A) the upgrading concept; (B) practical implementations. **Bioresource Technology**, v. 87, n. 2 p.167-198. 2003.

MAGALHÃES, Marcos A. de; MATOS, Antonio T. de; DENÍCULI, Wilson; TINOCO, Ilda 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, n.2, p.466–471, Campina Grande, PB, 2006.

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

MÜLLER, Geraldo. **Complexo agroindustrial e modernização agrária**. São Paulo: Hucitec, p.149, 1989.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge. Compostagem dos Resíduos da Produção Avícola: Cama de Frangos e Carcaças de Aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola**. v. 30, n. 3, p. 538-545, jun. 2010

PEDROSA Talita Dantas; FARIAS Camilo Allyson Simões de; PEREIRA Rafaela Alves; FARIAS; Emanuel Tarcísio do Rêgo. Monitoramento dos parâmetros físico-químicos na compostagem de resíduos agroindustriais. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Sinop, v. 1, n. 1, p. 44-48, dez. 2013.

PEREIRA NETO, João Tinoco **Manual de compostagem: processo de baixo custo.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa. 2007

PEIXOTO, Ricardo Trippia dos Guimaraes. **Compostagem: opção para o manejo orgânico do solo.** Londrina, IAPAR Fundação Instituto Agrônômico do Paraná, 1988.

PRIMO, Dário C.; FADIGAS, Francisco de S.; CARVALHO, José C. R.; SCHMIDT, Carlos D. S.; BORGES FILHO, Antonio C. S.. Avaliação da qualidade nutricional de composto orgânico produzido com resíduos de fumo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola.** v. 14, n. 07, p. 742–746, set. 2010.

RAZERA, Ilce Aiko Tanakara. **Fibras lignocelulósicas como agente de reforço de compósitos de matriz fenólica e lignofenólica.** 167f. (Doutorado / Ciências, Físico-química) Instituto de Química de São Carlos, da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.

ROSA, Morsyleide de Freitas; SOUSA FILHO, Geraldo Fernandes de; FIGUEIREDO, Maria Cléa Brito de; MORAIS, João Paulo de Saraiva; SANTAELLA Sandra Tédde; LEITÃO, Renato Carrhá. Valorização de Resíduos da Agroindústria. In: II Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais – II SIGERA, 1., 2011, Foz do Iguaçu, Pr. **Anais Eletrônicos...** Brasil, p. 88-105. Disponível em: <<http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/p12.pdf>>.

ROWELL, Roger M.; SANADI, Anand R.; CAULFIELD, Daneil F., JACOBSON, Roney E.. Utilization of Natural Fibers in Plastic Composites: Problems and Opportunities. **Lignocellulosic-Plastics Composites.** p. 23-51. 1997. Disponível em:< http://pas.ce.wsu.edu/CE5371/Homework%20and%20Projects/NaturalFiber_utilization_PlasticComp-Rowell.pdf>.

SANTOS, Joseany De Andrade. **Compostagem do lodo de curtume e seu uso agrícola: efeito sobre indicadores biológicos de qualidade do solo.** 77f. Dissertação (Mestre em Agronomia – Produção Vegetal) Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Piauí. Teresina, 2010.

SBIZZARO, Mariana. **Vermicompostagem a partir de dejetos de ovinos e bovinos com palha de cana-de-açúcar.** 2013 134f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação). Curso Superior de Engenharia Ambiental. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2013.

SCHOENHALS, Marlise; FIORI, Marciane Gorete Silvestro; FOLLADOR, Franciele Aní Caovilla. Análise da evolução tempo-eficiência de duas composições de resíduos agroindustriais no processo de compostagem aeróbia. **Engenharia Ambiental,** Espírito Santo do Pinhal, v. 5, n. 3, p.178-191, set/dez 2008.

SHARMA, Vinod Kumar. Processing of urban and agro-industrial residues by aerobic composting: **Review. Energy Conservation Manag**, v. 38, nº3, p. 453-478, dez 1997.

SILVA, Lucimar Novaes Da. **Processo de compostagem com diferentes porcentagens de resíduos sólidos agroindustriais**. 2007. 57f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, 2007.

SOUZA, André Luis. **Internacionalização das agroindústrias e o fim da cooperação: estudo de caso da cooperativa agroindustrial Lar**. 58f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciências Sociais) Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo, 2012.

TAVARES, M.H.F.; CARDOSO, D.L.; GENTELINI, D.P.; GABRIEL FILHO, A.; KONOPATSKI, E.A. Uso do forno de micro-ondas na determinação da umidade em diferentes tipos de solo. **Revista Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 29, n. 3, p. 529-538, 2008.

TONETO, Rudinei. Júnior; SAIANI, Carlos César. Santejo; DOURADO, Juscelino; **Resíduos Sólidos no Brasil: oportunidades e desafios da Lei Federal nº 12.305 (LEI DE RESÍDUOS SÓLIDOS)**. 1ªEd.Barueri, SP. Editora Manole, 2014.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E.G.; MORSELLI, T.B.G.A.; JAHNKE, D.S.; BRUM JR, B. de. Fatores que afetam o desenvolvimento da compostagem de resíduos orgânicos. **Revista Brasileira de Zootecnia**. n.9, v. 58, p. 59-85. 2009.

VERAS, Luciana R. Valadares; POVINELLI, Jurandyr. A Vermicompostagem do Lodo de Lagoas de Tratamento de Efluentes Industriais Consorciada com Composto de Lixo Urbano. **Revista Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental**. vol. 9, nº 3, p. 218-224, set, 2004. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/esa/v9n3/v9n3a08>>.