



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**Efeitos da aeração e da estação do ano na compostagem dos resíduos orgânicos de abatedouro**

Ranielle Nogueira da Silva Vilela

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Dourados - MS

Novembro - 2019



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**  
**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**Efeitos da aeração e da estação do ano na compostagem dos resíduos orgânicos de abatedouro**

Ranielle Nogueira da Silva Vilela

Zootecnista

Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr<sup>ª</sup> Ana Carolina Amorim Orrico

Co-orientador: Prof. Dr. Marco Antonio Previdelli Orrico Junior

Co-orientadora: Dr<sup>ª</sup> Michely Thomazi

Dissertação apresentada à Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD como parte das exigências para obtenção do título de Mestre do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia

Dourados - MS

Novembro – 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

V699c Vilela, Ranielle Nogueira Da Silva  
Efeitos da aeração e da estação do ano na compostagem dos resíduos orgânicos de abatedouro  
[recurso eletrônico] / Ranielle Nogueira Da Silva Vilela. -- 2019.  
Arquivo em formato pdf.

Orientadora: Ana Carolina Amorim Orrico.  
Coorientadores: Marco Antonio Previdelli Orrico Junior, Michely Tomazi.  
Dissertação (Mestrado em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.  
Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:  
<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. leiras estáticas. 2. reciclagem biológica. 3. redução de massa. I. Orrico, Ana Carolina Amorim. II. Orrico Junior, Marco Antonio Previdelli . III. Tomazi, Michely. IV. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

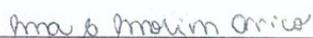
**EFEITOS DA AERAÇÃO E DA ESTAÇÃO DO ANO NA COMPOSTAGEM DOS  
RESÍDUOS ORGÂNICOS DE ABATEDOURO**

por

**RANIELLE NOGUEIRA DA SILVA VILELA**

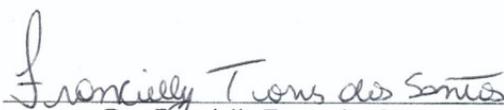
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovado em: 10/09/2019



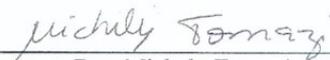
---

Dra. Ana Carolina Amorim Orrico  
Orientadora – UFGD



---

Dra. Francielly Torres dos Santos  
UFPR



---

Dra. Michely Tomazi  
EMBRAPA

## BIBLIOGRAFIA DO AUTOR

**Ranielle Nogueira da Silva Vilela**, filha de Theobaldo Machado Vilela e Laurelene Nogueira da Silva Vilela, nasceu em Dourados no Mato Grosso do Sul no ano de 1989. Concluiu o ensino médio em 2006 na cidade de Florianópolis em Santa Catarina, em 2008 ingressou na Universidade Federal de Santa Catarina no curso de graduação em Farmácia, em 2012 ingressou no curso de Zootecnia e em 2014 transferiu o curso para a Universidade Federal da Grande Dourados, concluindo em 2016. Em fevereiro de 2017 ingressou no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados na área de concentração em Produção Animal.

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho primeiramente à Deus como forma de agradecimento pelo seu amor incondicional. Aos meus pais e irmã que mesmo estando longe nunca deixaram de acreditar em meu potencial de finalizar este trabalho. Aos meus avós que sempre estiveram presentes e confiantes. Ao noivo pelo carinho, amor e paciência. A minha professora e orientadora pelo seu apoio e confiança.

Meu pastor é Javé, nada me falta.

Em verdes prados me faz descansar, a águas tranquilas me conduz.

Restaura minhas forças;

pelo justo caminho me guia por amor de seu nome.

Se eu tiver de andar por um vale escuro, não temerei mal nenhum, pois comigo estais.

Vosso bastão e vosso cajado me dão segurança.

Diante de mim preparais uma mesa aos olhos de meus inimigos;

ungis com óleo minha cabeça, meu cálice transborda.

Felicidade e graça vão me acompanhar todos os dias de minha vida.

E na casa de Javé habitarei por muitíssimos anos.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Theobaldo e Laurelene, pelo amor, incentivo e esforço que sempre fizeram por mim.

Aos meus avós maternos, Anaor e Elidia, pelo apoio e amor incondicional.

Aos meus avós paternos, Joaquim e Edmee *in memoriam*.

À minha irmã, Pâmela, que sempre esteve ao meu lado.

Ao Rafael, pelo exemplo de lealdade e cumplicidade. Obrigada por sempre estar presente nas horas que eu mais precisei, eu te amo.

Aos grandes amigos, Paulo Barreto, Juliana Cristina, Rafael Minozzo, Janaine Gordin Ribeiro, Daniela Akemi Oshiro Deller, Rodrigo Deller, Ana Claudia Piccinelli, Natielli Oshiro, Bárbara Wagner, Camila Melnik, Marina Pereira, Franciane Ribeiro Póvoa, Taiane Nogueira da Silva Ranzi, Nicolle Daniani, Bruna Moret, Fernanda Gemelli, Kamila Teixeira Postae, Patrícia Pereira, Augusto Dahmer, Maiara Rodrigues, Murilo Azevedo, Guilherme Paiva pelo companheirismo e apoio.

À minha amada orientadora, Dr<sup>a</sup> Ana Carolina Amorim Orrico, pela paciência, carinho e ensinamentos, obrigada por ser tão atenciosa, acreditar em mim mesmo quando eu não acreditava e me ajudar a evoluir sempre. Sem a sua amizade, apoio e dedicação nada disso seria possível, pois não teria conseguido sozinha, muito obrigada.

Ao meu co-orientador, Dr. Marco Antônio Previdelli Orrico Júnior, pelo apoio, ensinamentos, paciência e amizade.

À minha co-orientadora, Dr<sup>a</sup> Michely Tomazi, pelo apoio em realizar as análises e ensinamentos.

Aos professores, Dr. Raul Rusbel Borquis, Dr. Alexandre Rodrigo M. Fernandes, Dr. Fernando Miranda de Vargas Junior, Dr. Rodrigo Garófallo Garcia e Dr. Leonardo Oliveira Seno pelo exemplo de profissionais e constante disposição em ajudar, muito obrigada.

Aos meus companheiros de pesquisa, Alice Schwingel, Juliana Oliveira, Marcio Avila, Wellington Santos, Daniel Alves, Paulo Lopez, Amanda Ferreira, Isabelly Macena, Janaína Machado, Thiago Picciuto pelo auxílio indispensável na condução do experimento, e pela convivência e amizade, da maioria, sempre os lembrarei com muito carinho.

Aos meus queridos amigos que me ajudaram na montagem e execução das leiras, Rafael, Paulo, Juliana, Marcio, Wellington, Thiago, Paulo L., Daniel, Amanda, Janaína, Isabelly, Murilo, Guilherme, meus sinceros muito obrigada, pois sem a ajuda de vocês não teria conseguido realizar os experimentos, muito obrigada.

Aos técnicos laboratoriais da UFGD, Tiago e Adriana e aos da Unesp Ana Paula e Orlando pela ajuda na condução de análises e ensinamentos compartilhados.

Ao secretário do Programa de Pós-graduação em Zootecnia - UFGD, Ronaldo Pasquim de Araújo, sempre ajudando com muita calma e paciência, mas acima de tudo com muita eficiência, obrigada.

Ao responsável pela fazenda experimental, José Carlos, pelo fornecimento do feno triturado para a condução deste trabalho, obrigada pela gentileza e auxílio.

Às empresas fornecedoras do material essencial para a condução deste trabalho, em especial a Paolla, Pedro, Marcelo, Guaracy e Caio, obrigada pela gentileza, auxílio e simpatia, muito obrigada.

À Embrapa Agropecuária Oeste, pela oportunidade de estágio e realização de algumas análises, em especial a Michely Tomazi, Nathalia Galdino, Willian Silva, Aroldo Junior, Debora Oliveira, Klerisson Duro, Luiz Carniel e Mario Kozima, obrigada pela gentileza, auxílio e simpatia.

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados - UFGD pela oportunidade.

Ao Programa Nacional de Cooperação Acadêmica (Procad) pelo auxílio concedido para realizar análise e disciplina na UNESP em Jaboticabal.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante parte do curso de mestrado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

Meus sinceros,  
Muito Obrigada!

## SUMÁRIO

Página

<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>iv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS.....</b>	<b>x</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>xi</b>
<b>CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....</b>	<b>1</b>
OBJETIVO GERAL.....	2
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>3</b>
REVISÃO DE LITERATURA.....	4
Referências Bibliográficas.....	8
<b>CAPÍTULO 2.....</b>	<b>14</b>
<b>Efeitos da aeração e da estação do ano na compostagem dos resíduos orgânicos de abatedouro</b>	
Resumo.....	15
Abstract.....	16
Introdução.....	17
Material e Métodos.....	18
Resultados e Discussão.....	22
Conclusão.....	32
Referências Bibliográficas.....	32
Implicações.....	36

## LISTA DE TABELAS

Página

<b>Tabela 1.</b> Caracterização da constituição inicial aos materiais volumosos utilizados para confecção das leiras nas estações de inverno e verão.....	19
<b>Tabela 2.</b> Teores de macronutrientes e micronutrientes na constituição inicial do material volumoso e do resíduo orgânico durante as estações do inverno e verão.....	21
<b>Tabela 3.</b> Temperaturas termofílicas do resíduo de abatedouro durante o inverno e verão, com e sem a presença de aeração.....	23
<b>Tabela 4.</b> Reduções dos constituintes sólidos do resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração, durante os dias de compostagem (75 e 90).....	26
<b>Tabela 5.</b> Teores finais do composto gerado pelo resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração.....	28
<b>Tabela 6.</b> Teores de macronutrientes e micronutrientes no composto de resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração.....	29
<b>Tabela 7.</b> A qualidade do composto gerado pelo resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração, durante os dias de compostagem (50 e 75).....	30

**LISTA DE FIGURAS**

Página

<b>Figura 1.</b> Perspectivas das composteiras que foram construídas para a execução do experimento (vista superior e lateral, com médias, em metros (A) e vista superior (B)).....	18
<b>Figura 2.</b> Temperaturas médias do resíduo de abatedouro durante o processo de compostagem no Inverno e Verão (Sem aeração(S/A), Com aeração (C/A) e Temperatura ambiente (TA)).....	23
<b>Figura 3.</b> Espectro obtido do material orgânico no início do processo de compostagem.....	31
<b>Figura 4.</b> Espectro obtido do material orgânico ao final do processo de compostagem.....	31

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

- ARCO – Associação Brasileira de Criadores de Ovinos
- AF – Aeração Forçada
- AF – Ácido Fúlvico
- AH – Ácido Húmico
- AH:AF – Relação de Ácido Húmico:Ácido Fúlvico
- Col T – Coliformes Totais
- Col TT – Coliformes Termotolerantes
- EE – Extrato Etéreo
- FDN – Fibra em Detergente Neutro
- FDA – Fibra em Detergente Ácido
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- MAPA – Ministério da Agricultura e Pecuária e Abastecimento
- MMA – Ministério do Meio Ambiente
- PVC – Policloreto de Vinila
- RM – Revolvimento Mecânico
- SHs – Substâncias Húmicas
- ST – Sólidos Totais
- SV – Sólidos Voláteis
- VN – Ventilação Natural

## CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Os resíduos gerados pelas operações de abate e de limpeza das carcaças e vísceras, como por exemplo: sangue, partes dos animais não comestíveis, ossos, aparas de gordura e carne da desossa, além de resíduos do processamento ou industrialização da carne, são encaminhados para graxarias sendo responsáveis pela produção de farinhas, nas quais são ricas em proteínas, gorduras e minerais. A farinha de carne e ossos é utilizada como ingrediente para fabricação de rações de aves, suínos e pets, do mesmo modo, a farinha de sangue é utilizada principalmente em rações de peixes e pets (Pacheco e Yamanaka, 2006). No entanto, nem sempre este uso como farinha é possível, pois existem animais doentes, que uma vez descartados, não podem ser utilizados, assim como locais onde esse processamento de farinhas não é possível, demandando então a necessidade de que resíduos sejam corretamente direcionados.

A Associação Brasileira de Reciclagem relatou que são gerados anualmente 12 milhões de toneladas de resíduos oriundos do abate animal, sendo a compostagem deste material considerada prática e eficaz (VCResíduos, 2018). Mas, nem todo resíduo a ser compostado permite a manipulação periódica, seja pela contaminação ao homem, proliferação de patógenos ou liberação de gases tóxicos. Por esses motivos as leiras de compostagem podem ser conduzidas estaticamente, sendo as pilhas formadas no início do processo e mantidas pelo máximo de tempo possível sem revolvimentos.

Quando a compostagem é realizada em grande escala, ocorre a possibilidade de adensamento do material orgânico e o aporte de oxigênio oferecido deve alcançar todo o sistema, seja por revolvimento, aeração passiva ou injeção de ar forçada. Essas medidas são necessárias para prevenir regiões anaeróbias no interior das leiras, o que resultaria em vários problemas, como a proliferação de moscas, emissão de maus odores, lixiviação e composto de baixa qualidade (Higarashi et al., 2012).

O fornecimento de aeração para o desenvolvimento da compostagem em níveis adequados é reconhecido por diversos pesquisadores como parte importante da otimização do processo. A taxa de aeração é um dos parâmetros mais influentes em termos de qualidade e emissões gasosas do processo (Gao et al., 2009; Diaz et al., 2002) e, também, influencia diretamente o suprimento de oxigênio microbiano e a evaporação da água (Blazy et al., 2014). A taxa intermediária de aeração otimiza a estabilização, sanitização, secagem e conservação do nitrogênio (Gao et al., 2009; Diaz et al., 2002; Guo et al., 2012; De-Guardia et al., 2010; De-Guardia et al., 2012; Arslan et al., 2011; Ahn et al., 2007; Bueno et al., 2008).

A influência das estações do ano sobre a compostagem ainda é motivo de discordância entre os pesquisadores, já que alguns consideram que principalmente em leiras com aeração forçada a perda de umidade ocorrerá rapidamente (Tiquia. 2010), sobretudo nos meses de menores precipitações,

podendo comprometer a velocidade de degradação dos constituintes orgânicos. Outros consideram que o aquecimento da massa pode sofrer influência da temperatura do meio (Larney et al., 2000), sendo favorecida nos meses mais quentes, e por fim, alguns mencionam que a temperatura do meio não exerce influencia significativa no desenvolvimento da compostagem (Ciavatta et al., 1993; Tiquia et al., 2000).

Desta forma, esta dissertação é composta por dois capítulos, onde o primeiro é formado pela revisão de literatura, obedecendo às normas para elaboração de dissertação do Programa de Pós-Graduação em Produção Animal da Universidade Federal da Grande Dourados e o segundo capítulo é formado pelo artigo científico escrito conforme às normas da revista *Journal of Cleaner Production*.

### **OBJETIVO GERAL**

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de avaliar o efeito de aeração e das estações do ano no processo de compostagem conduzida em leiras estáticas utilizando resíduo de abatedouro de ruminantes em associação com feno e casca de arroz.

## **CAPÍTULO 1**

## REVISÃO DE LITERATURA

De acordo com os dados publicados pelo IBGE (2019), no primeiro trimestre de 2019, foram abatidas 7,89 milhões de cabeças de bovinos sob algum tipo de serviço de inspeção sanitária, sendo, 1,6 % superior ao primeiro trimestre de 2018, o que resultou em 1,94 milhões de toneladas de carcaça. Segundo a Associação Brasileira de Criadores de Ovinos são abatidos e desossados 48 mil animais por ano através da empresa Carneiro Sul (ARCO, 2019).

Existem empresas que recebem os resíduos gerados durante o abate e limpeza das carcaças se responsabilizando pela reciclagem, transformando-os em farinhas de carne e ossos, de vísceras e de sangue (VCResíduos, 2018). Mas também, podem ser destinados à compostagem, já que é uma técnica simples e facilmente executada, com pequeno investimento em instalações e mão de obra para manejar as leiras.

A compostagem é um processo aeróbio de degradação biológica realizada sob condições controladas para transformar resíduos orgânicos, em produtos estáveis, com condições de retornarem ao solo como fertilizantes (Toledo et al., 2018). A compostagem inicia com a oxidação do material orgânico facilmente degradável, sendo caracterizado pela decomposição, e na sequência pela fase da estabilização, quando ocorre a presença da humidificação do material e mineralização das moléculas que são degradadas lentamente (Diaz et al., 2007).

A presença de dois ou mais resíduos orgânicos para a formação de leiras pode otimizar a biodegradação realizada pela comunidade microbiana, já que proporcionará maior diversidade das populações em condições aeróbias. O processo exotérmico produz energia na forma de calor, resultando em aumento na temperatura da massa sendo caracterizado pelas fases mesofílica (30 – 40°C) e termofílica (acima de 40°C).

O início da decomposição dos resíduos orgânicos, na fase mesofílica, acontece devido à bactérias e microrganismos, promovendo a liberação de calor (Valente et al., 2009; Cotta et al., 2015). Esses microrganismos são produtores de ácidos que degradam as proteínas, amidos e açúcares (Turner, 2002), devido ao seu metabolismo ser exotérmico, parte do calor gerado durante a oxidação da matéria orgânica fica acumulada no interior da leira (Rodrigues et al., 2006; Tang et al., 2002). Quando a temperatura atinge valores acima dos 40°C, a atividade microbiológica mesofílica é suprimida pela implantação da comunidade termofílica (Tiquia, 2005). Com o aumento da temperatura ocorre a morte dos microrganismos mesófilos, havendo a multiplicação de actinomicetos, bactérias e fungos termófilos.

Na fase termofílica a decomposição dos compostos orgânicos é intensificada, sendo considerada a fase da degradação ativa de polissacarídeos (Pereira Neto, 2007). Os lipídios e a hemicelulose são degradados pelas bactérias, enquanto que actinomicetos e fungos são responsáveis

pela decomposição da celulose e lignina (Kiel, 1985; Valente et al., 2009). Conforme o carbono é consumido, a temperatura diminui gradualmente, até se igualar à temperatura ambiente. Nessa fase surgem novamente as comunidades mesófilas, que irão atuar na humificação do composto por meio da degradação de compostos mais resistentes, como a celulose e lignina (Tuomela et al., 2000; Cotta et al., 2015).

Comumente a compostagem é empregada para os dejetos de animais e muitos trabalhos científicos já foram conduzidos a partir destes resíduos (Millner et al., 2014; Gu et al., 2017; Janczak et al., 2017). Já os resíduos originados com o processamento de animais, restos de abate, possuem em sua composição constituintes como gorduras, carnes, ossos e sangue, que, se direcionados corretamente em sistemas de compostagem poderão resultar em produtos (compostos) de excelente qualidade. Estes resíduos possuem condições desejáveis para a proliferação acelerada de microrganismos patogênicos, além da formação de elevadas quantidades de gases tóxicos no início do processo de degradação, sendo assim inviabilizado o revolvimento das pilhas de compostagem contendo este material.

No ambiente em compostagem muitos fatores influenciam a velocidade e a intensidade da degradação do material orgânico, como citados por Diaz et al. (2002), sendo eles: temperatura, teor de umidade, pH, aeração, relação C:N, tamanho de partícula e conteúdo de nutrientes. A disponibilidade de oxigênio nas pilhas de compostagem, segundo Bertoldi et al. (1983), garante seu uso para a respiração dos microrganismos e para oxidação de substâncias orgânicas, permitindo que o processo de degradação ocorra de forma acelerada, desde que mantidas as demais condições necessárias para manutenção dos microrganismos aeróbios envolvidos. Dentre todas estas variáveis a umidade e o balanço de nutrientes disponíveis atuam de maneira essencial para que as reações de digestão resultem na formação de CO<sub>2</sub> e calor, que determinarão a eficiência deste processo na redução de constituintes orgânicos e patógenos, respectivamente.

Para que a atividade microbiana aeróbia não seja comprometida é importante que o aporte de oxigênio ocorra a todo momento e em todas as regiões da massa enleirada, e assim a injeção de ar atmosférico de forma controlada pode melhorar esta disponibilidade, proporcionando a ocorrência maximizada de atividade microbiana, controle de temperatura e umidade, colaborando também com redução de tempo da massa em compostagem. A forma mais usual para a aeração das leiras de compostagem consiste no revolvimento periódico, de forma mecânica ou manual dos resíduos empilhados, promovendo assim a possibilidade de contato entre o manipulador e o material em compostagem, o que pode representar riscos sanitários e ambientais. Nem todos os resíduos a serem compostados permitem a manipulação seja por conterem microrganismos patogênicos ou liberarem gases que podem ser prejudiciais à saúde, como a amônia.

A adequada aeração também permitirá o controle da temperatura das leiras e remoção do excesso de umidade e CO<sub>2</sub>, além de manter o fornecimento de O<sub>2</sub> para os processos biológicos (Bernal et al., 2009). Conforme Silva e Yatawara (2017), a adequada aeração depende da estrutura dos resíduos brutos e do mecanismo de suprimento de ar, para que não ocorra deficiência de oxigênio no interior da leira e assim menor geração de calor. Assim, as recomendações de fluxo de ar podem variar, pois Czekala et al. (2016) mencionaram que a taxa de aeração inicial deve fornecer em média 2 L.min<sup>-1</sup> e deve ser reajustada com o tempo decorrido no processo de compostagem, no intuito de manter a concentração mínima de O<sub>2</sub>, enquanto que Kazemi et al. (2017) recomendaram uma taxa de 0,3 L.min<sup>-1</sup>.Kg<sup>-1</sup> para o fornecimento do fluxo de ar.

Em leiras estáticas, as pilhas formadas no início do processo devem ser mantidas pelo máximo de tempo possível sem revolvimentos, no entanto, é importante que não ocorram perdas na eficiência de degradação pela restrição de oxigênio no seu interior, sendo um parâmetro de monitoramento a temperatura alcançada neste período. Em experimento conduzido por Orrico Jr. et al. (2010) foram compostados carcaças de aves, que eram resíduos que apresentavam em sua composição principalmente sangue, músculos e ossos, em associação com cama de frango. Estes resíduos foram mantidos sem revolvimentos por 60 dias, sendo este período considerado necessário para a manipulação do produto pré-compostado com segurança e então, efetuado revolvimento e formadas novas leiras, que foram revolvidas periodicamente e mantidas em compostagem por mais 60 dias. Os autores verificaram reduções de massa de sólidos totais de 48,6% e consideraram o processo efetivo na redução de coliformes, sobretudo pela manutenção da temperatura acima de 50°C por 27 dias consecutivos, no entanto, salientaram as elevadas perdas de nitrogênio, que poderiam ter melhorado a qualidade do fertilizante orgânico, se preservadas.

Como já mencionado, os diferentes métodos de aeração das leiras são indicados em função da origem e das características dos resíduos, custo de investimento e de operações, tempo para alcançar a maturação e disponibilidade de área, no entanto, esta escolha pode afetar diretamente a retenção ou perda de nitrogênio no processo (Rasapoor et al., 2016). De acordo com Chen et al. (2015), perdas de nitrogênio ocorrem, principalmente, por meio da volatilização de alguns compostos orgânicos durante o período de compostagem, sendo a taxa de aeração juntamente com o suprimento de oxigênio na massa enleirada, importantes para a biodegradação, amonificação e nitrificação (Guardia et al., 2008).

Bernal et al. (2009) relataram que os principais fatores que condicionam a volatilização da amônia durante a compostagem estão presentes nas reações que envolvem a formação de NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, sua despronação para a formação de NH<sub>3</sub>, a conversão de amônia em solução no composto para amônia gasosa e a transferência dessa para a atmosfera. Barrington et al. (2002) também notaram a

importância do tamanho de partícula sendo um fator que afeta a disponibilidade de carbono e, dessa forma, a imobilização de nitrogênio para os microrganismos durante a compostagem.

Avaliando diferentes métodos de aeração e a junção de dois deles, Rasapoor et al. (2016) investigaram a eficiência do processo de compostagem em leiras estáticas e a relação entre aeração e perdas de nitrogênio. Os autores observaram aumento acentuado de temperatura no início do processo, com três leiras atingindo mais de 70 °C e somente o tratamento com ventilação natural (VN) não conseguiu alcançar esta temperatura, mas permaneceu por período maior em fase termofílica. A aeração forçada (AF), por meio de injeção de ar em tubos de PVC, manteve a temperatura acima de 45 °C por quase 70 dias e, posteriormente, diminuiu de maneira gradual, já a VN, aeração por revolvimento mecânico (RM) e a junção de VN com ar mantiveram temperaturas em faixa termofílica por mais tempo, o que resultou em maiores perdas nitrogênio, já que houve 52,8% de perda utilizando AF, 61% tanto com RM quanto com VN e perda de 56% para o tratamento com RM junto com VN.

A compostagem é um processo aeróbio de degradação biológica realizado sob condições controladas para transformar resíduos orgânicos, resultando em um composto orgânico estável e sanitizado. Kim et al. (2011) e Elagroudy et al. (2011) relataram que a compostagem é capaz de reduzir os impactos ambientais e proporcionar vantagens econômicas. Como por exemplo, os fertilizantes atuam de forma indireta para melhorar a estrutura do solo e aumentar sua matéria orgânica, além de fornecer nutrientes e favorecer o crescimento das plantas (Paredes et al., 2005), e ao mesmo tempo as substâncias húmicas podem reduzir a toxicidade ambiental (Jurado et al., 2015).

As substâncias húmicas são misturas heterogêneas e complexas que são compostas principalmente de ácidos húmicos, ácidos fúlvicos e huminas (Stevenson, 1994). Os ácidos húmicos são solúveis em soluções alcalinas, mas insolúveis em soluções ácidas, enquanto os ácidos fúlvicos são solúveis em qualquer pH e as huminas são insolúveis em qualquer pH (Rochfort et al., 2015). Durante o processo de compostagem, a concentração de ácidos fúlvicos diminui, em contrapartida os ácidos húmicos aumentam. Na conversão da matéria prima para substâncias húmicas, a degradação de substratos orgânicos como hemicelulose, celulose e lignina são de extrema importância para sua formação (Bhatia et al., 2013).

Segundo Guo et al. (2019), as substâncias húmicas podem promover o crescimento das plantas, por estar relacionada à sua influência positiva na arquitetura das raízes e no ambiente do solo. Sua aplicação via adubo pode melhorar a germinação de sementes, enraizamento, crescimento de plântulas e uso de nutrientes das plantas.

## Referências Bibliográficas

- Ahn, H.K.; Richard, T.L.; Choi, H.L. Mass and thermal balance during composting of a poultry manure: wood shavings mixture at different aeration rates. **Process Biochemistry**, v.42(2), p.215–223, 2007.
- ARCO – Associação Brasileira de criadores de ovinos. Disponível em: <<http://www.arcoovinos.com.br/index.php/mn-imprensa/mn-noticias/239-frigorifico-gaucha-de-abate-de-ovinos-adere-ao-sisbi>>. Acesso em: Jul 2019.
- Arslan, E.I.; Unlu, A.; Topal, M. Determination of the effect of aeration rate on composting of vegetable-fruit wastes. **Clean-Soil Air Water**, v.39(11), p.1014–1021, 2011.
- Barrington, S., Choiniere, D., Trigui, M., Knight, W. Compost airflow resistance. **Biosystems Engineering**, v.81 (4), p.433–441, 2002.
- Bernal, M.P., Albuquerque, 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.
- Bertoldi, M.D.; Vallini, G.; Pera, A. The biology of composting: a review. **Waste Management**, v.1, p.157-176, 1983.
- Bhatia, A., Madan, S., Sahoo, J., Ali, M., Pathania, R., Kazmi, A.A. Diversity of bacterial isolates during full scale rotary drum composting. **Waste Management**, v.33, p.1595–1601, 2013.
- Blasy, V.; De-Guardia, A.; Benoist, J.C.; Daumoin, M.; Lemasle, M.; Wolbert, D.; Barrington, S. Process Conditions Influence on Pig Slaughter House Compost Quality Under Forced Aeration. **Waste Biomass Valor**, v.5, p.451-468, 2014.
- Bueno, P.; Tapias, R.; Lopez, F.; Diaz, M.J. Optimizing composting parameters for nitrogen conservation in composting. **Bioresource Technology**, v.99(11), p.5069–5077, 2008.
- Chen, R.; Wang, Y.; Wang, W.; Wei, S.; Jing, Z.; Lin, X. N<sub>2</sub>O emissions and nitrogen transformation during windrow composting of dairy manure. **Journal of Environmental Management**, v.160, p.121-127, 2015.

- Ciavatta, C.; Govi, M.; Pasotti, L.; Sequi, P. Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes. **Bioresource Technology**, v.43, p.141–145, 1993.
- Cotta, J.A.O.; Carvalho, N.L.C.; Brum, T.S.; Rezende, M.O.O. Composting versus vermicomposting: comparison of techniques using vegetal waste, cattle manure and sawdust. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.20, p.65-78, 2015.
- Czekała, W.; Malinska, K.; Cáceres, R.; Janczak, D.; Dach, J.; Lewicki, A. Co- composting of poultry manure mixtures amended with biochar – the effect of biochar on temperature and C- CO<sub>2</sub> emission. **Bioresource Technology**, v.200, p.921–927, 2016.
- De Guardia, A.; Petiot, C.; Benoist, J.C.; Druilhe, C. Characterization and modelling of the heat transfers in a pilotscale reactor during composting under forced aeration. *Waste Management*, v.32(6), p.1091–1105, 2012.
- De-Guardia, A.; Mallard, P.; Teglia, C.; Marin, A.; Le Pape, C.; Launay, M.; Benoist, J.C.; Petiot, C. Comparison of five organic wastes regarding their behaviour during composting: part 1, biodegradability, stabilization kinetics and temperature rise. *Waste Management*, v.30(3), p.402–41, 2010.
- Diaz, M.J.; Madejón, E.; López, F.; López, R.; Cabrera, F. Optimization of the rate vinasse/grape marc for co-composting process. **Process Biochemistry**, v.37 (10), p.1143-1150, 2002.
- Diaz, L.F.; De Bertoldi, M.; Bidlingmaier, W.; Stentiford, E. **Compost Science and Technology**. 1.ed. Amsterdam: Editora: Elsevier,. 2007.
- Elagroudy, S., Elkady, T., Ghobrial, F. Comparative cost benefit analysis of different solid waste management scenarios in Basrah, Iraq. **Journal of Environmental Protection**, v.2(5), p.555-563, 2011.
- Gao, M.; Li, B.; Yu, A.; Liang, F.; Yang, L.; Sun, Y. The effect of aeration rate on forced-aeration composting of chicken manure and sawdust. **Bioresource Technology**, v.101, p.1899–1903, 2009.

- Gu, W.; Lu, Y.; Tana, Z.; Xu, P.; Xie, K.; Li, X.; Sun, L. Fungi diversity from different depths and times in chicken manure waste static aerobic composting. **Bioresource Technology**, v.239, p.447-453, 2017.
- Guardia, A., Petiot, C., Rogeau, D., Druilhe, C. Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. **Waste Management**, v.28, p.575–587, 2008.
- Guo, X., Liu, H., Wu, S. Humic substances developed during organic waste composting: Formation mechanisms, structural properties, and agronomic functions. *Science of the Total Environment*, v.662, p. 501–510, 2019.
- Guo, R.; Li, G.X.; Jiang, T.; Schuchardt, F.; Chen, T.B.; Zhao, Y.Q.; Shen, Y.J. Effect of aeration rate, C/N ratio and moisture content on the stability and maturity of compost. *Bioresource Technology*, v.112, p.171–178, 2012.
- Higarachi, M.M., Sardá, L.G., Oliveira, P.A.V. The influence of the season of the year and of dilution on the development of swine manure and wood shaves co-composting. **Engeraria Agrícola**, Jaboticabal, v.32, p.236-246, 2012.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Estatística da produção Pecuária. 2019. Disponível em : < <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/biblioteca-catalogo?view=detalhes&id=72380>> Acesso em: Jul 2019.
- Janczak, D.; Malinska, K.; Czekala, W.; Caceres, R.; Lewicki, A.; Dach, J. Biochar to reduce ammonia emissions in gaseous and liquid phase during composting of poultry manure with wheat straw. **Waste Management**, 2017.
- Jurado, M.M.; Suárez-Estrella, F.; López, M.J.; Vargas-García, M.C.; López-González, J.A.; Moreno, J. Enhanced turnover of organic matter fractions by microbial stimulation during lignocellulosic waste composting. **Bioresource Technology**, v.186, p.15–24, 2015.
- Kazemi, K.; Zhang, B.; Lye, L.M.; Zhu, Z. Evaluation of state and evolution of marine fish waste composting by enzyme activities. **Canadian Journal of Civil Engineering**, v.44, p.348-357, 2017.

- Kim, M.-H.; Song, Y.-E.; Song, H.-B.; Kim, J.-W.; Hwang, S.-J. Evaluation of food waste disposal options by LCC analysis from the perspective of global warming: jungnang case, South Korea. **Waste Management**, v.31, p.2112-2120, 2011.
- Kiehl, E.J. Fertilizantes orgânicos. São Paulo: Agronômica Ceres. p.492, 1985.
- Larney, F.J.; Olson, A.F.; Carcamo, A.A.; Chang, C. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer. **Bioresource Technology**, v.75, p.139–148, 2000.
- Millner, P.; Ingram, D.; Mulbry, W.; Arikan, A.O. Pathogen reduction in minimally managed composting of bovine manure. **Waste Management**, v.34, p.1992-1999, 2014.
- Orrico Junior, M.A.P.; Orrico, A.C.A.; Lucas Junior, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, v.30 (3), p.538-545, 2010.
- Pacheco, J.W.; Yamanaka, H.T. Guia técnico ambiental de abates (bovino e suíno). São Paulo: CETESB, 2006. Disponível em :<<http://www.cetesb.sp.gov.br>>
- Paredes, C., Cegarra, J., Bernal, M.P., Roig, A. Influence of olive mill wastewater in composting and impact of the compost on a Swiss chard crop and soil properties. **Environment International**, v.31, p.305–312, 2005.
- Pereira Neto, J.T. Manual de compostagem: processo de baixo custo. Viçosa: UFV. p.81, 2007.
- Rasapoor, M.; Adl, M.; Pourazizi, B. Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran. **Journal of Environmental Management**, v.184, p.528-534, 2016.
- Rochfort, S., Ezernieks, V., Mele, P., Kitching, M. NMR metabolomics for soil analysis provide complementary, orthogonal data to MIR and traditional soil chemistry approaches - a land use study. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v.53, p.719–725, 2015.
- Rodrigues, M.S.; Silva, F.C.; Barreira, L.P.; Kovacs, A. Compostagem: reciclagem de resíduos sólidos orgânicos. In: SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria. FEPAF: Botucatu. p.63-94, 2006.

- Silva, S.; Yatawara, M. Assessment of aeration procedures on windrow composting process efficiency: A case on municipal solid waste in Sri Lanka. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v.8, p.169-174, 2017.
- Stevenson, F.J. *Humus Chemistry: Genesis, Composition, Reactions*. Second ed. John Wiley and Sons, New York, 1994.
- Tang, J.; Liste, H.H.; Alexander, M. Chemical assays of availability to earthworms of polycyclic aromatic hydrocarbons in soil. **Chemosphere**, v.48, p.35-42, 2002.
- Tiquia, S. M. Reduction of compost phytotoxicity during the process of decomposition. **Chemosphere**, v.79, p.506–512, 2010.
- Tiquia, S.M. Microbiological parameters as indicators of compost maturity. **Journal of Applied Microbiology**, v.99, p.816-828, 2005.
- Tiquia, S.M.; Richard, T.L.; Honeyman, M.S. Effect of windrow turning and seasonal temperatures on composting of hog manure from hoop structures. **Journal of Environmental Technology**, v.21, p.1037–1046, 2000.
- Toledo, M., Siles, J.A., Gutiérrez, M.C., Martín, M.A. Monitoring of the composting process of different agroindustrial waste: Influence of the operational variables on the odorous impact. **Waste Management**, v.76, p.266-274, 2018.
- Tuomela, M.; Vikman, M.; Hatakka, A. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. **Bioresource Technology**, v.72, p.169-183, 2000.
- Turner, C. The thermal inactivation of *E. coli* in straw and pig manure. **Bioresource Technology**, v.84, p.57-61, 2002.
- 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.

VCResíduos. Como destinar e tratar corretamente resíduos de origem animal. 2018. Disponível em:

<<https://www.vgresiduos.com.br/blog/como-destinar-e-tratar-corretamente-residuos-de-origem-animal/>>. Acesso em: jul. 2017.

## **CAPÍTULO 2**

**Efeitos da aeração e da estação do ano na compostagem dos resíduos orgânicos de abatedouro**

## Resumo

A aeração em leiras é recomendada em função da origem e das características do material orgânico, considerando os custos de investimento e riscos biológicos de manipulação, com o intuito de promover a redução dos constituintes poluentes e alcançar um fertilizante orgânico de qualidade. Com a condução desta pesquisa objetivou avaliar a influência de aeração e das estações do ano na compostagem conduzida em leiras estáticas utilizando resíduo de abatedouro de ruminantes em associação com feno e casca de arroz. Foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 2 (com e sem aeração x estações de inverno e verão), com parcela subdividida no tempo (75 e 90 dias de compostagem) com duas repetições (leiras). As pilhas foram formadas em camadas, intercalando resíduos orgânicos e material volumoso, na proporção de 3,5:1, respectivamente, e utilizando-se células de compostagem com capacidade individual para 200 kg de matéria natural. Para a aeração das leiras foram inseridos tubos de PVC entre as camadas de resíduos, sendo estes canos perfurados ao longo do comprimento para conduzirem a aeração por todo o perfil da leira, permitindo o fluxo médio de  $0,6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ . Durante o desenvolvimento da compostagem foram realizados revolvimentos aos 50 e 75 dias de compostagem, finalizando o processo aos 90 dias. As temperaturas médias alcançadas pelas leiras, assim como as reduções de sólidos totais, sólidos voláteis e carbono não foram influenciadas ( $p > 0,05$ ) pelas estações ou presença de aeração, resultando em médias de 68,8, 68,3 e 71,5%, respectivamente. As perdas de N foram influenciadas ( $p < 0,05$ ) pela estação e aeração, sendo maiores durante o verão com a presença da aeração (84,6%). As quantidades de ácidos húmicos (AH) formados no decorrer da compostagem foram superiores ( $p < 0,05$ ) no verão com média de  $354,6 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de composto em relação ao inverno  $233,8 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de composto, no entanto, no inverno, a ausência da aeração possibilitou maiores ( $p < 0,05$ ) concentrações de AH com  $265,9 \text{ mg}\cdot\text{g}^{-1}$  de composto. A compostagem apresentou desenvolvimento semelhante em ambas as estações do ano e na qualidade do composto, mas a utilização da aeração não foi benéfica, pois o composto proveniente das leiras que não receberam aeração apresentaram melhores reduções dos constituintes sólidos, menores perdas de N e melhor relação HA:FA.

Palavras-chave: leiras estáticas, reciclagem biológica, redução de massa

## Abstract

Windrow aeration is recommended depending on the origin and characteristics of the organic material, considering the investment costs and biological risks of handling, in order to promote the reduction of polluting constituents and achieve a quality organic fertilizer. By conducting this research, you can evaluate the influence of aeration and seasons on composition conducted in static regions using reduced ruminant residue in association with rice husks. It was used for custom casual design, in a 2 x 2 factorial scheme (with and without aeration x winter and summer seasons), with a split plot without time (75 and 90 days of composition) with two repetitions (leiras). The piles they were formed in layers, interspersing organic waste and bulky material, in the ratio of 3.5: 1, respectively, and using composition cells with individual capacity for 200 kg of natural matter. For aeration of the pylons, PVC pipes were inserted between the waste layers and these pipes were drilled along the length to conduct aeration throughout the ply profile, allowing the average flow of 0.6 L.min<sup>-1</sup>. During the development of composting, revolvers were made for 50 and 75 days of composting, completing the process for 90 days. The average temperatures reached by the windrows, as well as the maximum reductions, volumes and gases were not influenced ( $p > 0.05$ ) by the stations or presence of aeration, resulting in the averages of 68.8, 68.3 and 71, 5% respectively. The reduction of N were influenced ( $p < 0.05$ ) by season and aeration, being larger during summer with presence of aeration (84.6%). The amounts of humic compounds (HA) formed in the composition process were higher ( $p < 0.05$ ) in summer with an average of 354.6 mg.g<sup>-1</sup> of composition compared to winter 233.8 mg.g<sup>-1</sup> of compound, however, in winter, with a greater absence of aeration ( $p < 0.05$ ), associated with HA with 265.9 mg.g<sup>-1</sup> of compound. A composition presented under development as the seasons and in the quality of the compost, but the use of aeration is not allowed, as it is a coming compound of the non-aerated windrows, which are considered better reductions of the tested components, smaller than one and the best ratio HA: FA.

Keywords: static windrows, organic recycling, mass reduction

## Introdução

O resíduo de abatedouro é gerado em grandes quantidades durante as operações de abate e de limpeza das carcaças, totalizando 12 milhões de toneladas por ano. Possuem em sua composição constituintes como sangue, ossos, aparas de gordura e carne da desossa, partes de animais não comestíveis, além de resíduos do processamento ou industrialização da carne. O resíduo de abatedouro é rico em matéria orgânica, nitrogênio, fósforo e outros microelementos, o que o torna uma matéria prima viável a ser compostada. Além desses elementos, o resíduo de abatedouro pode conter gases tóxicos e organismos patogênicos, que podem inviabilizar o manejo periódico nas pilhas de compostagem no início do processo, mas, se condicionados corretamente poderão resultar em compostos de excelente qualidade.

A compostagem é um processo aeróbio de degradação biológica realizado sob condições controladas para transformar resíduos sólidos orgânicos em um produto final estável (Toledo et al., 2018). As elevadas temperaturas alcançadas devido ao calor metabólico gerado na fase termofílica durante processo de compostagem é eficaz na eliminação de patógenos e no aumento da degradação biológica (Sadef et al., 2014), permitindo, assim, a utilização do produto como fertilizante (Sánchez et al., 2015).

As pilhas de compostagem podem ser conduzidas estaticamente, sendo formadas no início do processo e mantidas pelo máximo de tempo possível sem revolvimentos, sem que haja perda na eficiência do material orgânico, que pode ser resultado da restrição de oxigênio no interior da pilha. Dessa forma, a utilização da aeração forçada é uma medida de prevenção contra a prevalência de anaeróbios no interior das leiras, o que resultaria em problemas como proliferação de moscas e emissão de maus odores.

O fornecimento de aeração, seja ele na forma passiva ou forçada, é importante que esteja em níveis suficientes para que ocorra otimização no processo da compostagem (Nakasaki et al., 1992), e também na qualidade do composto (Ahmed et al., 2010). No entanto, o excesso ou privação da taxa de aeração pode limitar ou mesmo impedir a biodegradação, diminuir a temperatura interna da pilha e prolongar o tempo de tratamento. Hansen e Munksgaard (1989), afirmaram que dentro de todos os processos que envolvem a compostagem a aeração é o mais importante.

A influência que a estação do ano causa na compostagem ainda não está definida entre pesquisadores, Larney et al. (2000) acreditam que o aquecimento da massa pode sofrer influência da temperatura do meio principalmente durante meses mais quentes. Ciavatta et al. (1993) e Tiquia et al. (2000) defendem que a temperatura do meio não exerce influencia no desenvolvimento da compostagem.

Sendo assim, este estudo foi conduzido com o objetivo de avaliar a influência da aeração e estação do ano, assim como do tempo necessário no processo de compostagem dos resíduos de abatedouros de ruminantes em associação com feno e casca de arroz.

### Material e Métodos

A pesquisa foi desenvolvida na área Experimental e no Laboratório de Manejo dos Resíduos Agropecuário, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados-MS, Brasil (latitude 22°11'38''S, longitude 54°55'49''W e 462 m de altitude). Segundo a classificação climática de Köppen o clima da região é Cwa – Clima mesotérmico úmido, com verões quentes e invernos secos; durante o período do desenvolvimento da compostagem no inverno, iniciado no mês de junho e finalizado em setembro, a média da temperatura ambiente foi de 21,3 °C. Já, durante o desenvolvimento da compostagem no verão, iniciada em dezembro e finalizada em março, a média da temperatura ambiente foi de 31,3 °C, conduzida durante ambos os períodos em estufa.

As células de compostagem foram construídas com madeira vazada nos lados, fundo, frente e piso da composteira e tiveram as seguintes dimensões: 0,85 x 0,50 e 1,20 m de altura, largura e profundidade, respectivamente, (Figura 1). A capacidade estimada de cada célula foi para 200 kg de material, compreendendo os resíduos orgânicos e o material absorvente. Cada célula de compostagem foi revestida internamente com sombrite ® permitindo que o material enleirado não fosse perdido pelas frestas entre as lâminas de madeira.

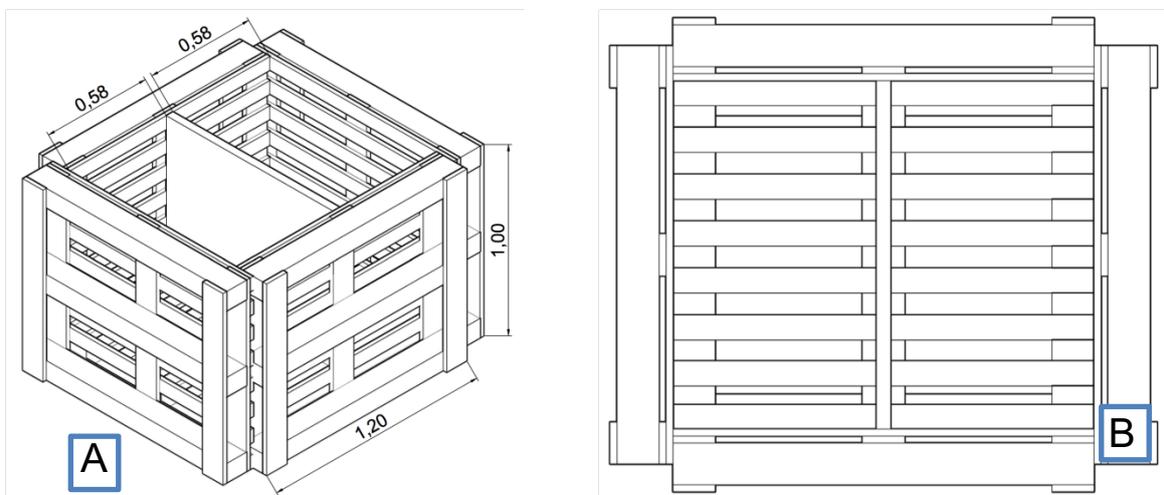


Figura 1. Perspectivas das composteiras que foram construídas para a execução do experimento (vista superior e lateral, com medidas em metros (A) e vista superior (B)).

Os resíduos compostados foram provenientes de descartes de abatedouros de ruminantes, sendo os descartes de abate de ovino coletados na Universidade Federal da Grande Dourados e os bovinos cedidos por frigorífico comercial localizado no município de Ivinhema-MS.

Para condução do experimento foi adotado o Delineamento Inteiramente Casualizado em esquema fatorial 2 x 2, representado pela aeração (com e sem) e conduzido em duas estações do ano (inverno e verão), com parcela subdividida no tempo, que foi representado pelos dias de revolvimento (75 e 90) e com 2 repetições (leiras).

O material absorvente foi composto por feno de gramínea de baixa qualidade moído e casca de arroz, na proporção de 80:20, respectivamente. A casca de arroz foi associada com o feno no intuito de formar uma camada que proporcionasse melhor vedação e assim impossibilitasse a passagem de exsudados da compostagem e conseqüentemente, a formação de chorume. A proporção entre resíduo orgânico e material absorvente foi de 3,5:1. Apesar da formação de chorume ser considerada uma condição indesejável, abaixo de cada célula de compostagem foram acondicionadas bandejas coletoras.

Os descartes de abatedouro foram colocados de forma íntegra no interior das leiras, sendo compostos por: cabeças, patas, pelames, trato gastrointestinal, aparelhos respiratório e reprodutivo de bovinos e ovinos. As leiras de compostagem foram confeccionadas em ambas estações priorizando o mínimo de tempo entre a montagem da primeira em relação à última e seus resíduos foram coletados uma única vez para cada estação. Na Tabela 1 está apresentada a composição química dos resíduos utilizados na montagem das leiras experimentais nas estações de inverno e verão.

Tabela 1. Caracterização da constituição inicial dos materiais volumosos utilizados para confecção das leiras nas estações de inverno e verão.

	pH	C:N	ST (%)	SV (%)	EE (%)
Feno	-	-	90,00	94,53	0,60
Casca de Arroz	-	-	88,50	82,00	0,58
Resíduo de abatedouro					
Inverno	6,92	21,78	45,33	94,77	23,35
Verão	6,48	18,36	39,55	72,99	37,75

ST=sólidos totais, SV=sólidos voláteis e EE= extrato etéreo

As leiras foram formadas em camadas, utilizando a proporção descrita de resíduos orgânicos e material absorvente. Os cuidados na formação das leiras foram os seguintes: a base e a cobertura das pilhas foram sempre de material absorvente; na primeira camada, a casca de arroz foi acondicionada na parte inferior da base (em contato com a composteira) vedando melhor o fundo, sendo então seguida pelo feno moído e o resíduo orgânico; já nas camadas seguintes a casca de arroz

foi colocada em contato com o resíduo da camada formada abaixo dela, auxiliando na vedação da camada superior; e ainda, foram formadas camadas com aproximadamente 5 cm de espessura dos resíduos orgânicos permitindo assim maior contato e um ambiente de digestão mais homogêneo entre este resíduo e o material absorvente. Todas as células de compostagem foram formadas e mantidas no interior de uma casa de vegetação, protegidas da exposição direta ao sol e a chuva.

Na formação das leiras que receberam aeração foram inseridos tubos de PVC com diâmetro de 50 mm entre as camadas de resíduos formadas, sendo estes canos perfurados ao longo do comprimento para que pudessem conduzir a aeração por todo o perfil da leira. Estes canos foram distribuídos na horizontal, acompanhando a profundidade da célula, com distância de 25 cm da base para o primeiro cano e 55 cm da base para o segundo cano, sendo estes dois canos interligados na parte frontal da composteira em uma única entrada, que foi acoplada a um motor tipo soprador de ar, permitindo assim a injeção de ar por 15 minutos diários com fluxo médio de  $0,6 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ .

O período total de compostagem foi de 90 dias, ocorrendo um revolvimento aos 50 e outro aos 75 dias do processo, sendo que para o revolvimento, todo o material do interior da leira foi retirado e acondicionado sobre lona plástica para homogeneização e adequação do teor de umidade, e posteriormente foi devolvido na composteira. A temperatura no interior de cada leira foi mensurada diariamente com auxílio de termômetro do tipo espeto em 10 pontos distintos e distribuídos aleatoriamente entre a base, o centro e o topo da leira para compor dessa maneira a média da temperatura.

Nos revolvimentos foram coletadas amostras para avaliação da degradação dos constituintes orgânicos e qualidade do composto formado. As amostras iniciais foram secas por liofilização devido ao alto teor de gordura presente e as de 50, 75 e 90 dias através de estufa de ventilação forçada. Durante os 90 dias de compostagem foram avaliadas as condições de umidade das leiras, elegendo-se aleatoriamente pontos para a coleta de amostras no perfil, e determinando os ST, para que fossem acrescentadas pequenas quantidades de água (evitando assim a formação de chorume) e se mantivesse a umidade dentro da faixa considerada de 40 a 60%. A compostagem foi finalizada quando as temperaturas das leiras se mantiveram na condição do ambiente, as degradações de sólidos se estabilizaram e os teores de C mantiveram as concentrações constantes, sendo então as leiras pesadas, homogeneizadas e amostradas para a caracterização final do composto.

No material inicial, aos 50, 75 e 90 dias de compostagem foram determinados os ST, sólidos voláteis (SV) e extrato etéreo (EE). Os ácidos húmicos (AH) e fúlvicos (AF) foram determinados aos 50 e 75 dias. A qualidade do composto foi determinada pelas amostras dos 90 dias através das concentrações de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), coliformes

totais e termotolerantes, além da quantificação dos teores de macrominerais (P, K, Ca, Mg, S e Na) e microminerais (Zn, Mn, Fe, Cu e B).

Tabela 2. Teores de macronutrientes e micronutrientes na constituição inicial do material volumoso e do resíduo orgânico durante as estações do inverno e verão.

	C (%)	N (%)	P	K	Ca	Mg	S	Na	Zn	Mn	Fe	Cu	B
			g.Kg <sup>-1</sup>						mg.Kg <sup>-1</sup>				
Feno	40,79	0,60	0,82	2,21	3,95	1,77	0,39	0,38	26,40	96,51	214,08	1,70	1,84
Casca de Arroz	34,32	0,39	0,58	3,02	0,65	0,43	0,37	0,41	19,81	129,15	113,27	2,77	1,95
Resíduo de abatedouro													
Inverno	39,90	1,83	8,64	9,61	4,75	0,92	4,49	7,36	142,11	45,76	541,96	48,91	5,81
Verão	38,72	2,11	7,76	8,35	2,18	0,74	5,41	5,76	83,16	13,97	356,43	10,25	1,92

Os teores de ST, SV e coliformes totais e termotolerantes foram mensurados de acordo com a metodologia descrita por Apha (2005), o pH foi determinado de acordo com metodologia de Brasil (2007), os teores de EE foram determinados de acordo com o método de Randall (INCT-CA G-005/1), descrito por Detmann et al. (2012), e o FDN e FDA foram determinados de acordo com a metodologia descrita por Silva & Queiros (2006).

Os conteúdos de carbono e nitrogênio foram determinados através do analisador Elementar modelo VARIO MACRO. Os teores de AH e AF foram determinados através do analisador Elementar modelo VARIO TOC, segundo metodologia proposta por Lüdtke et al. (2016). Os teores de microminerais e macrominerais foram determinados através do Espectrômetro de emissão atômica com plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), marca PerkinElmer, modelo Optima 8300 (Dual View).

Os grupos funcionais presentes nos tratamentos antes e após a compostagem do material orgânico foram determinados pelo Espectrofotômetro com Infravermelho que opera com Transformada de Fourier (FTIR) e possui acessório de refletância total atenuada (ATR), de acordo com a metodologia proposta por Stevenson (1994). Para a obtenção dos espectros, foram analisadas a partir de 50 varreduras no intervalo de 4000 a 400  $\text{cm}^{-1}$  com resolução espectral de 4  $\text{cm}^{-1}$ . As análises de ATR foram realizadas no espectrômetro Frontier by Perkin Elmer FT-IR.

Os resultados foram submetidos à análise de variância considerando-se como fontes de variação: o uso ou não de aeração, as estações do ano e os tempos de compostagem e ainda, a interação dos mesmos, testados à 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, utilizando o pacote computacional R (versão 3.1.0 for Windows).

## **Resultados e Discussão**

Considerando todo o período de compostagem, a média de temperatura foi de 50°C, não sofrendo influência da estação do ano ou aeração ( $p>0,05$ ). Este comportamento possivelmente esteja associado a composição inicial desse resíduo, sobretudo, pela presença de sangue, músculos e vísceras, que foram substratos prontamente disponíveis para o ataque microbiano, resultando inclusive em temperaturas superiores a 60°C nos primeiros 40 dias de compostagem.

A elevada capacidade de degradação na massa em compostagem formado pelos descartes de abatedouro pôde ser visualizada desde o início da compostagem, pois logo no primeiro dia do processo, as leiras formadas no inverno alcançaram temperaturas de 40°C e as confeccionadas no

verão de  $57^{\circ}\text{C}$ , sendo a faixa termofílica persistente em ambas as estações por mais de 30 dias consecutivos (Figura 2) e com alcances acima de  $60^{\circ}\text{C}$ . As leiras que não receberam aeração em comparação com as que receberam apresentaram temperaturas médias com maior oscilação entre os dias de compostagem (Figura 2), provavelmente pela restrição de oxigênio em seu interior e possível formação de estratificações térmicas. As temperaturas termofílicas apresentaram média de  $57^{\circ}\text{C}$  no inverno e duração de 63 dias e no verão média de  $55^{\circ}\text{C}$  com permanência de 61 dias (Tabela 3).

Com os revolvimentos realizados aos 50 e 75 dias de compostagem ocorreram novos aumentos das temperaturas das leiras, alcançando a média de  $68,7^{\circ}\text{C}$  aos 51 dias e  $63,8^{\circ}\text{C}$  aos 76 dias, caracterizando efeito benéfico da maior oferta de oxigênio no meio e da mistura de diferentes porções das leiras, que associado ao aumento de umidade pela adição de água, proporcionaram melhores condições para os microrganismos do meio atuarem na degradação. Observa-se (Figura 2) que apesar dos revolvimentos terem aumentado a temperatura das leiras, houve rápido declínio nos dias consecutivos, o que pode ser associado ao esgotamento de substrato e redução da atividade dos microrganismos termofílicos, surgindo novamente as comunidades mesófilas. De acordo com a Resolução CONAMA n° 481/2017 para sistemas abertos de compostagem é necessário manter temperaturas superiores à  $55^{\circ}\text{C}$  durante 14 dias para que o material compostado seja sanitizado, dessa forma, observamos que a duração da fase termofílica (Tabela 3) para os tratamentos estudados foram superiores ao tempo exigido pela Resolução, demonstrando possível sanitização do material.

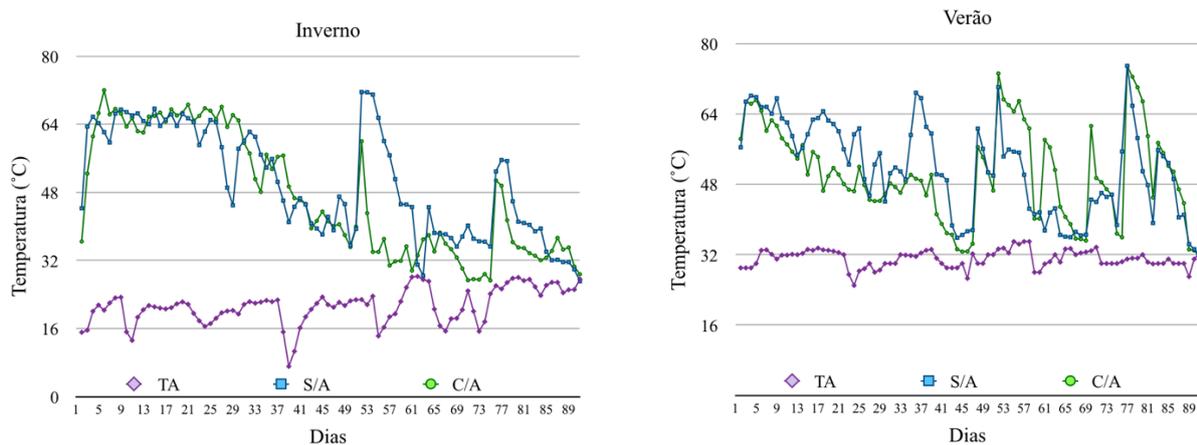


Figura 2. Temperaturas médias do resíduo de abatedouro durante o processo de compostagem no Inverno e Verão (Sem aeração(S/A), Com aeração (C/A) e Temperatura ambiente (TA)).

Tabela 3. Temperaturas termofílicas do resíduo de abatedouro durante o inverno e verão, com e sem a presença de aeração.

Estação	Aeração	Duração da fase Termofílica (dias)	Temperatura (°C) máxima da compostagem e (dia)		Média da temperatura (°C) 75 - 90
			0 - 50	50 - 75	
Inverno	Com	54	74,2 (5)	61,2 (51)	36,3
	Sem	71	67,0(3)	74,4(53)	39,3
Verão	Com	61	68,8(4)	73,9(51)	37,0
	Sem	60	68,1 (3)	73,7 (51)	49,2

Aeração com: leiras que receberam aeração no fluxo de 0,6 L.min<sup>-1</sup> por 10 min.dia<sup>-1</sup>. Aeração sem: leiras sem aeração..

O comportamento da temperatura e da massa enleirada influenciaram no tempo da compostagem, permanecendo por 90 dias. As reduções dos constituintes orgânicos foram avaliados aos 75 e 90 dias e os parâmetros finais do composto aos 90 dias de compostagem.

A duração da temperatura termofílica durante a compostagem provavelmente auxiliou as reduções dos constituintes orgânicos. As reduções de ST (Tabela 4) não foram influenciadas ( $p>0,05$ ) em todo o período pela estação do ano ou presença de aeração, apresentando média de 68,8%. É possível que a presença da aeração tenha facilitado a atividade dos microrganismos, e que devido a presença de volumoso na formação das pilhas, tenha ocorrido aporte de oxigênio suficiente, mesmo para as leiras sem aeração. Blazy et al. (2014) relataram que o consumo de oxigênio está correlacionado com a taxa de aeração e que a associação de cavaco de madeira com lodo de abate de suínos favoreceu a retenção de oxigênio no interior das pilhas.

Assim como verificado para as reduções de ST as reduções de SV (Tabela 4) considerando todo o período de compostagem, não foram influenciadas ( $p>0,05$ ) pelas estações do ano ou presença de aeração, apresentando média de 68,3%. De Silva e Yatawara (2017) revelaram que a emissão de diferentes gases voláteis durante o processo pode ser a razão para a redução dos constituintes voláteis com o tempo, o mesmo foi observado por Ahmed et al. (2010) em que a porcentagem de sólidos voláteis no final do experimento diminuiu.

As reduções de carbono (Tabela 4) não foram influenciadas ( $p>0,05$ ) durante todo o período pelas estações do ano ou presença de aeração, apresentando média de 71,5%. Devido a diversidade dos nutrientes presente no descarte de abatedouro (Tabela 1), principalmente a quantidade de extrato etéreo, provavelmente tenha facilitado o crescimento da população microbiana. Do mesmo modo, as temperaturas observadas no interior das leiras nos primeiros dias e a persistência na fase termofílica, provavelmente são consequências da atividade microbiana em resposta do consumo do carbono disponível.

Durante a compostagem desenvolvida em todo o período a redução de extrato etéreo ( $p>0,05$ ) durante as estações do ano ou a presença da aeração apresentaram média de 70,4% (Tabela 4). As concentrações de EE aos 90 dias foram reduzidas em ( $p>0,05$ ) 70,0% no inverno e 70,8% no verão, alcançando teores de 4,4 e 6,9% de EE no inverno e verão, respectivamente. É possível observar (Figura 2) que durante o inverno as temperaturas demonstram um comportamento mais homogêneo, sem muitas oscilações diárias, no entanto, esse comportamento não foi observado no verão. Contudo, as reduções dos teores de gordura durante as estações possivelmente foram altas devido a permanência da temperatura no interior da leira em se manter elevadas, provavelmente a umidade, população microbiana e temperatura ambiente foram fatores que auxiliaram nessa redução.

Em compostagem de resíduos orgânicos domiciliares em associação com folhas secas e farelo de arroz com leiras estáticas Fan et al. (2018) relataram reduções no teor gordura de 73% no composto com microrganismo efetivo (EM) e 68% para o composto sem EM, após 56 dias o composto com EM continha 1,5% de gordura. No decorrer da compostagem as concentrações de EE foram reduzidas acentuadamente, alcançando 0,65% para composto aos 90 dias, no inverno e 4,80% de EE para o composto obtido no verão. Os valores encontrados no trabalho foram semelhantes ao

Tabela 4. Reduções dos constituintes sólidos do resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração, durante os dias de compostagem (75 e 90).

Aeração	Reduções de ST (%)		Reduções de SV (%)		Reduções de C (%)		Reduções de N (%)		Reduções de EE (%)		Redução FDN (%)		Redução FDA (%)		Redução HEM (%)	
	75d	90d	75d	90d	75d	90d	75d	90d	75d	90d	75d	90d	75d	90d	75d	90d
Inverno																
Com	61,1	64,0	63,0	67,2	65,9	70,4	75,1 <sub>xyz</sub>	75,9 <sub>xyZ</sub>	56,4 <sub>z</sub>	77,1 <sub>Z</sub>	35,2 <sub>x</sub>	37,4 <sub>x</sub>	19,9 <sub>xy</sub>	30,8 <sub>xy</sub>	57,3 <sub>xy</sub>	65,1 <sub>xy</sub>
Sem	71,5	73,6	72,5	75,0	70,6	74,4	59,3 <sub>xyz</sub>	63,8 <sub>xyZ</sub>	64,9 <sub>z</sub>	81,5 <sub>Z</sub>	74,7 <sub>X</sub>	75,1 <sub>X</sub>	67,7 <sub>XY</sub>	68,9 <sub>XY</sub>	82,7 <sub>X</sub>	83,2 <sub>X</sub>
Verão																
Com	68,7	71,0	65,8	68,0	70,3	73,6	84,1 <sub>XYz</sub>	84,6 <sub>XYZ</sub>	71,7 <sub>z</sub>	84,3 <sub>Z</sub>	59,7 <sub>x</sub>	64,3 <sub>x</sub>	48,4 <sub>Y</sub>	57,2 <sub>Y</sub>	73,1 <sub>Y</sub>	73,6 <sub>Y</sub>
Sem	68,3	72,3	65,2	69,9	70,9	76,1	79,1 <sub>xYz</sub>	79,2 <sub>XYZ</sub>	53,2 <sub>z</sub>	74,1 <sub>Z</sub>	65,7 <sub>X</sub>	68,1 <sub>X</sub>	55,0 <sub>y</sub>	61,2 <sub>y</sub>	75,2	77,1

Com Aeração: leiras que receberam aeração no fluxo de 0,6 l/min<sup>-1</sup> por 15 min/dia. Sem Aeração: leiras sem aeração. ST=sólidos totais, SV=sólidos voláteis, EE= Extrato Etéreo, FDN=Fibra em Detergente Neutro, FDA=Fibra em Detergente Ácido, HEM=Hemicelulose. A letra x comparar efeito de aeração (na coluna), a y de estação (na coluna) e a z de dias de compostagem (na linha). Médias seguidas da mesma letra, se minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Tukey (p>0,05).

de Fan et al. (2018), demonstrando que a compostagem é uma forma eficaz para tratar resíduos que contenham em sua composição altos teores de gordura.

As reduções de FDN, FDA e Hemicelulose (Tabela 4) não apresentaram diferenças significativas para o tempo de compostagem de 75 e 90 dias, dessa forma apresentaram médias de 60,0; 51,1 e 73,4%, respectivamente. As maiores reduções ( $p < 0,05$ ) de FDN ocorreram na ausência da aeração (70,9%). Durante o inverno a ausência da aeração favoreceu ( $p < 0,05$ ) as reduções de FDA (68,3%) e Hemicelulose (83,0%), e no verão a presença da aeração favoreceu ( $p < 0,05$ ) as reduções de FDA (52,8%) e Hemicelulose (73,4%). No entanto, os constituintes da fibra bruta presente no material absorvente e no conteúdo ruminal sofreram reduções superiores à 50%, possivelmente demonstrando a eficiência dos microrganismos em utilizá-los durante o processo de compostagem.

As maiores perdas de nitrogênio ( $p < 0,05$ ) ocorreram durante o verão (81,8%) e na presença de aeração (79,9%). A permanência de aproximadamente 62 dias com temperaturas acima dos 50 °C com o alcance de picos de 70 °C, associadas ao pH e relação C:N inicial (Tabela 1) provavelmente resultou em uma condição que favoreceu a volatilização de nitrogênio na forma de amônia no início da compostagem. Eghball et al. (1997) relataram que durante a compostagem de esterco de bovino as temperaturas alcançaram 65°C no primeiro dia, e que as maiores perdas de nitrogênio ocorreram pela volatilização da amônia (>92%) possivelmente associada com relação C:N, frequência de revolvimento e tamanho da partícula do agente de volume utilizado. Durante o primeiro mês de compostagem acontece a redução do pH (pH ácido), ao longo do processo de decomposição o pH sobe tornando-se neutro a alcalino devido a produção de amônia durante a amonificação e mineralização do nitrogênio orgânico em resposta das atividades microbianas (Rasapoor et al., 2009). Devido ao oxigênio ser mais acessível para os microrganismos nas leiras que receberam aeração, em conjunto com elevadas temperaturas (Figura 2) e pH alcalino (Tabela 5) possivelmente favoreceram as perdas de nitrogênio (Tabela 4). Para o aspecto agrícola o amônio e o nitrato são os constituintes mais desejáveis, devido a sua absorção direta pelo sistema radicular das plantas, com isso quanto menor for a perda de nitrogênio durante o processo de compostagem, melhor será a utilização do composto e seu valor na agricultura (Rasapoor et al., 2009; Rasapoor et al., 2016).

As quantidades observadas de coliformes totais e termotolerantes presentes no composto são elevadas para que o mesmo seja utilizado em cultivos de alimentos orgânicos segundo os valores de referência da instrução normativa n° 46/2011. As reduções dos números mais prováveis de de patógenos não permitiram obter um composto com valores inferiores a 100 coliformes.Kg<sup>-1</sup> de matéria seca. Provavelmente as reduções não aconteceram como esperado devido a dimensão da composteira e pela temperatura não ter conseguido ser manter elevada em sua superfície. Conseqüentemente após

os revolvimentos houve contaminação do material que estava sanitizado pelo material ainda contaminado.

Tabela 5. Teores finais do composto gerado pelo resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração.

Aeração	pH	C:N	Col T (NMP/g de MS)	Col TT (.Kg <sup>-1</sup> de MS)
	90d	90d	90d	90d
<b>Inverno</b>				
Com	8,2	11,9	367.376,8	228.813,6
Sem	8,1	16,2	473.793,8	82.608,7
<b>Verão</b>				
Com	7,6	19,7	4.917.360,1	4.378.358,0
Sem	7,0	18,8	208.374,8	164.058,8

Com Aeração: leiras que receberam aeração no fluxo de 0,6 l/min<sup>-1</sup> por 15 min/dia. Sem Aeração: leiras sem aeração. Col T=Coliformes Totais, Col TT= Coliformes Termotolerantes (número mais provável por grama de matéria seca – NMP/g de MS).

No entanto as plantas necessitam de vários nutrientes para assegurar seu desenvolvimento e assim expressar seu máximo potencial, sendo que a composição inicial dos descartes de abatedouro possivelmente possibilitou que seus compostos gerados contivessem ampla variedade de nutrientes, que são essenciais ao crescimento vegetal. Entre eles estão presentes os macronutrientes (nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio e enxofre) (Tabela 6) e micronutrientes (ferro, boro, cloro, cobre, zinco, manganês e molibdênio) (Tabela 6). Observando-se que, com exceção do N, todos os nutrientes sofreram acréscimo em seus teores durante o processo de compostagem. O padrão crescente de P e K (tabela 6) pode ser atribuído ao efeito de concentração devido a perda de constituintes orgânicos (Rasapoor et al., 2016), possivelmente não ocorrer a lixiviação durante o processo da compostagem beneficiou o acréscimo dos macro e microminerais. A baixa relação C:N inicial (tabela 1) pode ter influenciado à ocorrência de menores perdas de nutrientes, como relatado em estudo por Cook et al. (2015). No entanto, materiais absorventes que possuem lignina em sua constituição, são mais resistentes à degradação, e, dessa forma, a disponibilidade do C pouco se altera com a sua inclusão (Nolan et al., 2011), podendo ocorrer aumento da relação C:N, mas sem que haja maior disponibilidade de C. Os resultados desse trabalho demonstram maiores reduções de N (75,1%) comparadas às reduções de C (71,5%), resultando em uma relação C:N (Tabela 5) com média de 16,7.

Tabela 6. Teores de macronutrientes e micronutrientes no composto de resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração.

Aeração	P	K	Ca	Mg	S	Na	Zn	Mn	Fe	Cu	B
	g.Kg <sup>-1</sup>						mg.Kg <sup>-1</sup>				
	90d	90d	90d	90d	90d	90d	90d	90d	90d	90d	90d
Inverno											
Com	5,1	22,6	6,3	3,0	6,2	5,8	91,8	161,9	670,2	10,3	9,8
Sem	5,5	12,6	6,1	3,1	4,2	6,6	73,6	189,3	1039,5	9,8	8,5
Verão											
Com	4,2	8,9	6,6	2,9	2,9	4,2	69,8	158,8	1208,8	9,3	7,8
Sem	4,4	8,1	6,6	2,8	2,8	4,0	69,0	146,5	970,6	9,4	6,7

Com Aeração: leiras que receberam aeração no fluxo de 0,6 l/min<sup>-1</sup> por 15 min/dia. Sem Aeração: leiras sem aeração.

A compostagem envolve reações bioquímicas no decorrer de seu processo que reduzem e humificam o resíduo. As quantidades de ácidos húmicos (AH) (Tabela 7) formados no decorrer da compostagem foram superiores ( $p < 0,05$ ) durante o verão de  $354,6 \text{ mg.g}^{-1}$  em relação ao inverno de  $233,8 \text{ mg.g}^{-1}$  de composto, os ácidos fúlvicos (AF) apresentaram maiores concentrações ( $p < 0,05$ ) com a presença da aeração  $19,5 \text{ mg.g}^{-1}$  de composto e a concentração de humina (Hu) ( $p < 0,05$ ) no inverno foi de  $150,4 \text{ mg.g}^{-1}$  e no verão de  $52,6 \text{ mg.g}^{-1}$  de composto. Durante o inverno, a ausência da aeração possibilitou maiores ( $p < 0,05$ ) concentrações de AH com  $265,9 \text{ mg.g}^{-1}$  de composto. No entanto, a formação de AH durante o inverno possivelmente foi afetada pela composição e tamanho de partícula dos materiais de origem. A quantidade de substâncias húmicas (SHs) determina diretamente a qualidade do composto, sendo que, quanto maior for a proporção de ácido húmico dentro das SHs maior será a estabilização da matéria orgânica (Shan et al., 2013), pois, a fração de AH é formada pelo C orgânico estabilizado, no qual é altamente resistente à biodegradação. As proporções de AH:AF para o resíduo de abatedouro durante o inverno foram de 12,8 e para o verão essa razão foi de 18,7. A relação de AH:AF relatado por Costa et al. (2017) para resíduos industriais da cadeia de frango de corte em associação com materiais lignocelulósicos, relataram aumentos em decorrência da maior diminuição do AF do que o aumento do AH, o mesmo comportamento já foi observado por Raj e Antil (2011).

Tabela 7. Qualidade do composto gerado pelo resíduo de abatedouro durante as estações do inverno e verão, com e sem a presença de aeração.

Aeração	AH		AF		Hu		AH/AF	
	50d	75d	50d	75d	50d	75d	50d	75d
Inverno								
Com	213,5 xy	201,6 xy	20,7 X	19,6 X	174,4	174,1	10,3	10,3
Sem	237,3 Xyz	265,9 XyZ	19,2 x	17,5 x	170,7	126,7	12,4	15,2
Verão								
Com	320,6 Y	345,8 Y	18,0 X	19,5 X	101,4	45,5	17,9	17,8
Sem	324,4 Yz	363,3 YZ	18,8 x	18,5 x	92,1	50,7	17,2	19,6

Com Aeração: leiras que receberam aeração no fluxo de  $0,6 \text{ l/min}^{-1}$  por 15 min/dia. Sem Aeração: leiras sem aeração.

AH=ácidos húmicos, AF=ácidos fúlvicos, Hu=humina. A letra  $\underline{x}$  comparar efeito de aeração (na coluna), a  $\underline{y}$  de estação (na coluna) e a  $\underline{z}$  de dias de compostagem (na linha). Médias seguidas da mesma letra, se minúsculas, não diferem entre si pelo teste de Tukey ( $p > 0,05$ ).

A análise da presença de grupos funcionais que determinam o grau de estabilização do material orgânico e tem sido muito utilizada como ferramenta em alguns estudos tais como Abouelwafa et al. (2008); Fialho et al. (2010), Asses et al. (2018) dentre outros. De acordo com os autores supracitados, o material com bandas e picos no número de ondas em  $2920\text{ cm}^{-1}$  representa carbono alifático, ou seja, material não estabilizado. No entanto, bandas ou picos no número de onda de  $1620\text{ cm}^{-1}$  representam material estabilizado, carbono aromático. Na Figura 3 está demonstrado o espectro do material no início do processo de compostagem no inverno e verão.

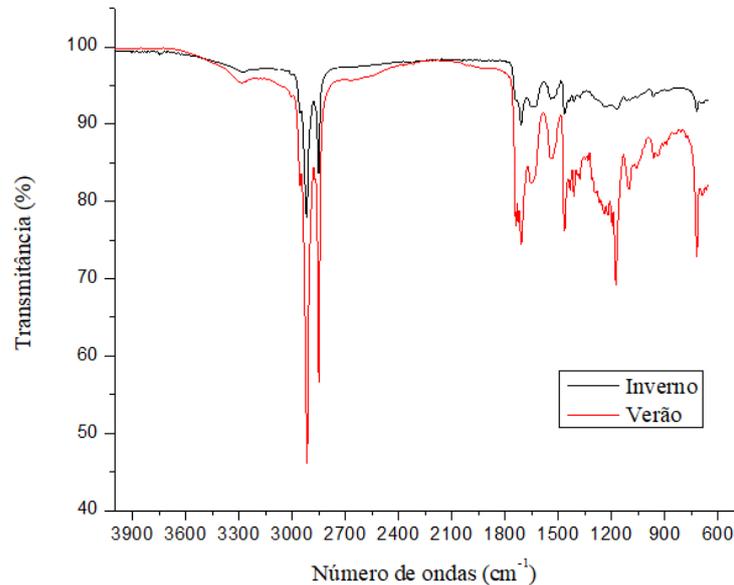


Figura 3. Espectro obtido do material orgânico no início do processo de compostagem.

No espectro do material analisado no início do processo é possível observar forte sinal de pico no número de onda de  $2920\text{ cm}^{-1}$  que demonstra carbono alifático. Sendo assim, a presença de forte sinal do estiramento C–H de cadeia alifática, indica que o material se apresenta com menor grau de humificação (SCHULTEN; SCHNITZER, 1993). Dessa forma, fica evidenciado que o material não passou pelo processo de mineralização da matéria orgânica. Na figura 4 é apresentado o espectro do material ao final do processo de compostagem nos tratamentos com e sem aeração nos períodos de inverno e verão.

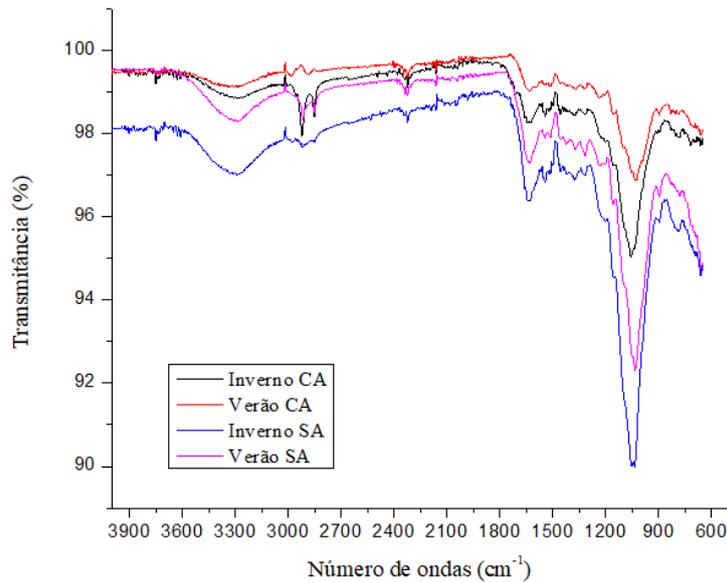


Figura 4. Espectro obtido do material orgânico ao final do processo de compostagem.

É possível visualizar em todos os tratamentos em que o pico que representa carbono alifático são fracos. A estabilização do material após o processo de compostagem pode ser comprovada pelos sinais dos picos em  $1620\text{ cm}^{-1}$  serem mais fortes em relação aos picos  $2920\text{ cm}^{-1}$  em todos os tratamentos. Droussi et al. (2009) trabalharam com compostagem de resíduos do processamento de azeitona. Os autores verificaram redução de estruturas alifáticas e aumento de estruturas aromáticas nos compostos. Do mesmo modo, Kong et al. (2018) relataram redução de grupos alifáticos e aumento de aromáticos ao longo do processo de estabilização de esterco de frango com palha de arroz.

## Conclusão

Durante a compostagem de leiras estáticas com resíduo de abatedouro não se recomenda o uso de aeração, independente da estação do ano, pois o composto proveniente das leiras que não receberam aeração apresentaram melhores reduções dos constituintes sólidos, menores perdas de N e melhor relação AH:AF indicando estabilização adequada do composto orgânico.

## Referências Bibliográficas

Abouelwafa, R., Baddi, G.A., Souabi, S., Winterton, P., Cegarra, J., Hafidi, M. 2008. Aerobic biodegradation of sludge from the effluent of a vegetable oil processing plant mixed with household waste: Physical-chemical, microbiological, and spectroscopic analysis. *Bioresour. Technol.* 99, 18, 8571-8577, 2008.

- Ahmed, M.A.M., Anasary, M.Y.E.I., Awad, M.A., Afify, M.T., 2010. A network design for forcing air to produce compost. *Biol. Eng.* 27 (2), 718–136.
- Apha. American Public Health Association. 2005. Standard methods for examination of water and wastewater. 21th ed. Washington: American Water Works Association.1.368.
- Asses, N., Farhat, A., Cherif, S., Hamdi, M., Bouallagui, H. 2018. Comparative study of sewage sludge co-composting with olive mill wastes or green residues: process monitoring and agriculture value of the resulting composts. *Process Safety and Environ. Protec.* 114, 25-35.
- BRASIL. Instrução Normativa n.17, de 21 de maio de 2007. Aprova os Métodos Analíticos Oficiais para Análise de Substratos e Condicionadores de Solos. Diário Oficial da União, Brasília, 24 maio. 2007. Seção 1, 8.
- Ciavatta, C., Govi, M., Pasotti, L., Sequi, P. 1993. Changes in organic matter during stabilization of compost from municipal solid wastes. *Bioresour. Technol.* 43, 141–145. CONAMA – Resolução nº481, de 03 de Outubro de 2017. Disponível em :<  
<http://www.agencia.baciaspcj.org.br/docs/resolucoes/resolucao-conama-481-17.pdf>>
- Cook, K.L., Ritchey, E.L., Loughrin, J.H., Haley, M., Sistani, K.R., Bolster, C.H., 2015. Effect of turning frequency and season on composting materials from swine high-rise facilities. *Waste Manage.* 39, 86-95.
- 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., 2017. Composting as a cleaner strategt to broiler agro-industrial wastes: selecting carbon source to optimize the process and improve the quality of the final compost. *J. Clean. Prod.* 142, 2084-2092.
- Detmann, E.; Souza, M.A.; Valadares Filho, S.C.; Queiroz, A.C.; Berchielli, T.T.; Saliba, E.O.E.; Cabral, L.S.; Pina, D.S.; Ladeira, M.M.; Azevedo, J.Ag., 2012. Métodos para Análise de Alimentos. (Inct - Ciência Animal). Viçosa: Universidade Federal De Viçosa. 214.
- Eghball, B., Power, J.F., Gilley, J.E., Doran, J.W., 1997. Nutrient, carbon, and mass loss during composting of beef cattle feedlot manure. *J. Environ. Qual.* 26, 189–193.
- Fan, Y.V., Lee, C.T., Klemes, J.J., Chua, L.S., Sarmidi, M.R., Leow, C.W., 2018. Evaluation of effective microorganisms on home scale organic waste composting. *J. Environ. Manag.* 41-48.
- Fialho, L.L., Silva, W.T.L.da, Milori, D.M.B.P., Simões, M.L., Martin-Neto, L. 2010. Characterization of organic matter from composting of different residues by physicochemical and spectroscopic methods. *Bioresour. Technol.* 101, 6, 1927-1934.

- Hansen, E.K., Munksgaard, E.C., 1989. Saliva contamination vs: efficacy of dentin- bonding agents. *Dent. Mater.* 5 (5), 329–333.
- Instrução Normativa N° 46, de 6 de outubro de 2011. Disponível em : <  
<http://www.agricultura.gov.br/assuntos/sustentabilidade/organicos/legislacao/portugues/instruca-o-normativa-no-46-de-06-de-outubro-de-2011-producao-vegetal-e-animal-regulada-pela-in-17-2014.pdf/view>>.
- Larney, F.J., Olson, A.F., Carcamo, A.A., Chang, C. 2000. Physical changes during active and passive composting of beef feedlot manure in winter and summer. *Bioresour. Technol.* 75, 139–148.
- Lüdteke, A.C., Dick, D.P., Aita, C., Pavan, B., Morosino, L., Doneda, A., Cantú, R.R., 2016. Organic matter and Humic fractions of a haplic agrisol as affected by composted pig. *Quim. Nova.* 39, 14–18.
- Nakasaki, K., H. Yaguchi, Sasaki, Y., Kubota, H., 1992. Effects of C/N ratio on thermophilic composting of garbage. *J. Fermt. Bioeng.* 73, 43–45.
- Nolan, T., Troy, S.M., Healy, M.G., Kwapinski, W., Leahy, J.J., Lawlor, P.G., 2011. Characterization of compost produced from separated pig manure and a variety of bulking agents at low initial C/N ratios. *Bioresour. Technol.* 102, 7131–7138.
- R – Development Core Team. 2009. *A Language and Environment for Statistical Computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.
- Raj, D., Antil, R.S., 2011. Evaluation of maturity and stability parameters of composts prepared from agro-industrial wastes. *Bioresour. Technol.* 102, 2868–2873.
- Rasapoor, M.; Adl, M.; Pourazizi, B., 2016. Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran. *J. Environ. Manag.* 184, 528–534.
- Rasapoor, M.; Nasrabadi, T.; Kamali, M., Hoveidi, H., 2009. The effects of aeration rate on generated compost quality, using aerated static pile method. *Waste Manag.* 29, 570–573.
- Sadef, Y., Poulsen, T.G., Bester, K., 2014. Impact of compost process temperature on organic micro-pollutant degradation. *Sci. Total Environ.* 494–495, 306–312.
- Sánchez, A., Gabarrell, X., Artola, A., Barrerna, R., Colón, J., Font, X., Komilis, D., 2015. Composting of wastes. In: Taherzadeh, M.J., Richards, T. (Eds.), *Resource Recovery to Approach Zero Municipal Waste*. Green Chemistry and Chemical Engineering Series. CRC Press, Taylor & Francis Group, 77–106.

- Schulten, H.R., Schnitzer, M. 1993. A state of the art structural concept for humic substance. *Naturwissenschaften*. 80, 29-30.
- Shan, Y.N, Chen, J.H, Wang, L., Li, F., Fu, X.H., Le, Q. 2013. Influences of adding easily degradable organic waste on the minimization and humification of organic matter during straw composting. *J. Environ. Sc. Heal*. 48, 384-392.
- Silva, D.J, Queiroz, A.C. 2006. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3.ed. Viçosa, MG: Editora Universitária, p.166.
- Silva, S., Yatawara, M. 2017. Assessement of aeration procedures on windrow composting process efficiency: A case on municipal solid waste in Sri Lanka. *Environ. Nanotechnol., Monitor. & Manage*. 8, 169-174.x
- Stevenson, F. J. *Humus Chemistry: genesis, composition, reactions*. 1994. 2 ed. New York: John Wiley.
- Tiquia, S.M., Richard, T.L., Honeyman, M.S. 2000. Effect of windrow turning and seasonal temperatures on composting of hog manure from hoop structures. *J. Environ.Technol*. 21, 1037–1046.
- Toledo, M., Siles, J.A., Gutiérrez, M.C., Martín, M.A., 2018. Monitoring of the composting process of different agroindustrial waste: Influence of the operational variables on the odorous impact. *Waste Manag*. 76, 266-274.

## **Implicações**

Durante o desenvolvimento e a condução do estudo as maiores dificuldades encontradas foram associadas primeiramente com a coleta e transporte do resíduo até a área experimental, na sequência houve a formação das leiras no menor intervalo de tempo possível. As amostragens foram outro ponto crucial para o desenvolvimento do experimento, pois, a homogeneização do resíduo para obter amostras iniciais representativas foi dificultosa e o mesmo ocorreu durante as amostras nos revolvimentos. A secagem e moagem das amostras de entrada foram outro entrave no decorrer do tempo. Mas apesar de todas as dificuldades encontradas, a dimensão das composteiras foi adequada para o alcance de temperaturas termofílicas durante meses. A ausência da formação de chorume mostrou que a relação utilizada de resíduo orgânico:volumoso foi satisfatória.