

RAFAEL ARTUR DE PAIVA GARDONI

**ESTUDO DA BIODEGRADAÇÃO DE CARCAÇAS DE FRANGO EM
BIODIGESTOR AERÓBIO DESCONTÍNUO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2013

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV

T

G228e
2013

Gardoni, Rafael Artur de Paiva. 1983-
Estudo da biodegradação de carcaças de frango em
biodigestor aeróbio descontínuo / Rafael Artur de Paiva Gardoni.
– Viçosa, MG, 2013.
x, 79f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Orientador: Mônica de Abreu Azevedo.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.
Referências bibliográficas: f. 72-79.

1. Frango - Carcaças. 2. Biodigestores. 3. Compostagem.
4. Biossegurança. 5. Resíduos perigosos. 6. Compostos
orgânicos. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Civil. II. Título.

CDD 22. ed. 628.16846

RAFAEL ARTUR DE PAIVA GARDONI

**ESTUDO DA BIODEGRADAÇÃO DE CARCAÇAS DE FRANGO EM
BIODIGESTOR AERÓBIO DESCONTÍNUO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Magister Scientiae*.

APROVADA: 15 de agosto de 2013.

Luis Manuel Navas Gracia

Adriana Corrêa Guimarães

Jaime Wilson Vargas de Mello
(Coorientador)

Mônica de Abreu Azevedo
(Orientadora)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Maria Hortência e Francisco Gardoni, pela luta e esforço dedicado em fornecer uma educação de alto nível aos seus filhos. Pela coragem de enfrentar o mundo em prol da qualidade de vida de toda a família.

Tenho muito orgulho de ser filho de vocês.

Vocês são meus heróis!

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar força e coragem para enfrentar os desafios ao longo da minha vida.

A minha família, por sempre acreditar no meu potencial, especialmente à minha mãe, Maria Hortência, meu pai Francisco Gardoni e as minhas irmãs Livia e Hortência.

À Laísa, pelo amor, paciência, incentivo e apoio em todos os momentos, mesmo nas grandes dificuldades vividas.

Aos meus amigos de Muriaé e Viçosa, que sempre estiveram ao meu lado nas alegrias e tristezas.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade fornecida de concluir mais este curso.

À CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão da bolsa de estudos durante o período do mestrado.

À Empresa H3M, por ter me dado apoio e contribuído com recursos para a realização do projeto.

À professora Mônica de Abreu Azevedo, pela orientação do trabalho, pelos ensinamentos fornecidos e principalmente pela amizade construída.

À professora Maria Lúcia Calijuri pela coorientação e incentivo em realizar o mestrado.

Ao professor Jaime Wilson Vargas de Mello pela coorientação e pelos conselhos e ensinamentos.

Ao professor Luis Manuel Navas Gracia, da Universidade de Valladolid-Espanha, que mesmo de longe pode me orientar ao longo do trabalho e também por aceitar em participar da banca de defesa desta dissertação.

À professora Adriana Corrêa Guimarães, da Universidade de Valladolid- Espanha, que aceitou o convite para fazer parte da banca de defesa desta dissertação.

Aos funcionários do Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), pela convivência e amizade construída durante este trabalho. Em especial ao Agostinho, Capelão, André, Júlinho e Priscila.

Ao abatedouro Viçosa, por ter fornecido parte das carcaças de frango para a montagem dos experimentos. Em especial ao Ernesto.

Aos Funcionários do Aviário Experimental, por fornecer a cama de frango.

Aos laboratoristas Simão e Brás, pelos ensinamentos e trabalhos prestados.
E para todas as pessoas que direta ou indiretamente fizeram parte da construção deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	vii
LISTA DE QUADROS.....	ix
RESUMO	x
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa.....	1
1.2 Objetivos	5
1.3 Objetivos específicos.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1 Definição de compostagem	6
2.2 Variáveis intervenientes no processo de Compostagem	7
2.2.1 Temperatura	7
2.2.2 Aeração	9
2.2.3 Conteúdo de água.....	10
2.2.4 Nutrientes	10
2.2.5 pH.....	12
2.2.6 Tamanho da partícula.....	13
2.3 Variantes do processo de compostagem.....	14
2.3.1 Compostagem em leiras com revolvimento mecânico.....	14
2.3.2 Compostagem em leira estática aerada (LEA).....	16
2.3.3 Compostagem em reatores	17
2.3.4 Composteira	19
2.4 Compostagem de carcaças de animais	21
2.5 Matéria orgânica e estabilização do material compostado	23
2.6 Qualidade do composto	24
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
3.1 Local do experimento	26
3.2 Construção do protótipo	27
3.3 Caracterização dos resíduos	31
3.4 Processo de tratamento	33

3.4.1	Sistema de carga e descarga dos resíduos no protótipo	35
3.4.2	Monitoramento dos experimentos.....	38
3.4.2.1	Amostragem	38
3.4.2.2	Análises	39
3.5	Experimentos.....	40
3.5.1	Experimento 1 – Avaliação da degradação de carcaças de frangos com taxa de aeração de 5 minutos a cada doze horas.....	41
3.5.2	Experimento 2 – Avaliação da degradação de carcaças de frangos com taxa de aeração de 5min a cada oito horas.....	42
3.5.3	Experimento 3 – Avaliação da degradação de carcaças de frangos com taxa de aeração de 5min a cada seis horas.....	43
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1	Construção protótipo	44
4.2	Caracterização dos resíduos	45
4.3	Processo de tratamento	47
4.3.1	Etapa no interior do biodigestor.....	47
4.3.2	Etapa no pátio de compostagem.....	47
4.3.3	Sistema de carga e descarga dos resíduos no biodigestor	48
4.4	Monitoramento dos experimentos	51
4.4.1	Taxas de aeração	51
4.4.2	Redução em peso dos materiais após etapa do biodigestor.....	52
4.4.3	Temperatura	52
4.4.4	Teor de água.....	59
4.4.5	pH.....	61
4.4.6	Teor de sólidos voláteis (SV).....	62
4.4.7	Relação C/N	63
4.4.8	Aspecto qualitativo do potencial fertilizante.....	65
4.4.9	Aspecto sanitário do processo de tratamento	67
5.	CONCLUSÕES	70
6.	REFERÊNCIAS	72

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Produção Brasileira de carne de frango.	2
Figura 2. Comparação esquemática dos métodos de compostagem	14
Figura 3. Vista do reator.....	19
Figura 4. Vista da composteira em perspectiva	19
Figura 5. Recomendações para formação das camadas de aves mortas para compostagem.	20
Figura 6. Local do experimento	26
Figura 7. Vista do local onde foi instalado o protótipo.....	27
Figura 8. Estrutura metálica do protótipo envolvida por material isolante.....	28
Figura 9. Vista frontal do protótipo.....	28
Figura 10. . Protótipo com as tubulações de PVC já inseridas	29
Figura 11. Vista interna do protótipo	29
Figura 12. Vista Lateral do ventilador conectado as tubulações do protótipo.	30
Figura 13. Vista frontal do ventilador conectado as tubulações do protótipo.....	30
Figura 14. Componente eletrônico controlador do sistema de aeração.	31
Figura 15. Montagem de pilhas de compostagem para fase de maturação.	35
Figura 16. Linha cronológica do tratamento das carcaças.	35
Figura 17. Esquema de Montagem dos experimentos.	36
Figura 18. Carga do Biodigestor.	36
Figura 19. Correção do teor de água.	37
Figura 20. Sistema de descarga do protótipo.	37
Figura 21. Sistema de descarga do protótipo.	38
Figura 22. . Termômetro com sondas termopar para medição de temperatura.....	40
Figura 23. Reviramento manual para correção do teor de água.....	42
Figura 24. Lanças de aeração sem vara de aço e com varas de aço.	45
Figura 25. Forma das pilhas de maturação dos três experimentos.....	48
Figura 26. Espaçamento entre as carcaças e as paredes do biodigestor.....	49
Figura 27. Redução da massa de resíduos dentro do biodigestor.	50
Figura 28. Presença de penas e ossos após a descarga dos resíduos do biodigestor.....	50
Figura 29. Material ao final do processo de maturação.	51
Figura 30. Monitoramento da temperatura no interior do biodigestor com taxa de aeração de 5min/12h.	53
Figura 31. Monitoramento da temperatura durante processo de maturação do Experimento 1.	54
Figura 32. Monitoramento da temperatura no interior do biodigestor com taxa de aeração de 5min/8h.	55
Figura 33. Monitoramento da temperatura durante processo de maturação do Experimento 2.	56

Figura 34. Monitoramento da temperatura dentro do biodigestor com taxa de aeração de 5min/6h.	57
Figura 35. Monitoramento da temperatura durante processo de maturação do Experimento 3	58
Figura 36. Monitoramento do teor de água durante todo o processo de compostagem..	59
Figura 37. Variação do pH ao longo do processo de compostagem.	61
Figura 38. Teores de SV durante os experimentos	62
Figura 39. Variação da relação C/N durante a compostagem.	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Relação C/N de alguns materiais baseados no COT e CFO.	12
Quadro 2. Degradabilidade de resíduos orgânicos em função da concentração de SV. .	23
Quadro 3. Caracterização dos resíduos antes do processo de compostagem.	46
Quadro 4. Análise qualitativa do composto final.	65
Quadro 5. Valores de CTC, COT e da relação CTC/COT ao final da maturação.	66
Quadro 6. Avaliação de organismos indicadores após Biodigestor e maturação.	68

RESUMO

GARDONI, Rafael Artur de Paiva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2013. **Estudo da biodegradação de carcaças de frango em biodigestor aeróbio descontínuo.** Orientadora: Mônica de Abreu Azevedo. Coorientadores: Jaime Wilson Vargas de Mello e Maria Lúcia Calijuri.

O Brasil é o terceiro maior produtor de carne de frango no mundo, chegando a uma produção de 13,058 milhões de toneladas de frango em 2011 com estimativas de grande crescimento para 2013. Baseando-se na mortalidade média de aves de 3,5% durante toda a fase de engorda, pode-se considerar a grande quantidade de carcaças que são descartadas durante a produção. O Brasil não possui legislação específica para o tratamento e disposição final para estes tipos de resíduos, fazendo-se necessário a adoção de sistemas que sejam sustentáveis do ponto de vista ambiental, econômico, e sociocultural. Com isso, a compostagem vem se destacando nas unidades produtoras, como um método muito eficiente e sem grandes custos para sua implantação e operação. A realização deste trabalho objetivou desenvolver e testar, para as condições brasileiras, um equipamento para realizar a compostagem em ambiente fechado de carcaças e cama de frango. Os experimentos foram conduzidos no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, do Departamento de Engenharia Civil, da Universidade Federal de Viçosa. Foi construído um protótipo para avaliar a degradação das carcaças, utilizando como substrato a cama de frango, palha, material de poda e composto maturado submetido a diferentes taxas de aeração. Foram utilizadas taxas de aeração de 5min/12horas, 5min/8horas e 5min/6horas para os experimentos 1, 2 e 3 respectivamente. Durante os experimentos foram realizadas análises de carbono, nitrogênio, relação C/N, pH, teor de água, sólidos voláteis, temperatura, microbiológicas, metais, nutrientes e capacidade de troca catiônica (CTC), para o monitoramento e avaliação do processo de compostagem. Os resultados mostraram uma eficiência de quase 100% para a degradação total das carcaças após um período de 49 dias no interior do Biodigestor. As temperaturas atingiram valores superiores a 70°C no interior do Biodigestor, sendo suficiente para sanitizar o material. O Biodigestor se mostrou eficiente em relação à higienização do local quanto ao controle da atração de vetores e ausência de odor desagradável, diferentemente dos outros métodos utilizados para o tratamento das carcaças de frango.

ABSTRACT

GARDONI, Rafael Artur de Paiva, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, august, 2013. **Study of biodegradation of chicken carcasses in aerobic digester discontinuous.** Adviser: Mônica de Abreu Azevedo. Co-Advisers: Jaime Wilson Vargas de Mello and Maria Lúcia Calijuri.

Brazil is the third largest producer of poultry meat in the world, reaching a production of 13.058 million tons of chicken in 2011 with estimates of strong growth for 2013. Based on the average mortality of 3.5% of chicken throughout the fattening stage, one can consider the large number of substrates that are discarded during production. Brazil has no specific legislation for the treatment and disposal for these waste types, making it necessary to adopt systems that are sustainable in terms of environmental, economic, and sociocultural. Thus, composting has been outstanding in producing units, as a very efficient method and no big costs for implementation and operation. This work aimed to develop and test, for Brazilian conditions, a device to make compost indoors carcasses and poultry litter. The experiments were conducted at the Laboratory of Sanitary and Environmental Engineering, Department of Civil Engineering, Federal University of Viçosa. It was built a prototype to evaluate the degradation of carcasses, using as substrate poultry litter, straw, pruning equipment and matured compost under different aeration rates. Aeration rates were used to 5min/12horas, and 5min/8horas 5min/6horas for experiments 1, 2 and 3 respectively. During the experiments were analyzed for carbon, nitrogen, C/N ratio, pH, moisture content, volatile solids, temperature, microbiological, metals, nutrients and cation exchange capacity (CEC) for the monitoring and evaluation of the composting process . The results showed an efficiency of almost 100% for the total degradation of carcasses after a period of 49 days within the digester. The temperatures reached values higher than 70 ° C inside the digester, is sufficient to sanitize the material. The digester is efficient in relation to the cleaning of the site regarding the control of vector attraction and no unpleasant odor, unlike the other methods used for the treatment of poultry carcasses.

1. INTRODUÇÃO

1.1 Justificativa

A produção mundial de carne de frango, segundo dados do United States Department of Agriculture (USDA), foi estimada em 81,137 milhões de toneladas, em 2011, sendo o Brasil o terceiro maior produtor, com 13,058 milhões de toneladas, precedido apenas pelos Estados Unidos e China, que ocupam primeiro e segundo lugar, respectivamente (UBABEF, 2012). A atividade apresenta papel expressivo na atual economia brasileira, gerando empregos diretos e indiretos.

Segundo dados da Pesquisa Trimestral do Abate de Animais, Produção de Leite, Couro e Ovos de Galinha, divulgada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), foram abatidos 1,306 bilhão de frangos no primeiro trimestre de 2011, tendo um aumento de 3,4% em relação ao primeiro trimestre de 2010. Tais dados demonstram a crescente produção de carne de frango nos últimos anos e, conseqüentemente, a crescente geração de resíduos. Estima-se uma produção média de 2,615Kg de esterco por ave, mais a cama de aviário, que representa aproximadamente 500g/ave (OLIVEIRA, 1996; DAGNALL et al., 2000, SORDI et al., 2004).

Os subprodutos da atividade humana têm constituído sérios problemas de poluição do meio ambiente, associada à escassez de recursos naturais. Ao lado do crescimento dos índices produtivos, cresce também a preocupação com os efeitos das criações intensivas de aves sobre o meio ambiente, principalmente no que diz respeito à geração e disposição dos resíduos produzidos (cama de frangos e carcaça de aves), considerando que a mortalidade média de aves é de 3,5% (PERDOMO, 2001).

Baseando-se na mortalidade média de aves de 3,5% durante toda a fase de engorda e considerando a produção brasileira de 13,058 milhões de toneladas de frango em 2011 e mundial de 81,137 milhões de toneladas no mesmo ano, pode-se considerar a grande quantidade de carcaças que devem ter sido descartadas durante este período de produção (UBABEF, 2012). NA Figura 1 é apresentada a produção brasileira de frangos nos últimos anos.

Produção Brasileira de Carne de Frango (milhões ton)
Brazilian Chicken Meat Production (million MT)

Fonte: UBABEF
Source: UBABEF

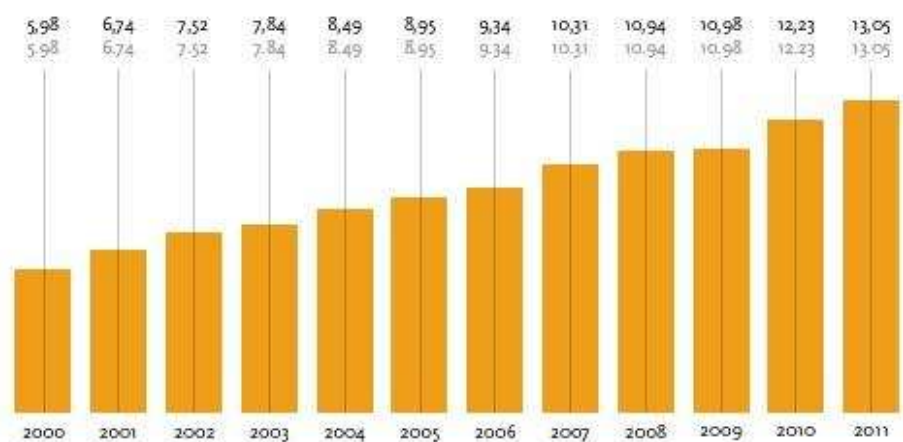


Figura 1. Produção Brasileira de carne de frango.

Acredita-se que a maioria das carcaças de aves tenha sido disposta de maneira inadequada, como em lixões, enterramento, valas, comprometendo assim o meio ambiente através da contaminação do solo e da água. Se as carcaças de aves resultantes da morte natural em níveis altos de produção não são eliminadas através de métodos ambientalmente adequados, a expansão da indústria no futuro será limitada por restrições e ou leis regulamentares. Os métodos para a eliminação de carcaças de aves incluem o enterramento, incineração, digestão anaeróbia e compostagem.

Os sistemas de tratamento por biodigestão anaeróbia e compostagem são particularmente apropriados para esses tipos de resíduos (carcaças e cama de frango), uma vez que atendem às suas particularidades, além de incrementar a economia racionalizando o uso dos recursos naturais, com redução no consumo de água e energia promovendo a reciclagem dos resíduos.

Segundo GRAVES et al. (2000), o método da composteira (“bin Method”) tem sido o método mais utilizado pelos granjeiros para o tratamento das carcaças, porém a qualidade sanitária do material tem se mostrado negligenciada por este método.

A composteira consiste numa construção de alvenaria onde ocorre o empilhamento de carcaças e cama de frango de modo que a aeração ocorra apenas de forma natural não havendo reviramento ou aeração forçada, sendo, portanto uma forma de tratamento não controlada. Mesmo assim, o método da composteira tem sido

empregada devido a falta de legislação ambiental específica no Brasil para o tratamento e disposição final para estes tipos de resíduos.

A escolha do método na maioria das vezes pode apresentar um menor custo, porém a preocupação não deve ser apenas com o custo, mas também com os possíveis problemas socioambientais e econômicos. Portanto se faz necessária a adoção de um sistema de tratamento de carcaças que seja ambientalmente correto, economicamente viável, culturalmente aceito, socialmente justo. Por isso, a compostagem vem se destacando nas unidades produtoras, como um método muito eficiente e sem grandes custos para sua implantação e condução.

A compostagem é um processo biológico de reciclagem de nutrientes, que se enquadra no tratamento das carcaças e cama de frango, podendo ser empregada desde que algumas condições sejam adaptadas para que as carcaças possam ser decompostas de maneira eficiente e segura, sem que haja disseminação de doenças, principalmente quando não se sabe a causa da mortalidade das aves. A compostagem é uma forma de tratamento relativamente barato e está ganhando ampla aceitação.

A Zona da Mata Norte Mineira é a quarta região produtora de carne de frango do Brasil. Segundo dados da Associação dos Avicultores da Zona da Mata (AVIZOM), a maior empresa que atua na região - Rio Branco Alimento S/A (PIF PAF), abate diariamente cerca de 180.000 frangos, o que significa uma produção diária de dejetos de 252 toneladas e 18 mil aves mortas o que corresponderia uma produção anual de 75.600 toneladas de dejetos e 6,48 milhões de carcaças de aves mortas, só na região da Zona da Mata Norte Mineira (PAIVA, 2008).

Os resíduos sólidos provenientes da criação de frangos (carcaças e cama de frango), na maioria das vezes são destinados de maneira inadequada. Estes resíduos sofrem decomposição, liberando gases tóxicos, como o gás metano, agravante do efeito estufa, e chorume, que é um líquido altamente poluente, que pode contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas. Associado a isso, a disposição inadequada de resíduos promove a proliferação de vetores e pode originar algumas doenças graves como a língua azul que acomete várias espécies de animais e não possui cura, a encefalopatia espongiforme bovina (“vaca louca”) e a gripe aviária, doenças muito presentes na mídia nacional e internacional devido aos sérios problemas que causam.

A legislação europeia (Regulamento CE n.º 1069/2009) recomenda a incineração como forma de destinação das carcaças. Entretanto, o processo de incineração gera subprodutos contaminantes e cancerígenos, além de onerar o gerenciamento dos resíduos pela necessidade de transporte das carcaças e manutenção das plantas de incineração. Além disso, a incineração gera gases que contribuem para o efeito estufa. Deve-se considerar ainda o alto custo de instalação, manutenção e operação dos incineradores, tornando o uso de biodigestores fechados descontínuos uma alternativa mais viável econômica e ambientalmente.

No Brasil, ainda não existe proibição quanto à disposição de carcaças em aterros sanitários, no entanto, após a Instrução Normativa Nº 8, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2004), a utilização e comercialização da cama de frango foram proibidos devido à propagação de doenças, como o botulismo e a “vaca louca”. Desta forma, o que antes era fonte de renda para os produtores passou a ser um problema de ordem econômica, social e ambiental, sendo agora necessário pagar para dispor os resíduos em aterros.

A pesquisa espera preencher esta lacuna propondo um sistema que alie baixo custo, eficiência e qualidade no tratamento com questões de segurança ambiental e sanitária.

O protótipo construído funciona como um biodigestor fechado descontínuo que irá acelerar o processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais, mais especificamente de carcaças de animais. O processo acontece em uma câmara fechada onde é colocado o material orgânico para decomposição, chamado de biodigestor.

Com o uso dos biodigestores, as carcaças, juntamente com a cama de frango, poderão ser transformadas em um composto orgânico com elevado potencial fertilizante, podendo ser comercializado ou utilizado nas próprias propriedades.

Portanto, com o desenvolvimento da tecnologia e a utilização destes biodigestores espera-se uma série de vantagens frente aos atuais mecanismos de disposição destes resíduos, entre eles:

- Promove adequada destinação para as carcaças e para a cama de frango;
- Diminui os custos de gerenciamento dos resíduos;

- Diminui os custos ambientais de transporte das carcaças até as plantas de incineração e aterros, uma vez que as carcaças são compostadas na própria propriedade onde são geradas;
- Permite que o produtor use o composto gerado no final do processo como adubo orgânico;
- Impede a proliferação de vetores;
- Diminui a proliferação de doenças entre granjas vizinhas por onde passam os caminhões que coletam os resíduos para levar à planta de incineração e aterros;
- Protegem o meio ambiente.

1.2 Objetivos

O objetivo principal deste estudo foi desenvolver e testar, para as condições brasileiras, um equipamento para realizar a compostagem em ambiente fechado de carcaças e cama de frango.

1.3 Objetivos específicos

- Operar os biodigestores simulando diferentes taxas de aeração;
- Identificar as melhores composições do material a ser biodegradado de forma a melhorar o desempenho do processo;
- Propor um método sanitário e economicamente eficiente para o tratamento de carcaças juntamente com a “cama de frango” visando a reutilização destes resíduos;
- Evitar problemas de saúde pública (proliferação vetores de doenças) e ambientais (contaminação de águas superficiais e solo por chorume, entre outros).
- Avaliar o tempo de 49 dias para a biodegradação no interior do biodigestor em função do período de engorda dos frangos.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Definição de compostagem

A compostagem é definida como uma oxidação biológica, aeróbia, exotérmica, caracterizada pela produção de gás carbônico, água e pela estabilização da matéria orgânica que, por meio de etapas sucessivas de alta complexidade, é transformada em um produto final de odor agradável, fácil manipulação, livre de organismos patogênicos e com alto valor para atividades agronômicas (SILVA et al., 2004, citado por CONCEIÇÃO, 2012).

No princípio, a compostagem era preparada sem nenhum conhecimento técnico. O fitopatologista inglês Albert Howard, desenvolveu na Índia uma técnica de fabricação de fertilizante que os nativos utilizavam de maneira empírica, de modo que essa técnica ficou conhecida no mundo inteiro como *Método Indore*, muito empregada em resíduos agrícolas (KIEHL, 1985).

A Compostagem é definida por Lima (2004), como ato ou ação de modificar os resíduos orgânicos, que através de processos físicos, químicos e biológicos, podem se transformar em uma matéria biogênica mais estável e resistente à ação das espécies consumidoras. A compostagem reduz o volume dos resíduos orgânicos e destrói agentes patogênicos se o processo é controlado corretamente (KEENER et al., 2000). A compostagem é resultado de um complexo processo bioquímico, no qual diversos grupos de organismo se sucedem em etapas de transformação de compostos orgânicos (ANDREOLI, 2001).

Apesar de caracterizar uma técnica milenar, não possui um conceito universalizado, podendo ser considerada um processo biológico, aeróbio ou anaeróbio, mesofílicos ou termofílicos, abertos ou realizados em sistemas fechados, de degradação de resíduos sólidos. Contudo, a compostagem é dita um processo aeróbio controlado de oxidação da matéria orgânica (FERNANDES & SILVA, 1999; RUSSO, 2003).

A compostagem, simplificada, caracteriza um processo de oxidação aeróbia exotérmica de um substrato orgânico, resultando na produção de CO₂, água e formação de matéria orgânica estável de odor agradável, fácil de manipular e livre de organismos patogênicos (SILVA et al., 2004; CONCEIÇÃO, 2012). De acordo com

estes autores, tal definição difere o processo de compostagem do processo de decomposição natural da matéria orgânica.

Segundo AZEVEDO (1993), o processo de compostagem é composto por duas etapas. A primeira etapa é a chamada fase de degradação ativa, onde ocorrem as reações bioquímicas de oxidação da matéria orgânica. A segunda etapa é a chamada fase de maturação, quando ocorrem as reações de humificação e a produção do composto orgânico propriamente dito.

A compostagem, por se tratar de um processo essencialmente biológico, está condicionada a todas as limitações relacionadas à atividade microbiana. Dentre os fatores que afetam a compostagem pode-se destacar a temperatura; o requerimento de oxigênio ou taxa de aeração; o conteúdo de água; os nutrientes; o tamanho da partícula e o pH. A temperatura e a taxa de oxigênio são os principais parâmetros para avaliar a atividade microbiana durante o processo de compostagem (PUYUELO et al. , 2010),

O sucesso de um sistema de compostagem com a obtenção de um produto final, estável e sanitariamente seguro, irá depender da observação dos princípios e limites de cada fator que afeta o processo (AZEVEDO, 1993).

2.2 Variáveis intervenientes no processo de Compostagem

2.2.1 Temperatura

O processo de degradação biológica que ocorre durante o processo da compostagem é exotérmico, elevando, consequentemente, a temperatura na massa de resíduos. Desta maneira a temperatura é um dos principais fatores de avaliação do desempenho do processo, refletindo a eficiência do mesmo (SILVA et al., 2004).

A compostagem pode ocorrer tanto em condições de temperatura termofílica, como mesofílica. A compostagem ocorre em etapas com diferentes faixas de temperatura. Uma primeira etapa mesofílica que é conduzida por microrganismos mesofílicos que degradam os componentes solúveis e rapidamente degradáveis, gerando calor e elevando a temperatura para valores em torno de 40 a 45 °C, num curto período. Ao se atingir temperaturas superiores à 45°C se inicia a segunda etapa, na qual os organismos termofílicos suprem os mesofílicos proporcionando a fase de máxima

decomposição dos compostos orgânicos, fase de degradação ativa, onde os produtos mais complexos como polissacarídeos, amido, celulose e proteínas são convertidos em subprodutos mais simples (CONCEIÇÃO, 2012).

Durante a fase termofílica, a temperatura tende a assumir valores elevados devido ao acúmulo de calor produzido pela atividade dos microrganismos, sendo que deve-se manter o valor entre 55 e 65 °C, pois temperaturas acima de 70 °C mantidas por um longo período, apesar de sanitizar o material, restringem o número de microrganismos decompositores, podendo causar insobilização de proteínas hidrossolúveis e desprendimento de amônia (KIEHL, 2004; VALENTE, 2009).

Por fim, quando as fontes de carbono de mais fácil degradação são exauridas do sistema, a temperatura decresce tendendo se igualar à do ambiente, atingindo novamente faixas mesofílicas pelo restabelecimento das comunidades mesofílicas, na qual irão atuar no processo de humificação do material por meio de degradação dos compostos mais resistentes como a hemicelulose e lignina (CONCEIÇÃO, 2012).

Cabe aqui ressaltar a pouca probabilidade de se atingir temperaturas termófilas nos processos anaeróbios de compostagem, podendo ocorrer de acordo com as dimensões adotadas para montagem das leiras ou pilhas de compostagem. Em experiências realizadas com compostagem anaeróbia, não se conseguiu passar da faixa de temperaturas mesófilas (RUSSO, 2003).

A temperatura mínima a ser alcançada na compostagem de animais mortos dever ser de 54 °C, sendo a ótima 60 °C e a máxima 71 °C, de modo que elimine os organismos patogênicos e garanta maior diversidade da microbiota responsável pela oxidação da matéria orgânica (HENRY, 2003).

O controle da faixa ideal de temperatura é realizado através do revolvimento do material, aeração e/ou por meio da correção do teor de água. Fatores estruturais, como a configuração geométrica das leiras/pilhas também podem auxiliar no processo de controle da temperatura (BIDONE & POVINELLI, 1999, ANDREOLI, 2001;). Alguns autores citam que a faixa ideal de temperatura no processo de compostagem esteja entre 55° e 65°.

A temperatura é um parâmetro de fácil aferição, que reflete o equilíbrio biológico e a eficiência do processo, onde valores entre 40 e 60°C já no segundo ou terceiro dia de compostagem, demonstram o alcance de um ecossistema equilibrado

(CONCEIÇÃO, 2012). Ainda segundo o autor, o composto será considerado maturado, quando a temperatura do material atingir temperatura próxima à do ambiente, desde que verifique nenhum outro fator interveniente do processo esteja afetando de forma negativa a atividade biológica. Lembrando que a avaliação da maturidade do composto é um desafio devido à complexidade do processo de compostagem.

2.2.2 Aeração

Sendo o processo aeróbio é de fundamental importância a disponibilidade de oxigênio para os microrganismos presentes na massa de resíduos. Tal objetivo pode ser atendido por meio da aeração, que pode ocorrer por revolvimento manual ou por meios mecânicos ou com insuflamento de ar (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Durante o processo de degradação, o dióxido de carbono aumenta, enquanto o oxigênio diminui, favorecendo a proliferação de organismo anaeróbios, que não caracterizam a compostagem moderna. O processo de anaerobiose diminui a velocidade da degradação e proporciona emissão de maus odores.

O fornecimento de ar em sistemas de compostagem com aeração forçada proporciona o controle de temperaturas e o conteúdo de água na massa de resíduos e reflete diretamente no desenvolvimento da biomassa e eficiência do processo (PAIVA, 2011). Segundo DIAZ et al. (2002), citado por PAIVA (2011), a aeração é a variável mais importante dentre os fatores que intervêm no processo de compostagem.

Segundo HAUG (1986), citado por GRAVES et al. (2000) e PAIVA (2008), o fornecimento de ar no processo de compostagem deve satisfazer três requerimentos:

- Demanda de oxigênio para decomposição aeróbia;
- Remoção de água para facilitar a secagem do material;
- Remoção do calor produzido durante a decomposição, possibilitando-se o controle da temperatura do material em processamento e, com isso, impedir a inativação microbiana.

Ainda de acordo com HAUG (1986), a massa de resíduo a ser compostada deve ter oxigênio suficiente para que os microrganismos decomponham a matéria orgânica. Porém, a aeração é uma variável difícil de ser imposta devido à heterogeneidade dos resíduos.

2.2.3 Conteúdo de água

A fim de garantir a eficiência do processo, é fundamental a disponibilidade de água para os organismos envolvidos, pois é a água que promove o transporte de nutrientes dissolvidos, que são necessários para as atividades físicas e metabólicas. Porém elevados valores de umidade levam a condições de anaerobiose. O equilíbrio água-ar é obtido mantendo-se o material com um teor de umidade da ordem de 55% (BIDONE & POVINELLI, 1999, FIALHO, 2007; SILVA et al., 2004; RUSSO, 2003).

O teor de água é fundamental para a manutenção da vida microbiana, se tornando um parâmetro que deve ser rigorosamente acompanhado durante todo o processo de compostagem. Valores ótimos recomendados encontram-se entre 40 e 60% de teor de água (INÁCIO & MILLER, 2009, citado por CONCEIÇÃO, 2012).

O teor de água necessária para a compostagem de carcaças de animais depende das características dos materiais, ou seja, depende do tipo e tamanho das carcaças a serem compostadas (HENRY, 2003). Ainda segundo o autor na compostagem de carcaças de animais o conteúdo ideal de água situa-se entre 40 e 60%.

Valores superiores a 65% podem tornar o ambiente anaeróbico devido a ocupação dos espaços vazios pela água prejudicando a circulação do oxigênio, pois a matéria orgânica degradada é hidrófila fazendo com que as moléculas de água fiquem aderidas à sua superfície ocupando os macroporos da massa de resíduos (VALENTE, 2009). Valores inferiores a 40% inibem a atividade microbiana e consequentemente aumentam o período de compostagem. Portanto, o teor de água depende tanto da eficácia da aeração como também da estrutura e porosidade dos resíduos (CONCEIÇÃO, 2012).

2.2.4 Nutrientes

A relação Carbono/Nitrogênio (C/N) decorre da própria definição de compostagem, os nutrientes, principalmente o carbono e o nitrogênio, são fundamentais para o processo biológico. O crescimento microbiano demanda carbono, com fonte de energia, e nitrogênio, para a síntese de proteínas (VALENTE, 2009).

A relação C/N (peso em peso) ideal para a compostagem aeróbia é considerada como 30:1. Estima-se que dois terços do carbono são utilizados para obtenção de energia, sendo posteriormente liberados como dióxido de carbono, e o outro terço, juntamente com o nitrogênio, são utilizados para a constituição do protoplasma microbiano (ESALPL, 2011).

Em situações de deficiência de nitrogênio, o processo ocorrerá lentamente ou pode até cessar. Já, maiores concentrações de nitrogênio, acarretarão na produção e eliminação para a atmosfera de amônia, até o estabelecimento dos níveis adequados (BIDONE & POVINELLI, 1999).

A relação adequada desses nutrientes determina a velocidade da decomposição, a elevação da temperatura e a perda de nitrogênio por volatilização (PAIVA, 2008). Uma alta relação C/N pode causar a diminuição da atividade microbiana, sendo refletida pelos baixos valores de temperatura e por um período mais longo de compostagem. Já a compostagem com baixa relação C/N, pode provocar a eliminação do excesso de nitrogênio pela volatilização da amônia, principalmente, quando combinada com altos valores de pH e temperatura (AZEVEDO, 1993, citado por PAIVA, 2008).

Segundo PAIVA (2011), a faixa recomendada da relação C/N para resíduos orgânicos convencionais seria entre 25 a 40:1, sendo mais usual a relação em torno de 30:1. Ainda segundo o autor, para resíduos que envolvem carcaças de animais essa relação situa-se na faixa de 10 a 20:1, devido ao fato das carcaças apresentarem grandes concentrações de nitrogênio em relação aos demais resíduos e, portanto baixa relação C/N.

Para GRAVES et al (2000) devido às particularidades na compostagem de carcaças de animais a relação C/N inicial deve estar entre 13 e 15:1. Já para HENRY (2003), tal relação deve estar entre 10 e 20:1.

O carbono pode ser determinado pelo método da combustão, carbono orgânico total (COT), ou pelo método do dicromato, carbono facilmente oxidável ou compostável (CFO), podendo apresentar algumas variações de acordo com o método utilizado para sua determinação. No Quadro 1 são apresentados alguns valores da relação C/N para alguns materiais que são usualmente utilizados na compostagem (PAIVA, 2011).

Material orgânico	Relação C/N	
	CFO/N	COT/N
Resíduos de alimentos	12,4 / 1	15,6 / 1
Papéis misturados	143,1 / 1	227,1 / 1
Carcças de frango	5,6 / 1	8 / 1
Cama de frango	9,1 / 1	18 / 1
Palha de café	20,6 / 1	39 / 1
Bagaço de cana-de-açúcar	117 / 1	167 / 1

Quadro 1. Relação C/N de alguns materiais baseados no COT e CFO.

Fonte: Paiva (2011).

Ao final do processo de compostagem, a relação C/N converge para valores entre 10 e 20, sendo tal convergência um fator indicativo da qualidade do composto final (CONCEIÇÃO, 2012).

2.2.5 pH

O pH, assim como os outros fatores citados, é limitante da atividade biológica, porém, sendo a compostagem um processo realizado por diferentes tipos de organismos, resíduos sólidos com pH variando de 3 a 11 podem ser compostados. Fungos se desenvolvem melhor em ambientes ácidos, bactérias, em ambientes neutros. Porém, por esse motivo, resíduos com pH próximo da neutralidade são considerados melhores (RUSSO, 2003).

Em termos práticos, o pH dificilmente pode ser alterado por fatores operacionais, o que não se caracteriza como um problema do processo, uma vez que tal parâmetro é auto regulado durante a compostagem (PEREIRA NETO, 1996).

A faixa de pH considerada ótima para o início do processo de compostagem se encontra no intervalo de 5,5 a 8,5, devido ao fato da maioria das enzimas encontrarem-se ativas nessa faixa (SPADOTTO & RIBEIRO, 2006).

Na fase de degradação ativa o meio se torna mais ácido devido à formação de ácidos orgânicos assumindo valores entre 5,5 a 6,0. Os ácidos então formados reagem com as bases liberadas da matéria orgânica produzindo compostos mais alcalinos. Há também a formação de ácidos húmicos que reagindo com elementos químicos básicos formam humatos alcalinos. Com isso, o pH aumenta rapidamente atingindo valores entre 7,5 e 9,0 (KIEHL, 2004, citado por CONCEIÇÃO, 2012).

Condições ácidas são prejudiciais aos microrganismos aeróbios reduzindo a velocidade da compostagem (GRAVES et al., 2000, citado por PAIVA, 2008). Para a maioria dos microrganismos, a faixa ótima de pH está entre 6 e 8,0, o que facilita a ação microbiana e aumenta a velocidade de degradação. Ao final do processo de compostagem, o composto formado tende a apresentar pH na faixa alcalina entre valores de 7,5 a 9,0 (PEREIRA NETO, 2004).

2.2.6 Tamanho da partícula

A dimensão das partículas se torna um fator importante uma vez que a degradação da matéria orgânica sofre interferência da superfície específica do resíduo. Quanto menor o tamanho das partículas maior será a área superficial de contato com os microrganismos, aumentando assim a taxa das reações bioquímicas (CONCEIÇÃO, 2012).

O tamanho das partículas interfere no processo de compostagem, uma vez que partículas muito finas dificultam a aeração devido à compactação do material, dificultando a difusão do oxigênio, a distribuição dos microrganismos e podendo promover zonas anaeróbias devido ao acúmulo de água. Já partículas de maiores dimensões, acarretarão em um processo de oxidação mais lento, uma vez que possuem menor área exposta ao ataque por microrganismos.

Sendo assim, a granulometria das partículas influencia em diversos parâmetros da compostagem, como oxigenação, umidade e temperatura (RUSSO, 2003).

2.3 Variantes do processo de compostagem

A maior diferença entre os processos de compostagem está no processo de aeração, que pode dividir a compostagem em três tipos: compostagem em leiras com revolvimento mecânico (sistema “windrow”), compostagem em leiras estáticas aeradas e compostagem em reatores biológicos.

A seleção do método a ser utilizado depende de fatores como a natureza do resíduo, a localização da unidade de processamento e os recursos financeiros disponíveis. Sistemas com elevado índice de mecanização requerem maiores investimentos, resultando em melhores condições de controle e maiores taxas de oxidação, demandando menores áreas. Uma comparação entre os métodos pode ser verificada na Figura 2.

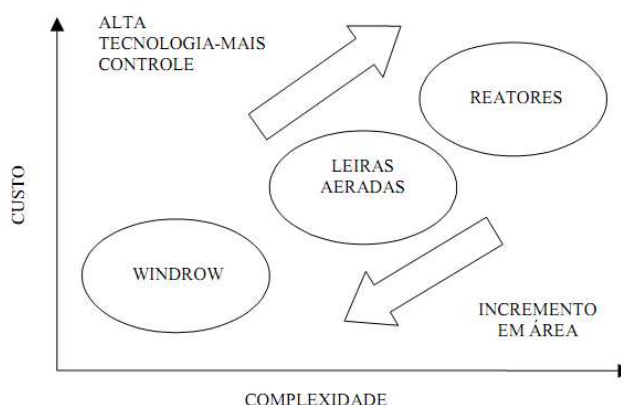


Figura 2. Comparação esquemática dos métodos de compostagem
(Fonte: Shaub e Leonard, 1996 apud Reis, 2005)

2.3.1 Compostagem em leiras com revolvimento mecânico

A mistura e aeração dos resíduos orgânicos no sistema “windrow” é realizada através de revolvimentos realizados por equipamentos mecânicos (ANDREOLI, 2001).

Durante o processo de compostagem, dependendo do tipo de resíduo, as leiras devem ser revolvidas no mínimo três vezes por semana para atender os seguintes objetivos (FERNANDES & SILVA, 1999):

- Aerar a massa de resíduos, aumentando a porosidade do meio;
- Homogeneizar a mistura;

- Expor camadas externas às temperaturas mais elevadas do interior da leira;
- Reduzir a granulometria dos resíduos;
- Controlar o teor de umidade dos resíduos;
- Controlar a temperatura do processo.

Para compostagem de carcaças de animais algumas particularidades devem ser contempladas no processo Windrow. Em sua revisão de literatura, PAIVA (2008) transcreve alguns critérios sugeridos por MUKHTAR et al. (2004), na qual estão apresentados abaixo:

- A leira deverá ser construída sobre piso impermeável e, caso não se tenha um local nessas condições, antes da construção da leira propriamente dita, deverá ser feita a impermeabilização do piso que poderá ocorrer por meio da compactação do piso com pó de pedra;
- Em seguida, esse piso impermeável deverá receber uma camada de material de co-compostagem (maravalha, pó de serra, cama de frango velha seca, palha, ou outro material similar.), com espessura variando de 30 cm (para animais pequenos (com menos de 23 kg), como frangos), 45 cm (para animais médios (com massa entre 23 a 114 kg), como suínos) e 60 cm (para animais grandes (com massa entre 114 a 227 kg), como suínos adultos e muito grandes (com massa superior a 227 kg), como cavalos ou bois);
- Sobre a camada anterior deve-se colocar uma camada de material estruturante. Esse material apresenta porosidade alta, é resistente à compactação com a finalidade de absorver os líquidos provenientes da decomposição das carcaças e manter a porosidade adequada na massa de compostagem. Esse material pode ser uma cama nova (palha de café, palha de arroz, ou similar.) e sua espessura varia de 15 cm, quando a compostagem for para animais pequenos e 30 cm, para todos os outros;
- Sobre a camada anterior, é colocado, então, uma camada de carcaça de animais, espaçados uniformemente sobre ela, e sobre essa camada é colocada outra camada de material de co-compostagem com 30 cm de espessura;

- Coloca-se, então, outra camada de carcaças e, novamente, outra camada de material de co-compostagem e assim sucessivamente até que se atinja uma altura de 1,8 m, quando da compostagem de animais pequenos e médios;
- Finalmente, deve-se cobrir a leira com uma camada de material estruturante (fonte de carbono), que funcionará como um biofiltro.

Segundo PAIVA (2011), o sistema Windrow é o mais indicado para tratar pequenas quantidades de resíduos orgânicos em virtude da intensa demanda de mão de obra, área disponível para efetuar os reviramentos e baixa produtividade.

O processo possui como desvantagem a geração de maus odores no início do processo, principalmente durante os reviramentos. O que pode ser mitigado pelo aumento da frequência dos reviramentos, evitando a anaerobiose (FERNANDES & SILVA, 1999).

2.3.2 Compostagem em leira estática aerada (LEA)

A leira estática aerada difere da compostagem natural, pelo fato de não sofrer nenhum revolvimento. O processo consiste em colocar no piso do pátio de compostagem uma tubulação plástica perfurada e ligada a um exaustor. Sobre esta tubulação, dispõe-se uma camada de madeira triturada, material que servirá de leito filtrante para o lixiviado e também facilitará a passagem do ar na leira. O ar pode ser insuflado ou aspirado através dos orifícios da tubulação. No final da montagem recobre-se a leira com uma camada fina de composto pronto, diminuindo a eliminação de odores (KIEHL, 1998, FERNANDES & SILVA, 1999, apud REIS, 2005).

A quantidade de oxigênio demandada varia em função de fatores como estágio do processo, tipo de resíduo, tamanho da partícula e umidade do substrato. Para fins de dimensionamento de equipamentos eletro-mecânicos de insuflamento de ar nas leiras de compostagem, são recomendados 0,3 a 0,6 m³ de ar por quilograma de sólidos voláteis por dia (BIDONE & POVINELLI, 1999).

Segundo GRAVES et al. (2000), citado por PAIVA (2008), na maioria das instalações agrícolas não se utiliza a compostagem de carcaça de animais por aeração forçada, comprometendo a falta de conhecimentos e estudos a respeito das variáveis de

projeto dos sistemas de LEA para tal finalidade, diferentemente dos lodos de esgoto e outros resíduos orgânicos.

2.3.3 Compostagem em reatores

A compostagem realizada em reatores biológicos é um processo com sistema fechado, onde todos os parâmetros intervenientes do processo podem ser controlados.

O processo possui vantagens, como o período reduzido da etapa termofílica que, devido ao controle das condições operacionais, possui um tempo médio de detenção dos sólidos no reator biológico variando de 7 a 20 dias, dependendo das características dos resíduos e do tipo de equipamento. E, uma vez que o sistema é fechado, evita a eliminação de maus odores (FERNANDES & SILVA, 1999).

Os reatores biológicos podem variar quanto ao fluxo em (REIS, 2005):

- Reatores de fluxo vertical: sistemas semelhantes a silos verticais, nos quais os resíduos entram pela parte superior e percorrem o reator no sentido descendente. O ar pode ser injetado em vários níveis ou apenas na parte inferior do reator;
- Reatores de fluxo horizontal: geralmente construídos em forma cilíndrica e dispostos horizontalmente. Os resíduos entram por uma extremidade e saem pela outra, com tempo de detenção suficiente para realização da etapa termofílica.
- Reatores de batelada: difere dos outros reatores, pois o reator recebe uma determinada quantidade de resíduos, processa-os, e quando a etapa termofílica chega ao final, o reator é aberto, descarregado todo material já tratado.

PAIVA (2011) relatou em sua revisão bibliográfica experimentos desenvolvidos por HAYWOOD (2003) citado por MUKHTAR et al. (2004), usando reator fechado aerado para a compostagem de carcaça de aves, sendo que este apresentou dificuldades em compostar carcaças de tamanhos maiores. O autor relatou que foram observados nos produtos finais pedaços de carcaças podres remanescentes, sendo que estes resultados foram atribuídos às condições anaeróbias dentro do reator em virtude da distribuição

desuniforme de ar dentro do reator apresentando em certos pontos uma mistura não homogênea dos materiais a serem degradados.

Trabalhos utilizando reatores para a eliminação de carcaças de aves vêm sendo realizados na união europeia, conseguindo avanços importantes em relação à biossegurança para estes resíduos perigosos.

Um grupo de pesquisadores da Universidad de Valladolid - Campus de Palencia – estão desenvolvendo uma tecnologia para compostar aves mortas em biodigestores fechados descontínuos (SELECCIONES AVÍCOLAS, 2010). Este equipamento está sendo desenvolvida para eliminação de qualquer resíduo orgânico gerado nas granjas, como carcaças, cama de frango, casca de ovos, entre outros. É uma alternativa para a disposição dos resíduos no próprio local, onde estes foram gerados, sendo que atualmente os proprietários das granjas precisam contratar empresas para o recolhimento e tratamento das carcaças, seguindo normas impostas pelo regulamento da união europeia, implicando em outros problemas, pois o custo do serviço é caro e não proporciona biossegurança na disposição dos resíduos.

O biodigestor proposto pelo grupo de pesquisadores funciona da seguinte maneira: o biodigestor é aberto por uma tampa localizada em sua parte superior que permite com que o grangeiro insira os resíduos orgânicos com o auxílio de um trator. Após a introdução dos resíduos é feita a correção do teor de água e fecha-se o biodigestor. No interior do biodigestor cria-se uma atmosfera especial com o aumento significativo da temperatura atingindo valores próximos à 70° C. Quanto maior a temperatura, melhor será o processo, pois estes elevados valores de temperatura asseguram a biossegurança do sistema, eliminando os agentes patogênicos que poderiam conter no material de partida. Por isso é muito importante o controle da temperatura ao longo do processo, compreendendo-a entre 55 e 70°C. Para isto utiliza-se um mecanismo de insuflação de ar que auxilia no controle da temperatura, bem como na emanção de odores. Uma outra vantagem deste sistema é a automatização do processo, sendo que o grangeiro só terá que se preocupar com o enchimento e a descarga dos resíduos (SELECCIONES AVÍCOLAS, 2010).

Ainda de acordo com os experimentos, em se tratando da biossegurança do sistema, a equipe realizou várias análises microbiológicas, semanalmente, afim de garantir a ausência de organismos patógenos. O reator é apresentado na Figura 3.



Figura 3. Vista do reator.

Fonte: SELECCIONES AVÍCOLAS (2010).

2.3.4 Composteira

Alguns estudos já vêm sendo executados em relação da utilização da compostagem como forma de tratamento para carcaças de aves. Conduzida corretamente, a compostagem não causa poluição do ar ou das águas, permite manejo para evitar a formação de odores, destrói agentes causadores de doença, fornece como produto final um composto orgânico que pode ser utilizado no solo, portanto recicla nutriente e apresenta custos competitivos com qualquer outro sistema de destinação de carcaças, que busquem resultados e eficiência. Segundo PEDROSO-DE-PAIVA (2002), a composteira é uma forma de tratar as carcaças de aves, sendo esta caracterizada por uma construção de estrutura com câmaras de 2x2m de área (máximo para manejo manual), com paredes elevadas até 1,60m de altura e telhado de abas largas a 2 ou 2,5m de altura, facilita o manejo dos resíduos no seu interior, conforme apresentado na Figura 4.

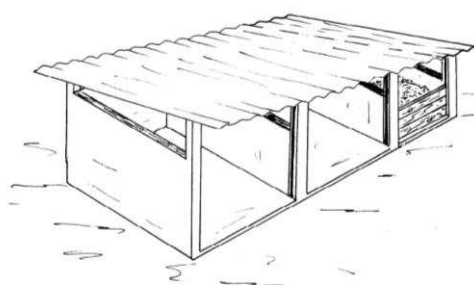


Figura 4. Vista da composteira em perspectiva

Fonte: PEDROSO-DE-PAIVA (2002)

A parte superior deve ser aberta, protegida ou não por tela de aviário, permitindo total ventilação. Essa estrutura simples deve garantir que a pilha feita com as carcaças e o material aerador possa ser formada com facilidade, ficando protegida da chuva e da ação de animais (carnívoros e roedores).

A composteira é destinada ao uso na mortalidade normal que ocorre em uma criação. Não serve para mortalidade catastrófica, resultante de calor excessivo, problemas com instalações, perdas por doenças, etc. A Figura 5 mostra como deve ser realizada a montagem da composteira, sendo que o processo de compostagem é feito em camadas de cama de aviário (esterco), carcaças de animais e uma palha ou resíduo vegetal.

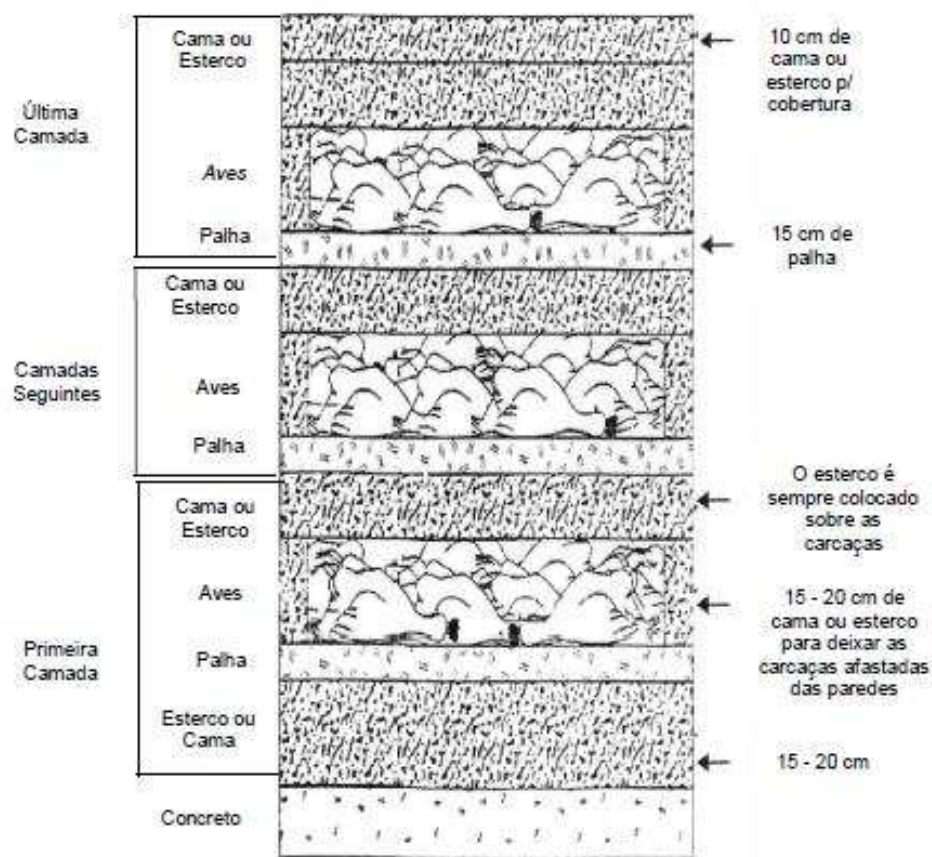


Figura 5. Recomendações para formação das camadas de aves mortas para compostagem.

Fonte: Paiva (2008).

2.4 Compostagem de carcaças de animais

O processo de compostagem é uma tecnologia disponível ao tratamento das carcaças de animais com vistas a seu reaproveitamento como adubo no solo. Contudo, há a necessidade do desenvolvimento de uma metodologia que incorpore os benefícios das técnicas de compostagem às necessidades de impedir o contato com o ser humano, evitando a proliferação de doenças, assim como a mitigação dos impactos ambientais associados ao tratamento.

Segundo definição da Environment Protection Agency- EPA (1999), as carcaças devem ser acondicionadas em camadas entre materiais palhosos ou esterco afim de equilibrar as necessidades de nutricionais dos microrganismos, possibilitando a decomposição natural e a redução em massa.

A compostagem tem mostrado ser um método de baixo custo para o método de processamento de animais fazendo descarte de carcaças em terra. Embora a compostagem não faça eliminação de animais mortos, o processo biológico transforma esses animais em adubo valioso. A compostagem reduz o volume dos resíduos orgânicos e destrói agentes patogênicos se o processo é controlado corretamente (KEENER et al., 2000). Compostagem de aves mortas, animais, matadouros e outros resíduos de incubatório, em condições de clima temperado têm sido relatados (MURPHY, 1988, MCCASKEY, 1994, BLAKE et al. 1996 , LAWSON & KEELING, 1999). Compostagem é um método econômico e ambientalmente correto de destino dos animais mortos por permitir a reciclagem desses resíduos orgânicos, exigindo menor uso de mão de obra, quando comparado a alguns dos outros métodos, embora necessite de critérios rígidos para sua execução, mas é uma alternativa viável para o criador.

GRAVES et al. (2000) considera a compostagem de carcaças a técnica de tratamento de custo e tecnologia mais acessível aos produtores de aves. Na compostagem, propriamente dita, está implícita a aeração do material, seja por reviramento denominado (windrow method) ou por aeração forçada (reatores ou leiras estáticas aeradas). O método da composteira, que é uma variante aos processos de compostagem difere dos anteriores conceitualmente, pois contempla uma fase onde não se promove a aeração do material, nem por reviramento e nem a aeração forçada.

Como resultado da intensa oxidação da matéria orgânica pelos microorganismos ocorrerá liberação de elementos químicos, tais como: nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio e magnésio, forma orgânica, dita imobilizada, que passam para a forma inorgânica, dita mineralizada, disponível às plantas (KIEHL, 1985). É possível que esses materiais possam substituir, ainda que parcialmente, os fertilizantes minerais, desempenhando importante papel na produção agrícola e na manutenção da fertilidade do solo (NASCIMENTO et al., 2004).

De acordo com PAIVA (2011) a compostagem de animais mortos apresenta mais de um estágio de degradação ativa, se diferenciando da compostagem de outros resíduos orgânicos. Ainda segundo o autor, o processo se apresenta um pequeno período de degradação anaeróbia. Segundo KEENER et al. (2000) e BAGLEY (2002), citados por MUKHTAR et al. (2004) e PAIVA (2011), o processo de compostagem de carcaças se desenvolve da seguinte maneira:

- No início do primeiro estágio, no entorno das carcaças, o processo de degradação é anaeróbio;
- Depois disso, os líquidos e gases formados, se movem em direção à zona aeróbia, formada pelo material de co-compostagem que está no entorno das carcaças;
- Os gases e líquidos são, então, capturados pelos microrganismos presentes nessa massa de material e convertidos a dióxido de carbono e água;
- O material do entorno das carcaças é fonte de carbono e de bactérias, além de funcionarem como filtro biológico (biofiltro) para o sistema.

Ainda segundo PAIVA (2008), as carcaças de animais funcionam como fonte de nitrogênio, enquanto que o material no entorno como palha e cama de frango funciona como fonte de carbono. Em função da atividade microbiana tem-se como produto final um material estável e relativamente homogêneo, sendo este constituído por uma biomassa bacteriana e ácidos húmicos.

Segundo MUKHTAR et al. (2004), citado por PAIVA (2008), alguns autores acreditam que a aplicação no solo do composto formado pela compostagem de carcaças são compatíveis aos resíduos oriundos da compostagem de resíduos sólidos urbanos e agrícolas e também do lodo de esgoto.

Segundo relatado pela USEPA (2006) citado por PAIVA (2008), a compostagem se mostra satisfatória ao combate de epidemias de gripe aviária. Um vírus de alta patogenicidade, como o H5N2, pode ser inativado em três horas, exposto a temperatura de 55 °C, ou em meia hora, a 60 °C, contemplando as faixas de temperatura ótima em que o processo de compostagem ocorre.

2.5 Matéria orgânica e estabilização do material compostado

Segundo PAIVA (2011), durante o processo de compostagem o material orgânico tem sido determinado de forma indireta através da quantificação dos sólidos voláteis (SV) nas amostras analisadas. Tal quantificação é feita através da queima de uma amostra previamente seca em estufa e levada à mufla por 2 horas à 550°C. No Quadro 2 é apresentado a degradabilidade de alguns resíduos utilizados na compostagem, baseados na concentração de SV.

Material	Degradabilidade (% SV)
Fração orgânica de resíduos sólidos urbanos	43 a 54
Restos de jardim	66
Esterco de galinha	68
Esterco de boi	28
Lixo doméstico	66
Cama de frango	57
Carcaça de frango	90
Palha de café	76
Bagaço de cana-de-açúcar	94

Quadro 2. Degradabilidade de resíduos orgânicos em função da concentração de SV.

Fonte: Paiva (2011).

Ainda de acordo com o autor, a determinação da biodegradabilidade a partir dos SV não é precisa, já que alguns elementos que não volatilizam à 550°C podem ser degradáveis por microrganismos. Outras variáveis podem ser utilizadas para o

acompanhamento do processo de degradação da matéria orgânica ao longo do processo de compostagem como também aferir sobre a estabilização do material compostado. A capacidade de troca catiônica (CTC) e a relação CTC/COT se correlacionam ao grau de estabilização e humificação do material orgânico (PAIVA, 2011).

A CTC é responsável pela retenção de cátions disponibilizados no meio, favorecendo a nutrição mineral das plantas. Em resíduos orgânicos o valor da CTC aumenta de acordo com a decomposição do material, sendo portanto considerada uma excelente forma de avaliar, monitorar e comprovar a maturação dos resíduos (MATOS, 2006 a).

A CTC de um adubo orgânico pode variar de 100 a 300 cmolc kg⁻¹ (PEREIRA NETO, 2007). Já para a matéria orgânica humificada, a CTC pode sofrer interferência em função da elevação do pH, podendo atingir valores entre 200 a 400 cmolc.kg⁻¹, sendo que tal interferência pode ser denominada como cargas dependente de pH (MATOS, 2006b apud PAIVA, 2011).

A relação CTC/COT é um indicativo das condições de maturação do composto. Quando esta relação apresenta valores acima de 1,7 o material se apresenta com bom índice de humificação, indicando que o composto está pronto para ser utilizado (HARADA & INOKO, 1980, citado por PAIVA, 2008).

Segundo alguns autores, a relação CTC/COT é mais confiável que a relação C/N, pois a relação C/N pode ser afetada por uma maior presença de nitrogênio amoniacal, fato comum em casos de esterco de galinha ou lodos ativados.

2.6 Qualidade do composto

O composto propriamente dito, formado no final do processo de compostagem é definido em função de suas características físicas, químicas e biológicas. A determinação da qualidade do composto varia de acordo com o objetivo final (GRAVES et al., 2000).

Segundo MUKHTAR et al. (2004), citado por PAIVA (2008), o composto produzido por meio da compostagem de carcaças de animais apresenta em sua composição alguns nutrientes como o nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S), manganês (Mn), zinco (Zn) e cobre (Cu).

Provavelmente estes nutrientes são encontrados em função da alimentação disponibilizada durante a fase de engorda dos animais.

A CTC é outra variável para qualificar o composto, pois esta capacidade de trocar ou adsorver cátions é responsável pela retenção de nutrientes, que pode favorecer a absorção destes pelas plantas, pela estabilização do pH (efeito tampão), pela fixação (quelação ou complexação) de metais pesados (MATOS 2006a; PEREIRA NETO, 2007, apud PAIVA, 2008).

Segundo KIEHL (1998), citado por MATOS (2006b), um bom composto deverá apresentar CTC de 60 a 80 cmolc.dm^{-3} . A CTC está diretamente ligada à fertilidade de um solo, sendo que maiores valores de CTC indicam maior fertilidade (PAIVA, 2008).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Local do experimento

Os experimentos foram conduzidos, no período de outubro de 2011 a maio de 2013, no Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA), pertencente ao Departamento de Engenharia Civil (DEC) da Universidade Federal de Viçosa (UFV). O município de Viçosa localiza-se na Zona da Mata Norte Mineira, cujas coordenadas geográficas são 20° 45' 20'' S de latitude, 42° 52' 40'' O de longitude e com altitude média de 649 metros. O clima é do subtipo Cwb, mesotérmico, com verões brandos, estações chuvosas no verão e invernos secos, de acordo com a classificação Köpen (GOLFARI, 1975, apud CONCEIÇÃO, 2012).

O LESA possui uma área construída de aproximadamente 375m² e conta com dois laboratórios para análises físico-químicas e bacteriológicas de resíduos sólidos.

Para o andamento dos experimentos foi utilizado o pátio de compostagem do LESA e construído um galpão para que fosse instalado um protótipo do biodigestor. Na Figura 6 é apresentado o espaço utilizado para o desenvolvimento do experimento.

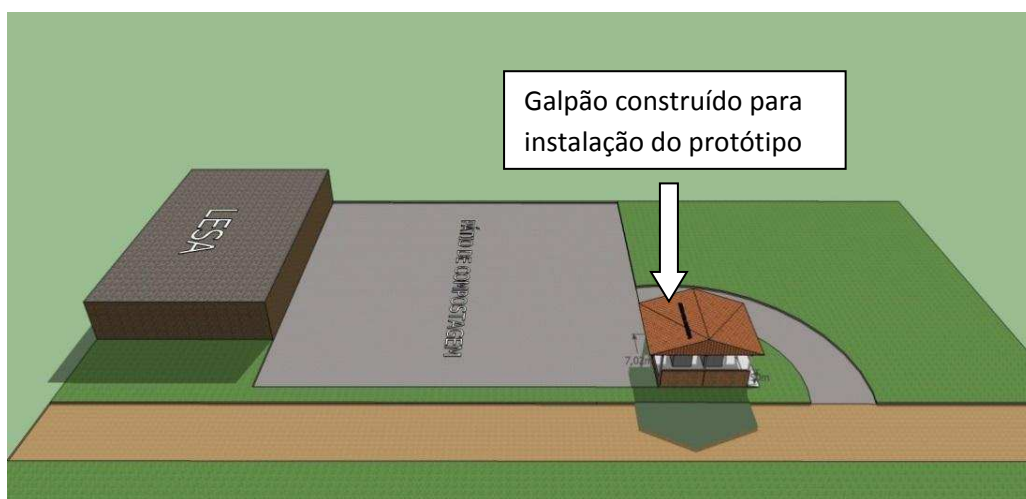


Figura 6. Local do experimento

A construção do galpão teve o intuito de garantir a proteção dos equipamentos contra a ação dos intemperes como chuvas, sol e outros eventos que poderiam vir a danificar o protótipo. A dimensão do galpão foi de 16m²(4mx4m), construído sob uma

base de concreto, a fim de impermeabilizar o solo, e com uma cobertura do tipo “duas águas” em estrutura metálica e telha de alumínio. Na Figura 7 são apresentados os detalhes da construção do galpão.



Figura 7. Vista do local onde foi instalado o protótipo.

3.2 Construção do protótipo

O protótipo foi construído com as seguintes dimensões: 1m de largura, 1 m de altura e 2 m de comprimento. Tendo portanto um volume de 2m^3 .

A estrutura do protótipo foi construída de metalon, sendo colocadas chapas de metal envolvidas por material isolante (lã de vidro) nas laterais do protótipo e com o fundo vazado. Por fim, foi realizada pintura com uma tinta antioxidante para suportar elevadas temperaturas. Na Figura 8 é demonstrada a construção do protótipo.



Figura 8. Estrutura metálica do protótipo envolvida por material isolante.

O desenho do protótipo foi elaborado de acordo com as necessidades de distribuição de ar, pontos de amostragem e pontos para introdução de sondas para medição da temperatura.

Os furos para entrada de ar foram distribuídos ao longo da parede lateral, sendo compostos por 4 furos superiores e 5 furos inferiores, de modo que toda massa a ser compostada pudesse receber a quantidade satisfatória de ar. Os pontos de amostragem foram distribuídos aleatoriamente para obtenção de uma amostra composta. Já os furos para entrada da sonda de temperatura foram feitos no topo, centro e base do protótipo de modo que a temperatura fosse monitorada em diferentes setores. Na Figura 9 é representada a vista frontal da construção do protótipo.

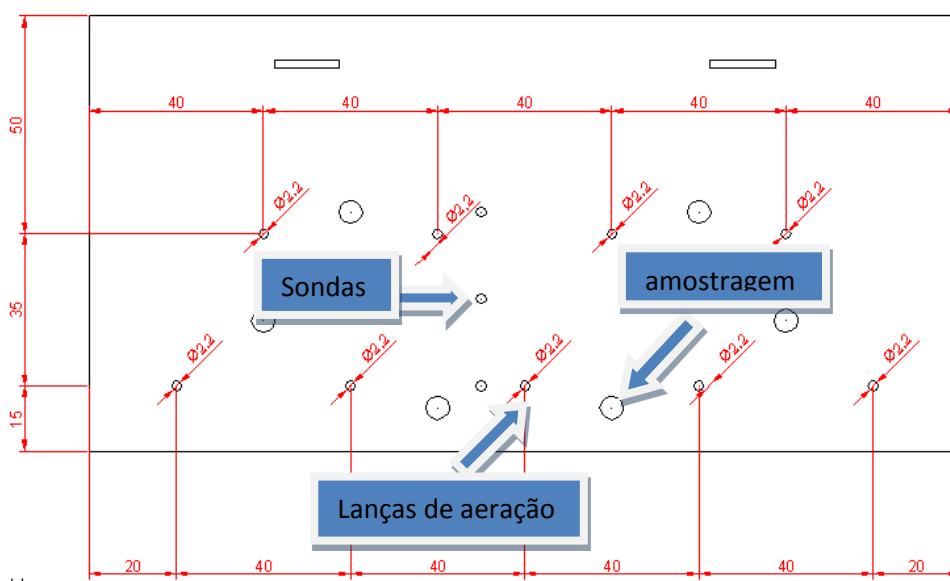


Figura 9. Vista frontal do protótipo.

Foi utilizada uma tubulação como distribuidor central, sendo que ao longo do eixo da tubulação central saiam ramificações para a distribuição de ar no protótipo por tubos composto por PVC simples e PVC especial que suporta altas temperaturas (aquatherm). Na Figura 10 é apresentado o protótipo já com as tubulações ligadas ao distribuidor central e na Figura 11 o interior do protótipo.



Figura 10. . Protótipo com as tubulações de PVC já inseridas



Figura 11. Vista interna do protótipo

Com relação à alimentação de ar no protótipo foi utilizado um ventilador centrífugo de alta pressão com potencia de 2CV, suficiente para o fornecimento de ar através das lanças de aeração que se encontram na parte interna do protótipo. O uso de um ventilador de alta pressão foi fundamental para que a insuflação de ar conseguisse penetrar e se dissipar na massa de compostagem, tendo em vista a grande dificuldade

que os ventiladores de baixa pressão possuem para tal finalidade de acordo com o material a ser aerado. Nas Figuras 12 e 13 é apresentado o motor juntamente com as tubulações do protótipo.



Figura 12. Vista Lateral do ventilador conectado as tubulações do protótipo.



Figura 13. Vista frontal do ventilador conectado as tubulações do protótipo

O protótipo também possui um equipamento de automação, cuja função é controlar o ventilador centrífugo, bem como ajustar os intervalos de aeração e também de adição de água para controle de umidade. Além disso, este componente eletrônico também tem a função de controlar e monitorar a temperatura no interior do protótipo. No experimento em questão, este equipamento funcionou apenas para controlar o

ventilador e ajustar os intervalos de aeração por meio de programação, sendo que o controle do teor de água foi feito manualmente adicionando-se água, quando necessário. Os equipamentos de automação foram alojados em um quadro elétrico (com componentes de proteção para queda de energia e choques elétricos), localizado no galpão onde se encontrava o protótipo.

Os equipamentos eletrônicos também agem de modo a proteger o ventilador e o operador do sistema. Este sistema de automação pode ser ativado no modo manual ou automático (cíclico), de modo que pode-se controlar os períodos de aeração para diferentes experimentos. Na Figura 14 são destacados os equipamentos dentro do quadro elétrico no interior do galpão.



Figura 14. Componente eletrônico controlador do sistema de aeração.

3.3 Caracterização dos resíduos

Para que o processo de compostagem acontecesse de forma acelerada foi necessário acrescentar cama de frango e palha (ou poda) junto às carcaças, de modo que equilibrasse a concentração dos nutrientes, principalmente a relação C/N. O tratamento via compostagem visou utilizar os resíduos que são gerados nas próprias granjas de criação de frango de modo a satisfazer e garantir o desenvolvimento sustentável durante todo o processo.

Para tanto foi preciso caracterizar cada resíduo utilizado nos processos de compostagem realizados nos experimentos como: carcaças, cama de frango, palha de milho, poda de grama e composto maturado.

As carcaças das aves foram adquiridas em granjas da região e no abatedouro Viçosa, situado na zona rural do município de Viçosa. Foram utilizadas as aves que morreram por algum motivo que não fosse o abate. A cama de frango foi obtida no setor de avicultura do Aviário experimental do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, provenientes de diferentes lotes de frango de corte criados até 42 dias. Já a palha foi fornecida pelo setor experimental do Departamento de Engenharia Agrícola também da Universidade Federal de Viçosa. O composto maturado e a poda de grama foram obtidos no LESA, sendo que o composto foi oriundo da compostagem de cama de frango.

Para a caracterização das carcaças foi preciso triturá-las, utilizando um triturador de resíduos orgânicos, de modo a ter uma amostra mais homogênea e significativa do respectivo resíduo. Já para cama de frango, palha e composto maturado foram adquiridas amostras compostas de cada resíduo de modo que representasse cada uma delas de forma homogênea e significativa. Destas amostras foram obtidas subamostras, por quarteamento, com os quais foram realizadas as análises.

Os parâmetros utilizados na caracterização da matéria prima empregada nos experimentos foram o teor de água (umidade), sólidos voláteis (SV), carbono orgânico total (COT), nitrogênio total Kjeldahl (NTK), relação carbono e nitrogênio (C/N) e potencial hidrogeniônico (pH).

As determinações do teor de água seguiram as recomendações de SOLYON (1977 apud AZEVEDO, 1993 e CONCEIÇÃO, 2012), sendo que para cada amostra foram feitas três repetições. A determinação se baseia na pesagem de aproximadamente 20g do material em balança analítica e posteriormente secagem em estufa por um período de 24h à 70°C. Após este período, o material foi retirado, resfriado em dessecador e pesado. A partir das pesagens, os teores de água foram determinados pela diferença de peso e o resultado final determinado pela média aritmética das três repetições.

Os sólidos voláteis foram determinados segundo recomendações do APHA (1995), pesando-se, em cadinho de porcelana, três alíquotas de aproximadamente 2g de

amostra previamente seca em estufa por 24h a 70°C, triturada e peneirada em uma peneira com malha de 18mm. O material pesado foi então calcinado em mufla a 550°C por duas horas. Posteriormente, os cadinhos foram resfriados em dessecador por um período de uma hora e pesados em seguida. Os teores de sólidos voláteis foram obtidos pela diferença de massa, sendo que o resultado final foi determinado pela média aritmética das três repetições.

Os valores de COT foram estimados pela razão entre os sólidos voláteis e o fator 1,8 (1), expressão proposta por GOLUEKE (1977) apud AZEVEDO (1993).

$$COT = \frac{SV}{1,8} \quad (1)$$

Para determinação do NTK foi seguida a metodologia proposta por MENDONÇA e MATOS (2005), cujo método se baseia na digestão da amostra e posterior destilação em um destilador Kjeldahl. Com a determinação do COT e NTK pode-se então obter os resultados das relações C/N para todos os resíduos caracterizados.

Já para determinação do pH foram seguidas as recomendações de CARNES e LOSSIN (1970), apud AZEVEDO (1993). As determinações foram obtidas através da diluição de 250 ml de água destilada a 10g da amostra. A solução foi agitada por 3 min com auxílio de agitador magnético e repousou por 5 min. Após este período as leituras do pH foram realizadas com um pHmetro ADWA ad 100.

3.4 Processo de tratamento

O processo de degradação das carcaças de frango se dividiu em duas etapas, sendo a primeira etapa ocorrendo no interior do biodigestor fechado aeróbio e a segunda no pátio de compostagem do LESA.

Para o andamento da primeira etapa foi construído um biodigestor fechado descontínuo para acelerar o processo de compostagem de resíduos sólidos agroindustriais, mais especificamente de carcaças de frango. O processo aconteceu em

uma câmara fechada onde foi colocado o material orgânico para decomposição, chamado de biodigestor.

O biodigestor conta, basicamente, com dois módulos: o primeiro consiste na parte eletrônica que é responsável por controlar os parâmetros para aceleração da compostagem; e o segundo consiste na estrutura física para o tratamento do resíduo, ou seja, é a parte onde ocorre a fase de degradação ativa no processo de compostagem.

Todo o processo de degradação na primeira etapa foi descontínuo e fechado. Descontínuo por que os resíduos foram depositados uma única vez no equipamento até o tratamento final, e fechado, porque todo o processo ocorreu de forma a não deixar exposto o material durante a compostagem, evitando a contaminação do solo, proliferação de vetores e o contato físico com as pessoas para garantir a biossegurança do processo de tratamento.

Para que o processo de compostagem acontecesse no interior do biodigestor foi necessário acrescentar a cama de frango e a palha e/ou poda de grama junto às carcaças, além de fazer o recobrimento final com material compostado para minimizar os efeitos do odor durante o processo.

No interior do biodigestor foram monitorados parâmetros físico-químicos e microbiológicos durante sete semanas de modo a compreender o período de degradação ativa no processo de compostagem. O biodigestor foi operado sob diferentes condições, variando-se os diversos parâmetros que controlam a velocidade do processo de compostagem, principalmente a taxa de aeração.

A segunda etapa do tratamento ocorreu no pátio de compostagem em local aberto, após a descarga do material que se encontrava dentro do biodigestor durante as sete semanas, através da formação de pilhas de compostagem de formato cônico com diâmetro relativo à quantidade de resíduos e 1,20m de altura, conforme apresentado na Figura 15. Esta etapa teve duração de 30 dias correspondentes à fase de maturação do processo de compostagem.



Figura 15. Montagem de pilhas de compostagem para fase de maturação.

A avaliação do processo de compostagem das carcaças de frango seguiu uma linha cronológica que visou separar as diferentes etapas do processo de compostagem, conforme observado na Figura 16.

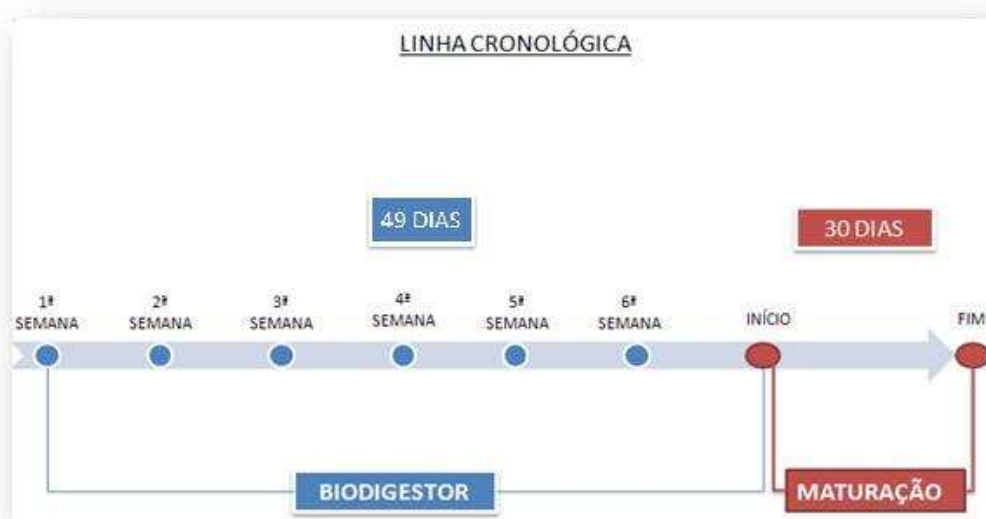


Figura 16. Linha cronológica do tratamento das carcaças.

3.4.1 Sistema de carga e descarga dos resíduos no protótipo

Para a montagem dos experimentos o sistema de carga seguiu a ordem apresentada na Figura 17, onde foi adicionada uma primeira camada de palha ou poda para retenção de umidade e para evitar o escoamento de líquidos. As camadas posteriores foram intercaladas de cama de frango e carcaças de aves, de modo que as carcaças não fossem dispostas muito próximas umas das outras para evitar zonas de

anaerobiose. A última camada foi preenchida por uma cobertura fina de palha ou composto maturado para minimizar os problemas relacionados a odor.

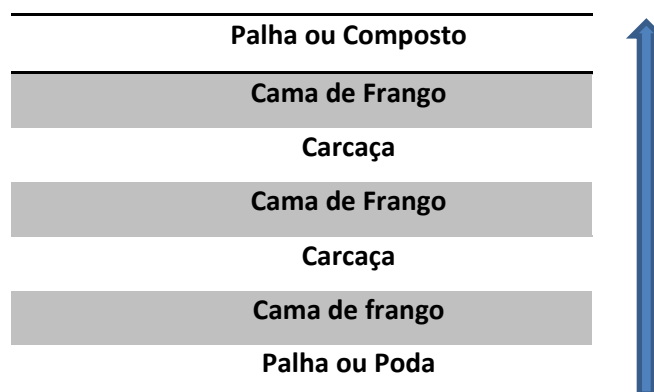


Figura 17. Esquema de Montagem dos experimentos.

Antes de efetuar a carga no protótipo, cada resíduo foi pesado separadamente para quantificar o total de material a ser compostado e também adequar a relação C/N. Na Figura 18 foi ilustrado o biodigestor durante o processo de carga, podendo-se observar o contato entre as lanças de aeração e os materiais compostáveis. Após carga de todo material foi realizado a correção do teor de água manualmente através de galões, conforme apresentado na Figura 19.



Figura 18. Carga do Biodigestor.



Figura 19. Correção do teor de água.

Para a descarga do material foi desenvolvido um sistema de roldanas complementado com uma alavanca que suspende o protótipo de modo que o material pudesse ser removido para o pátio, onde seria executado a segunda etapa do processo de compostagem. Na Figura 20 são ilustrados os componentes que foram utilizados para a descarga do material, enquanto que a Figura 21 é demonstrado o material sendo descarregado.



Figura 20. Sistema de descarga do protótipo.



Figura 21. Sistema de descarga do protótipo.

3.4.2 Monitoramento dos experimentos

3.4.2.1 Amostragem

A amostragem foi realizada nas duas etapas do tratamento, ou seja, no interior do biodigestor e no material no pátio de compostagem. As amostras coletadas no interior do biodigestor foram realizadas com o auxílio de um cano PVC $\frac{3}{4}$ " de diâmetro, de modo a coletar resíduos em diferentes camadas, sendo que para tal finalidade foram realizadas coletas em diferentes pontos na parte lateral do biodigestor, como também verticalmente, pela elevação da tampa superior do biodigestor, obtendo uma amostra composta para que toda massa fosse representativa do material dentro do biodigestor.

No pátio de compostagem, as amostras foram coletadas em diferentes pontos das pilhas de compostagem com o auxílio de uma pá de corte e bandejas plásticas, em profundidades diferentes e não superficiais, para evitar contaminação do material, obtendo uma amostra composta.

A partir das amostras compostas, tanto do Biodigestor, como das pilhas de compostagem foram obtidas subamostras, por quarteamento, nas quais foram realizadas as análises.

3.4.2.2 Análises

Para o monitoramento do experimento as análises físico-químicas foram realizadas no laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental (LESA) e no laboratório de análise de solo e folha VIÇOSA, localizado no município de Viçosa-MG. Já as análises biológicas foram realizadas no Laboratório de Qualidade da água, do Departamento de Engenharia agrícola/UFV.

Para um acompanhamento adequado do processo de compostagem, que ocorreu tanto dentro do biodigestor como no pátio de compostagem, foram adotadas frequências e análises diferenciadas de acordo com a etapa do processo.

Os parâmetros monitorados semanalmente foram: COT, N, relação C/N, pH, teor de água e sólidos voláteis. A metodologia utilizada para determinação destes parâmetros foram as mesmas descritas no item 3.3 (caracterização dos resíduos).

As análises microbiológicas foram realizadas após o período de degradação no interior do biodigestor e no final do processo de maturação. Foram analisados a presença de bactérias dos grupos coliformes totais e *E. coli*, através do método do Colilert. Para tal determinação uma alíquota de 5g da amostra foi colocada em 100 ml de água, sendo a mistura agitada por 5min em agitador magnético. Após este período, a solução foi colocada em repouso durante 5min. Em seguida foi retirada uma alíquota de 1ml e colocada em um frasco na qual continha 99 ml de água (diluição 1:100) e do reagente Colilert. Em seguida a mistura foi agitada até que todos os grânulos fossem dissolvidos. A solução foi então disposta em uma cartela composta de 51 cúpulas, na qual foi colocada em uma seladora e a solução distribuída de forma igualitária. Posteriormente, a cartela foi incubada em estufa à 35°C por um período de 24h. Os coliformes totais foram determinados a partir da contagem das cúpulas com coloração amarela. Para determinar *E. coli* foram contadas as cúpulas que apresentaram emissão de fluorescência, ao se utilizar uma lâmpada ultravioleta. Os resultados finais foram então obtidos através do uso de uma tabela estatística do Número Mais Provável (NMP), conforme descrito por CONÇEIÇÃO (2012).

Os metais, nutrientes e capacidade de troca catiônica (CTC) foram realizados somente após o tratamento total, ou seja, após o período de maturação, em laboratório de análises de solos. Os metais e os micronutrientes foram obtidos através da digestão

nitroperclórica com determinação na absorção atômica. O fósforo (P) foi obtido por digestão nitroperclórica com determinação colorimétrica utilizando método da vitamina C. O potássio (K) foi obtido por digestão nitroperclórica com determinação por fotometria com emissão de chama. O enxofre (S) foi obtido pela digestão nitroperclórica com determinação colorimétrica. O boro (B) foi determinação colorimétrica após período em mufla.

Para o acompanhamento da temperatura, foram adotados pontos estratégicos na base, centro e topo do protótipo e das pilhas de compostagem, de forma que representasse melhor as diferentes temperaturas na massa de resíduos. Para tanto, foi adquirido um termômetro digital Lutron, modelo TM-947 SD, com datalogger e capacidade de armazenamento de dados de 1 a 3600s, a fim de monitorar a temperatura ao longo do dia. Este monitoramento foi realizado de hora em hora, através de 4 sondas do tipo termopar (tipo K) que medem constantemente a temperatura da base, centro, topo e ambiente. Na Figura 22 é ilustrado os pontos de monitoramento da temperatura no protótipo e na pilha de compostagem.



Figura 22. . Termômetro com sondas termopar para medição de temperatura.

3.5 Experimentos

Foram realizados três experimentos da mesma forma variando-se as taxas de aeração e a quantidade de resíduos tratados, com o objetivo de avaliar o período de tratamento e as condições ótimas necessárias para a biodegradação das carcaças dentro do biodigestor. Os experimentos foram montados conforme ilustrado nas Figuras 17 e 18 do item 3.4.1.

Para montagem do Experimento-1 foi estipulada uma taxa de aeração de 5min/12h, de modo que atendesse as necessidades dos microrganismos e também o controle da temperatura e teor de água dentro das condições favoráveis para a compostagem em relação a demanda bioquímica de oxigênio. Foi atribuída uma taxa de aeração de 5min/8h para o Experimento-2 e taxa de aeração de 5min/6h para o Experimento-3 a fim de verificar a interferência da taxa de aeração na velocidade da biodegradação das carcaças, bem como avaliar as necessidades dos microrganismos, controle da temperatura e teor de água conforme levantados no Experimento-1.

3.5.1 Experimento 1 – Avaliação da degradação de carcaças de frangos com taxa de aeração de 5 minutos a cada doze horas.

Foi montada uma primeira camada de palha de milho seguida de camadas subsequentes de cama de frango e carcaças e por fim recebeu uma cobertura fina de palha de milho. Foram utilizados 216kg de cama de frango, 107,9 kg de carcaças de aves e 18,4 kg de palha de milho totalizando 342,3 kg em massa de resíduos. Após montagem foram utilizados 50l de água para correção da umidade.

O material a ser compostado permaneceu no biodigestor por 49 dias sendo monitorado conforme as análises mencionadas anteriormente, sofrendo correção do teor de água quando necessário. No 49º dia, este material já degradado, foi então transferido para o pátio de compostagem, onde foi montada pilha de compostagem para que ocorresse a segunda etapa da compostagem, a maturação, durante o período de 30 dias. Porém, devido a frequentes precipitações ao longo da fase de maturação, o material necessitou de um período maior para que se chegasse ao final do processo de compostagem, totalizando então um período de 60 dias para estabilização final do resíduo, totalizando 109 dias para o tempo do tratamento. Ao longo da fase de maturação foi necessário realizar dois reviramentos manuais da pilha de resíduos para que o teor de água fosse controlado, ou seja, foi feita a abertura da pilha para secagem do material, conforme apresentado na Figura 23.



Figura 23. Reviramento manual para correção do teor de água.

3.5.2 Experimento 2 – Avaliação da degradação de carcaças de frangos com taxa de aeração de 5min a cada oito horas.

No Experimento-2 foi feita uma primeira camada com poda de grama seguida de camadas subsequentes de cama de frango e carcaças. Para o recobrimento final foi utilizado uma camada de composto maturado. Foram utilizados diferentes quantidades de resíduos no experimento 2 em relação ao experimento 1, sendo 226,8 kg de cama de frango, 98,7 kg de carcaças de aves e 15,3 kg de poda e 75,2 kg de composto maturado totalizando 444,0 kg em massa de resíduos. Após montagem foram utilizados 48l de água para correção da umidade.

O material a ser compostado permaneceu no biodigestor por 49 dias semelhantemente ao experimento 1, sendo monitorado conforme as análises mencionadas anteriormente, sofrendo correção do teor de água quando necessário. No 49º dia, o material foi então transferido para o pátio de compostagem, onde foi montada pilha de compostagem para que a fase de maturação fosse iniciada obtendo duração de 35 dias. Diferentemente do experimento 1, o processo de maturação ocorreu próximo dos 30 dias pré-estabelecidos, totalizando um período final de tratamento de 84 dias, incluindo a fase dentro do biodigestor e a fase no pátio de maturação.

3.5.3 Experimento 3 – Avaliação da degradação de carcaças de frangos com taxa de aeração de 5min a cada seis horas.

O experimento 3 foi elaborado com as mesmas características do experimento 2. Porém, foram utilizados diferentes quantidades de resíduos em relação aos experimentos 1 e 2. Foram utilizados 241,8 kg de cama de frango, 198,9 kg de carcaças de aves e 16,6 kg de poda e 66,2 kg de composto maturado totalizando 579,5 kg em massa de resíduos. Neste experimento a quantidade de resíduos atingiu todo o volume útil disponível do biodigestor. Após montagem foram utilizados 56l de água para correção da umidade.

Após os 49 dias dentro do biodigestor, o material foi retirado e transferido para o pátio de compostagem para a formação da pilha. A maturação teve duração de 28 dias totalizando um período final de tratamento de 77 dias, incluindo a fase dentro do biodigestor e a fase no pátio de maturação, inferior ao período pré-estabelecido.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Construção protótipo

O volume de 2 m³ do protótipo construído poderá sofrer variações de acordo com a necessidade de tratamentos dos resíduos gerados nas granjas de frango, de modo que contemple a massa de resíduos a ser tratada durante o período de engorda dos frangos que hoje é de 42 dias. Para o volume de resíduo tratado no experimento, as dimensões do biodigestor foram adequadas, por manterem as condições de temperatura e teor de água dentro dos parâmetros de controle.

A estrutura de metalon revestida com material isolante impediu a troca de calor com o ambiente favorecendo a dissipação da temperatura dentro do biodigestor, evitando assim a perda de calor dentro do biodigestor, sendo que a temperatura é um fator crucial para eliminação de organismos patógenos.

Outro ponto importante a ser ressaltado foi a aplicação de uma pintura antioxidante que evitou a degradação da estrutura, tanto em relação às reações de oxidação-redução que ocorrem dentro do biodigestor, como também por suportar elevadas temperaturas.

A distribuição de ar advindo das lanças de aeração atenderam todos os três experimentos. Foram observadas zonas mais ressecadas próximas às lanças de aeração, em virtude da maior disponibilidade de ar nessas regiões, alterando assim os teores de água no decorrer dos períodos de aeração.

Foi observado que os locais reservados na lateral do protótipo para retirada de amostra dos resíduos não foram satisfatórios por não terem uma boa representatividade da massa de resíduos em virtude de não conseguir coletar material em todas as camadas montadas no interior do biodigestor. Para tanto, foi necessário realizar amostragens verticais, através da tampa superior do protótipo, para garantir uma amostra homogênea e representativa de toda massa de resíduos.

Ao longo do processo de tratamento, devido às altas temperaturas atingidas no interior do biodigestor e, principalmente, ao peso da massa de resíduos, as lanças de aeração sofreram algumas deformações. Como medida de sanar tal deformação foram inseridas dentro das lanças, varas de aço de modo que garantissem melhor resistência

quanto ao peso da massa de resíduos ao longo do processo de tratamento. Os resultados podem ser observados na Figura 24, que mostra a redução na deformação das lanças.



Figura 24. Lanças de aeração sem vara de aço e com varas de aço.

Como mencionado no item 3.2 (Construção do protótipo), o uso de um ventilador de alta pressão foi fundamental para que a insuflação de ar penetrasse a massa de resíduos rompendo a resistência destes e conseguindo distribuir o ar em todos os pontos dentro do biodigestor.

O equipamento de automação foi operado na função cíclica (automática) para todos os três experimentos, de modo que não foi encontrado nenhum dano nos equipamentos, tendo em vista a ocorrência frequente de quedas de energia.

4.2 Caracterização dos resíduos

Os diferentes tipos de resíduos, utilizados para o processo de compostagem na avaliação da degradação biológica das carcaças de frango, foram caracterizados antes do início dos experimentos para que fosse possível adequar uma melhor condição e proporção da quantidade de resíduos a serem utilizados, bem como adequar os valores referenciais de teor de água, relação C/N, pH e os demais fatores intervenientes no processo de compostagem. Estes resíduos tiveram a função de equilibrar as condições do meio acelerando o processo de degradação. Os resultados obtidos da caracterização destes podem ser observados no Quadro 3.

PARÂMETRO	Cama de frango	Carcaça de frango	Palha	Material de poda	Composto orgânico
Teor de água (%)	52,05	68,06	11,2	16,30	62,28
Sólidos Voláteis (%)	88,53	91,52	96,45	89,79	38,94
Carbono (%)	49,18	50,85	53,58	49,88	21,63
Nitrogênio (%)	3,88	7,74	0,60	1,87	1,73
C/N	12,68	6,57	89,30	26,67	12,50
pH	6,56	6,25	7,31	8,25	7,75

Quadro 3. Caracterização dos resíduos antes do processo de compostagem.

De acordo com o Quadro 3, nota-se que o teor de água varia de acordo com o material, onde a palha se apresentou com menores teores 11,2% e as carcaças com maiores teores 68,06%. Desta forma, a correção deste parâmetro após a homogeneização dos resíduos dentro do protótipo é de extrema importância, pois o teor de água recomendando durante todo processo de tratamento para compostagem de carcaças de animais situa-se na faixa entre 40 e 60% (HENRY, 2003).

Os materiais dispostos no entorno das carcaças, dentro do biodigestor, foram utilizados como fonte de carbono, sendo a palha e a cama de frango os maiores responsáveis por esta distribuição de nutrientes, conforme os teores de SV e COT apresentados. Estes materiais além de cumprirem a função de agentes co-compostadores, também agiram como um filtro biológico para o sistema, facilitando o contato entre a biota presente e o material a ser degradado.

As carcaças de frango apresentaram teor de 7,74% de nitrogênio, se caracterizando assim como material rico em nitrogênio, sendo, portanto utilizados dentro do processo de compostagem como fonte de nitrogênio orgânico.

Os valores da relação C/N apresentaram variações muito discrepantes em função da característica de cada componente. Para a compostagem de carcaças de animais mortos é recomendado que tal relação inicie com valores entre 13 e 15 (GRAVES et al., 2000) ou 10 e 20 (HENRY, 2003). Para tanto, a homogeneização dos materiais se tornou um fator de equilíbrio entre as concentrações de nutrientes.

O pH de todos os resíduos caracterizados se apresentou mais próximo da neutralidade, exceto o material de poda com valor de pH igual à 8,25.

4.3 Processo de tratamento

4.3.1 Etapa no interior do biodigestor

O processo de avaliação da biodegradação das carcaças de frango se dividiu em duas etapas. A primeira etapa ocorreu no interior do biodigestor e a segunda no pátio de compostagem.

Para os três experimentos foram empregadas taxas de aeração diferenciadas, Experimento-1: 5min/12h, Experimento-2: 5min/8h e Experimento-3: 5min/6h. A primeira etapa realizada no interior do biodigestor compreendeu um período de 49 dias, independente da quantidade de resíduos utilizados para tal avaliação.

Em todos os experimentos, foi observada a presença de moscas apenas nos 2 primeiros dias após a montagem. Não houve vestígios nem visualização da presença de vetores como baratas, roedores e animais necrófagos, mostrando a eficiência do biodigestor em relação à higienização do local mostrando que o biodigestor foi adequado no controle da atração de vetores, diferentemente dos outros métodos utilizados para o tratamento das carcaças de frango.

Com relação ao odor desagradável, que normalmente é observado nos processos convencionais de tratamento de carcaças, em nenhum dos três experimentos foi identificada tal característica, atribuindo-se este fato a importância de se controlar e monitorar o processo de tratamento durante todo o período de biodegradação e a importância da fase inicial ocorrer em reator fechado.

4.3.2 Etapa no pátio de compostagem

A segunda etapa da avaliação da biodegradação das carcaças foi realizada em pátio de compostagem, compreendendo o período de maturação ou humificação do produto final a ser formado. Para o Experimento 1 (taxa de aeração 5min/12h), o período de maturação foi superior a 30 dias, devido aos elevados índices de precipitações pluviométricas durante este período. Notou-se, portanto a necessidade de avaliação dos fatores climáticos para otimizar o período de maturação ou humificação do material. As precipitações pluviais elevaram os teores de água do material fazendo

com que ele necessitasse de um maior período de estabilização, tendo em vista que o excesso de água favoreceu condições anaeróbias na fase de maturação. Já o período de maturação para os Experimentos 2 e 3 foi de aproximadamente 30 dias, conforme metodologia estabelecida.

A dimensão e forma da montagem das pilhas de compostagem na etapa de maturação favoreceram a drenagem de líquidos e a dissipação do calor do centro da pilha para extremidade e também para o ambiente ao longo da estabilização do material.

As pilhas dos três Experimentos, já estabilizados, estão representadas na Figura 25.



Figura 25. Forma das pilhas de maturação dos três experimentos.

4.3.3 Sistema de carga e descarga dos resíduos no biodigestor

Ao longo do processo de montagem dos experimentos verificou-se a necessidade de delimitar um espaçamento entre as carcaças e as paredes do biodigestor, a fim de evitar zonas anaeróbias, conforme mencionado nos trabalhos de PAIVA (2008). Tal espaçamento, apresentado na Figura 26, evitou que o processo anaeróbio transcorresse. A ausência de odores confirmou a inexistência de zonas anaeróbias dentro do biodigestor. De fato, quando se efetivou a descarga dos resíduos, foi verificada a ocorrência de alguns pontos esporádicos com altos teores de água o que favorece a caracterização de ambiente anaeróbio, mas que não comprometeram nem representaram toda a massa de resíduo.



Figura 26. Espaçamento entre as carcaças e as paredes do biodigestor.

Alguns materiais utilizados na composição dos experimentos apresentaram características bem específicas como no caso da palha utilizada no Experimento 1, a qual reteve muita umidade, dificultando a distribuição de água para massa de resíduos dentro do biodigestor. Tal verificação fez com que fosse trocado o material a ser utilizado nos Experimentos 2 e 3, nos quais a palha foi substituída pelo material de poda para composição da primeira camada dentro do biodigestor e pelo composto maturado como camada de cobertura final. O material de poda apresentou maior resistência à degradação, porém este cumpriu com o papel de formar uma camada que reteve o escoamento de chorume dentro do biodigestor. Já o composto maturado foi utilizado como um biofiltro a fim de evitar a emissão de maus odores, cumprindo tal finalidade.

Notou-se uma característica comum no biodigestor durante os Experimentos, sendo que nos primeiros dias, após o carregamento do material a ser degradado, ocorreu uma grande redução em massa do material, conforme pode se observado pela análise da Figura 27, o que indicou uma fase acelerada de degradação ativa do processo de compostagem e também em decorrência da compactação natural dos resíduos.



Figura 27. Redução da massa de resíduos dentro do biodigestor.

Após o período de 49 dias dentro do Biodigestor, o material foi descarregado do biodigestor apresentando uma eficiência de degradação das carcaças quase que 100%. Foram observados apenas a presença de ossos e algumas penas, sendo que estes materiais possuem uma maior resistência à degradação, sendo totalmente degradados ao final do período de maturação, conforme apresentado nas Figuras 28 e 29.



Figura 28. Presença de penas e ossos após a descarga dos resíduos do biodigestor



Figura 29. Material ao final do processo de maturação.

4.4 Monitoramento dos experimentos

4.4.1 Taxas de aeração

Segundo RICHARD et al. (2004), apud PAIVA (2011), o fluxo de ar é fortemente afetado pelas propriedades da massa de resíduos a ser compostada, interferindo na dissipação deste. Ainda segundo os autores, a permeabilidade é a variável que determina os fluxos de ar, impactando na transferência de gases e troca de calor.

As taxas de aeração estipulada para os Experimentos 1, 2 e 3, foram determinadas a partir de uma série de estudos desenvolvidos no LESA e, também por experiências realizadas na Universidade de Valladolid com os mesmos substratos. A variação nas taxas de aeração nos experimentos também foi mensurada para avaliar o aceleração da degradação das carcaças de frango, sendo que em todos os experimentos, a degradação ocorreu de forma satisfatória. Porém, na medida em que aumentou a taxa de aeração no biodigestor a massa de resíduo se apresentou mais ressecada em alguns pontos, necessitando de correções nos teores de água para que a atividade microbiológica voltasse a ocorrer.

Segundo GRAVES et al. (2000), a taxa de aeração fornecida para o controle da temperatura também deve atender as necessidades de oxigênio dos microrganismos. Em função disto, após a correção do teor de água, a taxa de aeração foi controlada

automaticamente, com temperatura de controle em 55°C. A partir do momento, em que mesmo corrigindo o teor de água, não foi verificado aumento ou manutenção de valores satisfatórios da temperatura foi decretado o final da fase ativa dentro do Biodigestor e início da fase de maturação no pátio de compostagem.

4.4.2 Redução em peso dos materiais após etapa do biodigestor

O Experimento 1 obteve um total de 342,2 kg em massa de resíduos no interior do biodigestor, foram adicionados 50 litros de água para correção de umidade. Após o período de 49 dias no interior do biodigestor, o peso passou a ser de 280,8 kg correspondendo uma perda em massa de aproximadamente 18 %.

O Experimento 2 constituiu um total de 444,0 kg em massa de resíduos, sendo adicionados 48 litros de água para correção do teor de água inicial do material. Posterior ao tratamento dentro do biodigestor, a massa de resíduos passou a ser de 369,4 kg, correspondendo perda de 16,8 % em massa.

Por fim, o Experimento 3 teve peso inicial de 579,5 kg em massa e foram adicionados 56 litros de água para correção da umidade. Após o período de 49 dias no biodigestor, o peso em massa dos resíduos foi de 456,0 Kg, indicando perda de 21,3 %.

Nos três experimentos houve a adição de água conforme a necessidade de correção do teor de água, o que foi monitorado semanalmente. Todos os produtos finais ainda obtiveram perda significativa de massa ao final do período de maturação.

4.4.3 Temperatura

Foram avaliadas as temperaturas em três zonas diferentes, (base, centro e topo) dentro do biodigestor de modo a garantir uma melhor representatividade de toda a massa de resíduos. A temperatura dentro do biodigestor foi controlada numa faixa de 40 à 60°C, de modo a intensificar o processo de degradação das carcaças. Sempre que necessário foi realizada a correção do teor de água para valores próximos à 55%, conforme mencionado na revisão de literatura.

Em seu trabalho com compostagem de carcaças de frango por leira estática aerada, PAIVA (2008) identificou que nem sempre sistemas de compostagem por

aeração forçada apresentam maiores valores de temperatura no centro geométrico da massa. Devido a este fato, a temperatura de “feedback”, tomada no centro da massa de compostagem, passou a ser de 55°C.

Decorridos 49 dias do experimento dentro do biodigestor, quando as temperaturas atingiram valores próximos à 40°C, o material foi retirado do biodigestor e colocado para maturar, não ocorrendo aeração nesta fase do processo.

Os resultados obtidos no Experimento 1 foram apresentados na Figura 30.

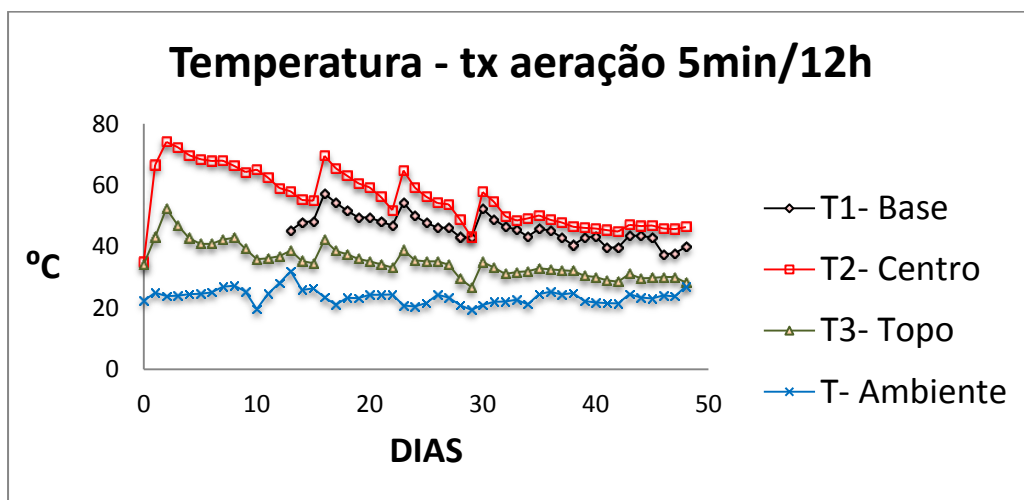


Figura 30. Monitoramento da temperatura no interior do biodigestor com taxa de aeração de 5min/12h.

Devido a problemas no equipamento, a temperatura na base do Biodigestor somente começou a ser monitorada a partir do 13º dia. Foi observado um aumento significativo da temperatura logo nos primeiros dias atingindo valores acima dos 70°C no centro do biodigestor, indicando uma degradação acelerada das carcaças.

Após o período inicial, a temperatura apresentou um decréscimo até o 15º dia, mas se manteve dentro da faixa recomendada nos três pontos de medição. A queda nos valores de temperatura indica a redução da atividade biológica dentro do biodigestor. Com a correção do teor de água, nos dias 15, 22 e 30, notou-se novamente um aumento nos valores de temperatura, identificados pelos picos dos valores na Figura 30. Após o 33º dia, mesmo com a correção do teor de água, a temperatura se manteve estável e próxima à 40 °C nas três regiões monitoradas até completar os 49 dias dentro do biodigestor, sendo que no centro e na base do biodigestor as temperaturas mantiveram

superiores ainda decorrente de moderada atividade dos microrganismos . Neste momento o material foi então retirado do biodigestor e encaminhado para o pátio de compostagem dando início ao período de maturação conforme apresentado na Figura 31.

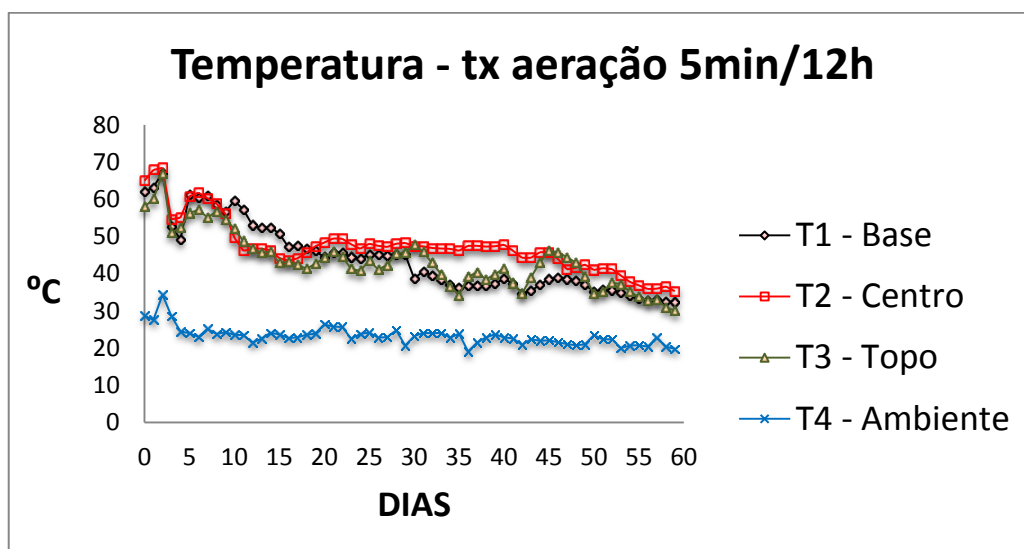


Figura 31. Monitoramento da temperatura durante processo de maturação do Experimento 1.

Durante a montagem das pilhas no pátio de compostagem o material foi revolvido sendo observado um aumento dos valores de temperatura nos primeiros dias de maturação comprovando a existência de atividade biológica. Não foi realizada a correção do teor de água durante a maturação. Porém, após os primeiros dias ocorreu uma diminuição dos valores de temperatura nos três setores da pilha, sendo que no 5º dia notou-se novamente um aumento devido às intensas precipitações durante o período da maturação. As intensas precipitações durante o período de maturação interferiram na velocidade de degradação devido a elevados teores de água aumentando o tempo necessário para estabilização do material.

A temperatura foi reduzindo ao longo do processo com tendência de se aproximar à temperatura ambiente, o que foi um indicativo operacional do final do processo de maturação.

O Experimento 2 foi conduzido com taxa de aeração, dentro do biodigestor, diferenciada da apresentada no Experimento 1, sendo que o monitoramento dos valores de temperatura foram apresentados na Figura 32.

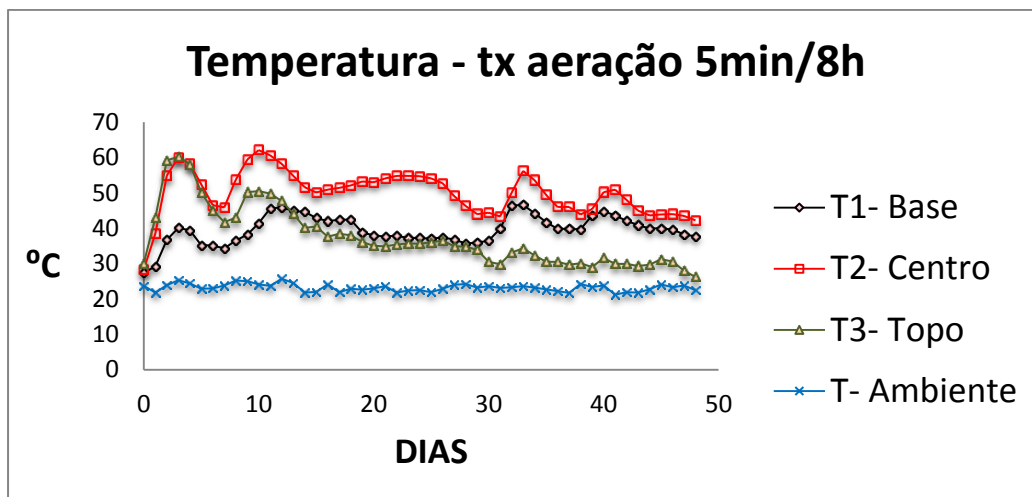


Figura 32. Monitoramento da temperatura no interior do biodigestor com taxa de aeração de 5min/8h.

Assim como no Experimento 1, nos primeiros dias foi observado um aumento da temperatura indicando elevada atividade biológica atingindo valores acima de 60°C no centro e no topo do biodigestor. Após o período inicial, a temperatura apresentou um decréscimo até o 8º dia, devido a maior inserção de ar no interior do biodigestor ressecando a massa de resíduos e interferindo na atividade biológica dentro do biodigestor. A correção do teor de água foi realizada nos dias 08,15, 30 e 40, e após correção notou-se novamente um aumento nos valores de temperatura, identificados pelos picos dos valores na Figura 32. Entre o 14º e 30º dia foi observada pouca variação nos valores de temperatura para a base, centro e topo do biodigestor.

Após o 40º dia, depois da correção do teor de água, ocorreu uma pequena elevação nos valores de temperatura, sendo que em seguida ela se manteve estável e próxima à 40 °C nas três regiões monitoradas até completar os 49 dias dentro do biodigestor. Assim como no Experimento 1, o material foi então retirado do biodigestor e encaminhado para o pátio de compostagem dando início ao período de maturação conforme apresentado na Figura 33.

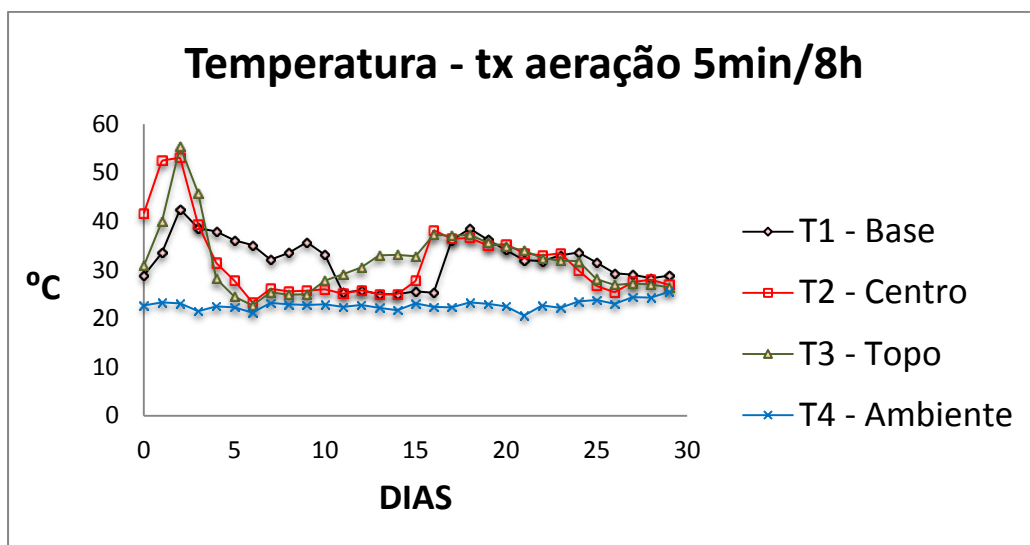


Figura 33. Monitoramento da temperatura durante processo de maturação do Experimento 2.

Da mesma forma, os resíduos foram revolvidos para montagem das pilhas de compostagem no pátio, sendo observado um aumento dos valores de temperatura no início da fase de maturação. Também não foi realizada a correção do teor de água durante a maturação no Experimento 2. Porém entre os dias 15 e 16 ocorreu uma correção natural do teor de água em virtude de uma pequena precipitação, refletindo em um pequeno aumento da temperatura neste período.

Durante este experimento não houve ocorrência de intensas precipitações, fato este que contribuiu para uma estabilização mais acelerada, pois este material não se apresentou com excesso de teor de água reduzindo a fase de maturação e período total do tratamento. Após o 17º dia, a temperatura nas três zonas da pilha foi se aproximando aos valores referentes à temperatura ambiente, indicando o final do processo de maturação.

O Experimento 3 foi conduzido com taxa de aeração, dentro do biodigestor, diferenciada da apresentada no Experimento 1 e 2, sendo que o monitoramento dos valores de temperatura foram apresentados na Figura 34.

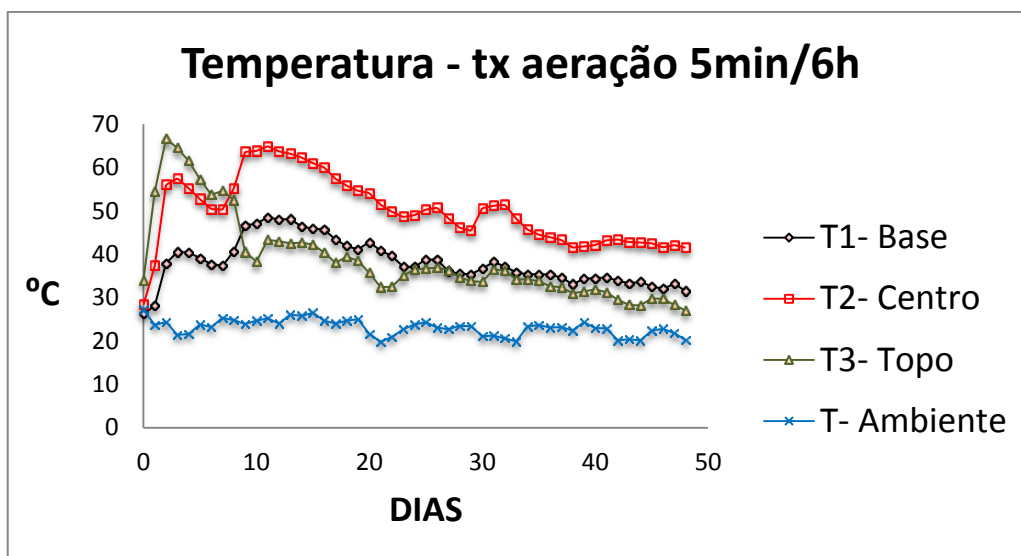


Figura 34. Monitoramento da temperatura dentro do biodigestor com taxa de aeração de 5min/6h.

O Experimento 3 apresentou-se com maior uniformidade nos valores de temperatura para as três zonas de monitoramento mesmo apresentando maior taxa de aeração em relação aos Experimentos 1 e 2. O Experimento 3 foi operado com maior quantidade de carcaças, resultando em maior presença de água no material presente no interior do biodigestor devido à esse contingente.

Nos primeiros dias de operação do biodigestor, a temperatura atingiu valores próximos à 70°C. O topo do biodigestor apresentou maiores valores de temperatura nos primeiros dias. Após o período inicial, a temperatura apresentou um decréscimo até o 8º dia nas três zonas monitoradas. Após este período apenas o topo continuou sofrendo redução nos valores de temperatura mesmo após a correção do teor de água.

A correção do teor de água foi realizada nos dias 08,15, 29 e 38, identificando aumentos significativos nos valores de temperatura apenas na correção do 8º dia, conforme observado na Figura 34. A redução nos valores de temperatura se comportou similar nas três zonas de monitoramento ao longo do processo, representando melhor estabilidade no interior do biodigestor.

Após o 38º dia, mesmo com a correção do teor de água, o material não apresentou aumento nos valores de temperatura se mantendo estável e próxima à 40 °C nas três regiões monitoradas até completar os 49 dias dentro do biodigestor. Assim como no Experimento 1 e 2, o material foi então retirado do biodigestor e encaminhado

para o pátio de compostagem dando início ao período de maturação conforme apresentado na Figura 35.

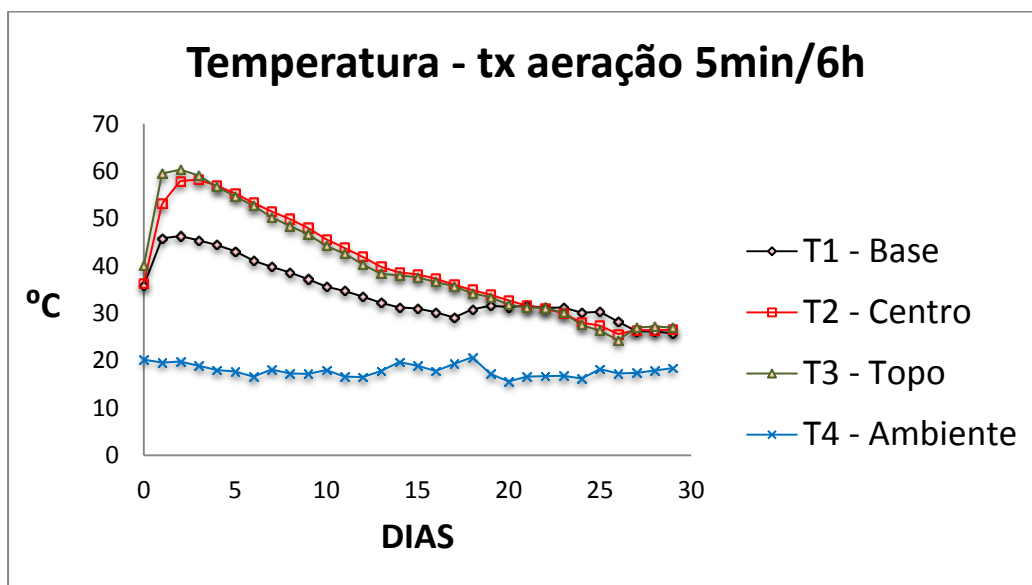


Figura 35. Monitoramento da temperatura durante processo de maturação do Experimento 3

O aumento inicial da temperatura nos primeiros dias foi decorrente do manuseio para montagem das pilhas de compostagem para início da fase de maturação. O Experimento 3 não sofreu correção do teor de água durante o processo de estabilização do material.

Durante este experimento não houve ocorrência de precipitações, onde pode ser observado um comportamento similar nas zonas monitoradas até o final da etapa de maturação. As temperaturas do centro e topo da pilha de compostagem foram praticamente iguais até o final do tratamento. No 27º dia as três zonas apresentaram valores muito próximos aproximando-se da temperatura ambiente indicando a estabilização do material.

De forma geral, nos três Experimentos foi observado que após uma elevada aceleração da temperatura dentro do biodigestor no início do tratamento houve uma redução significativa da temperatura devido à perda em massa de resíduos decorrentes da degradação da matéria orgânica. A redução de material dentro do biodigestor nos primeiros dias interferiu na manutenção da temperatura no interior do biodigestor.

Observou-se também, que nos pontos mais próximos ao sistema de aeração, o material resfriava mais rapidamente.

Segundo AZEVEDO (1993) o material ao ser levado ao pátio de compostagem, local aberto, é submetido a uma aeração natural devido ao manuseio deste, voltando a atingir temperaturas próximas ou superiores a 50°C, mostrando que o processo de compostagem não ocorre de forma uniforme. Portanto, é recomendado pelo menos um reviramento manual durante o processo de maturação para garantir uma maior uniformidade no produto final formado em termos de decomposição da matéria orgânica, teor de água e também da qualidade sanitária.

4.4.4 Teor de água

Segundo PAIVA (2011), o teor de água só tem influencia significativa no processo de degradação, quando a concentração de matéria orgânica e a quantidade de oxigênio não forem fatores limitantes.

Em se tratando da compostagem de carcaças de animais, HENRY (2003) recomenda conteúdo ideal de água na faixa entre 40 e 60%. A Figura 36 apresenta o comportamento do teor de água durante o período dentro do biodigestor e durante a maturação em pátio.

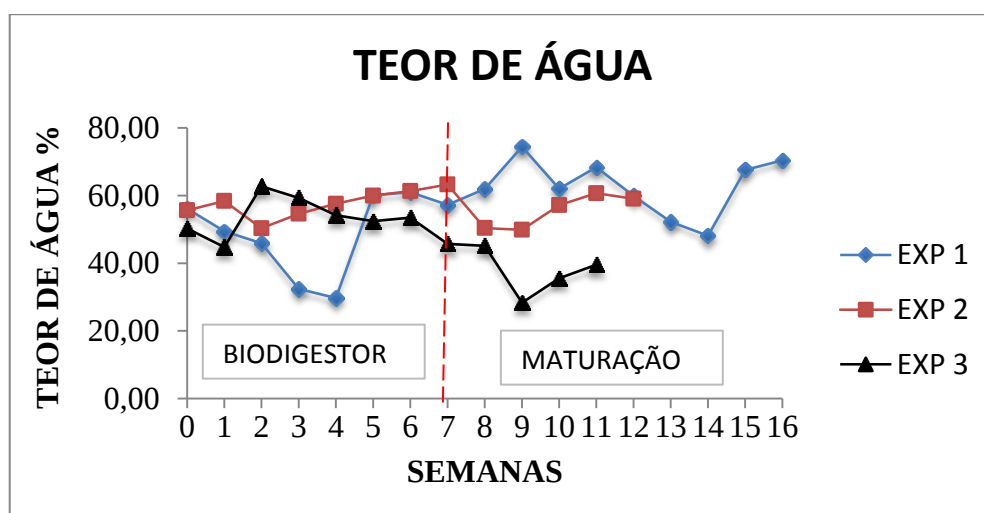


Figura 36. Monitoramento do teor de água durante todo o processo de compostagem.

Foi observado, ao longo dos três experimentos, que o teor de água dentro do biodigestor se manteve próximo aos valores recomendados, onde a tendência foi manter o teor na faixa de 55%. Nota-se que no Experimento 1 o teor de água sofreu queda significativa nas quatro primeiras semanas, mesmo sendo feita as correções conforme as necessidades operacionais. Tal evidência pode estar relacionada ao tipo de material utilizado como substrato, a palha, que foi diferente nos demais experimentos. Tal fato serviu para que a palha fosse substituída pelo material de poda nos demais experimentos. A partir da quarta semana o teor de água voltou aos valores de referência se mantendo em tal intervalo até a retirada dos resíduos do biodigestor para a etapa de maturação.

Na etapa de maturação, os altos teores de água refletiram as condições climáticas do período do Experimento 1. Houve necessidade de realizar um reviramento manual na 9ª semana a fim de corrigir o excesso de água na pilha de compostagem.

Os Experimentos 2 e 3 mantiveram teores de água ao longo de todo tratamento, dentro da faixa preconizada como ideal para os processos de compostagem.

De forma geral, foi evidenciado que o teor de água influencia na velocidade da degradação das carcaças, tanto na fase ativa (biodigestor), como na fase de maturação. No início do tratamento, a água advinda da degradação das carcaças de frango favoreceu a manutenção de valores ótimos dos fatores intervenientes do processo de compostagem, sendo que tais valores influenciam na temperatura máxima atingida no início do processo, por favorecer as condições favoráveis para ocorrência das reações bioquímicas de biodegradação.

O aumento da atividade biológica aumenta os valores de temperatura e consequentemente diminui os teores de água dentro do biodigestor, fazendo com que houvesse a necessidade de se realizar correções no teor de água durante o processo. O decréscimo nos teores de água também interfere na atividade microbiológica, podendo aumentar o período de tratamento.

Vale ressaltar que, após retirada do material do biodigestor, a massa de resíduos sofreu correção no teor de água, e foi monitorada até o final da fase de maturação. Os resultados obtidos indicaram a importância do controle no conteúdo de água do material para o aumento da eficiência do processo de compostagem como um todo, estando associado com a variação da temperatura ao longo dos experimentos.

4.4.5 pH

Alguns autores mencionam que condições ácidas são prejudiciais a microbiota presente no processo de compostagem. A faixa ótima de pH, conforme mencionado na revisão de literatura, abrange valores entre 6 e 8, os quais facilitam a ação microbiana e aumentam a velocidade de degradação.

O pH é uma variável que indica o grau de estabilização e maturação do material que foi compostado. Ao final do processo de compostagem, o composto formado tende a apresentar pH na faixa alcalina com valores entre 7,5 a 9,0 (PEREIRA NETO, 2004).

Na Figura 37 é representada a variação dos valores de pH durante os experimentos.

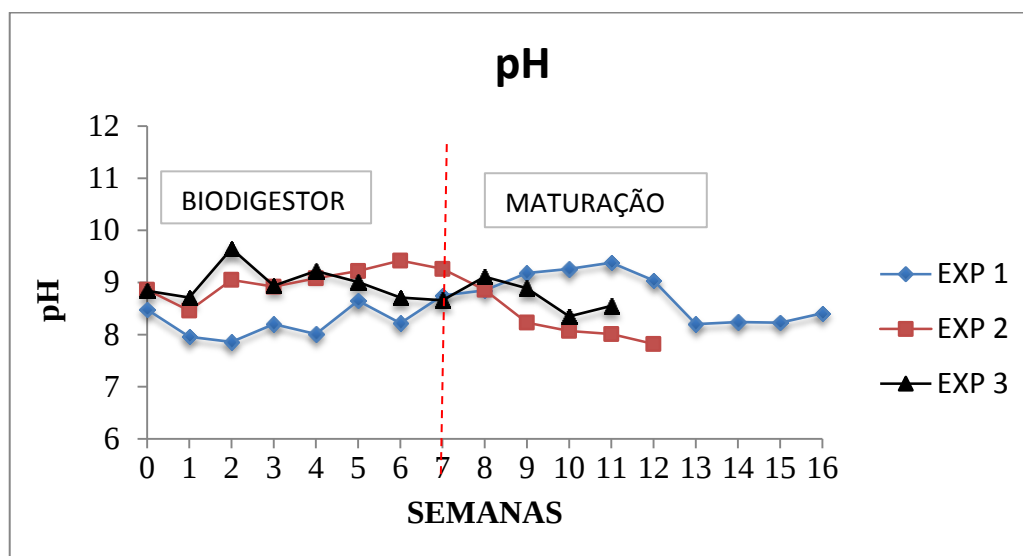


Figura 37. Variação do pH ao longo do processo de compostagem.

Em todos os experimentos os valores de pH não sofreram muita variação. O pH alto no início do processo pode ter retardado a degradação mais acelerada do processo de compostagem, tendo em vista que a faixa considerada ótima para início do processo seria entre 5,5 e 8,5 devido ao fato da maioria das enzimas encontrarem-se ativas nessa faixa (SPADOTTO & RIBEIRO, 2006).

Os altos valores de pH ao longo do processo pode ser característico dos tipos de resíduos dispostos no biodigestor. Ao final de todo processo de compostagem os

resultados obtidos demonstraram que este parâmetro se enquadrava aos valores recomendados para o final do tratamento (entre 7,5 e 9).

4.4.6 Teor de sólidos voláteis (SV)

Durante o processo de compostagem a matéria orgânica é determinada de forma indireta por meio da determinação de teor de sólidos voláteis (SV). Esta tem sido uma ferramenta útil para estimar a transformação da matéria orgânica em materiais mineralizados. Na Figura 38 é apresentada a variação no teor de sólidos voláteis durante os experimentos.

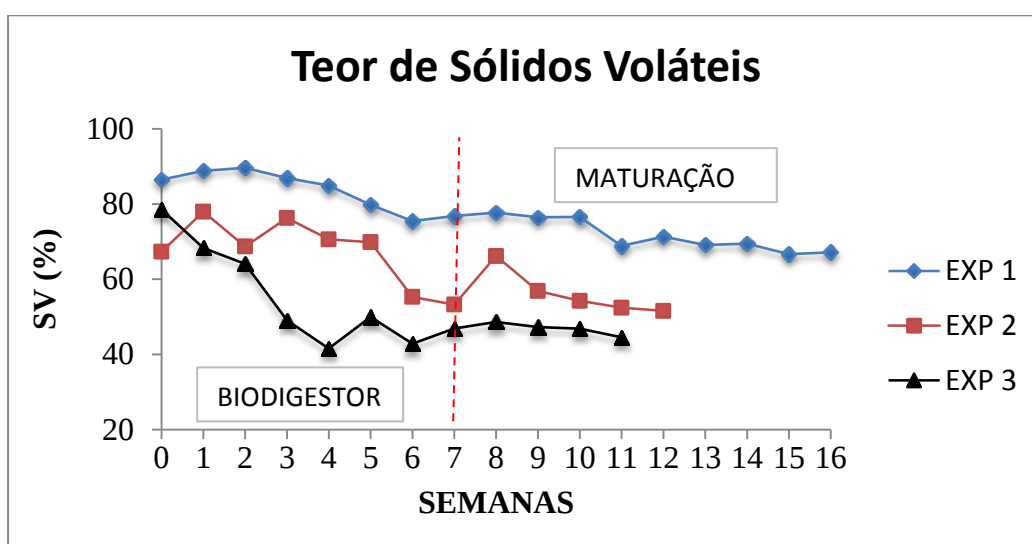


Figura 38. Teores de SV durante os experimentos

A redução dos valores de SV indica a transformação da matéria orgânica em um material humificado. O decréscimo dos valores deste parâmetro indica a relação direta que há entre SV e COT, indicando o teor de matéria orgânica presente na massa de compostagem, sendo que esta relação pode sofrer interferências na medida em que o material vai sendo degradado, pois este pode apresentar elementos recalcitrantes ou voláteis, camuflando o resultado final.

No Experimento 1, a degradação da matéria orgânica ocorreu de forma mais lenta, indicando que as variáveis intervenientes não estavam bem otimizadas. A etapa

no interior do Biodigestor apresentou uma remoção de 11,21% no teor de SV e uma redução total de 22,36% no final do período de compostagem.

O Experimento 2 apresentou uma degradação mais acelerada em relação ao experimento 1 com redução de 20,86% do teor de SV na fase interna do Biodigestor e remoção total de 23,38% no teor de SV ao final do processo. Este resultado mostra a boa eficiência do Biodigestor na degradação da matéria orgânica, para as condições específicas do experimento. Já o experimento 3 apresentou os melhores resultados na degradação da matéria orgânica no interior do biodigestor bem como no âmbito geral do processo, com redução de 40,30% e 43,32% do teor de SV, respectivamente. Logo nas primeiras semanas o teor de SV sofreu uma queda brusca, indicando uma degradação mais acelerada em relação aos demais.

As oscilações nas curvas apresentadas nos experimentos indicam a heterogeneidade do material e a não uniformidade do processo de compostagem (PAIVA, 2011).

Pode ser observado na Figura 37, que após a retirada do material do Biodigestor ocorreu um aumento no teor de SV. Este fato pode ser explicado pelo manuseio feito no material para a montagem das pilhas, ocorrendo uma maior homogeneização deste, aumentando o contato entre o material a ser compostado e a microbiota presente favorecendo a degradação de materiais recalcitrantes da fase interna do Biodigestor.

SESAY et al. (1998), apud Paiva (2011) observou que a variável SV não se mostrou a mais adequada inferir sobre o grau de estabilização de um determinado composto. Ainda segundo o autor, outros estudos têm mostrado que apenas uma parcela do teor de SV é efetivamente biodegradável.

Em um trabalho com injeção de ar, após 45 dias de compostagem, PAIVA (2008) encontrou reduções de 23,9% na concentração de SV em leiras para compostagem de carcaças de frango com cama de frango e bagaço de cana-de-açúcar.

4.4.7 Relação C/N

A relação adequada entre carbono e nitrogênio determina a velocidade de degradação da massa de resíduos. Segundo HENRY (2003) citado por PAIVA (2008), na compostagem de carcaça de animais os valores iniciais adequados para relação C/N

devem estar entre 10 a 20. De acordo com os dados apresentados na Figura 39, pode-se perceber que a relação C/N se enquadrou dentro dos limites recomendados para o início do processo de compostagem nos três experimentos.

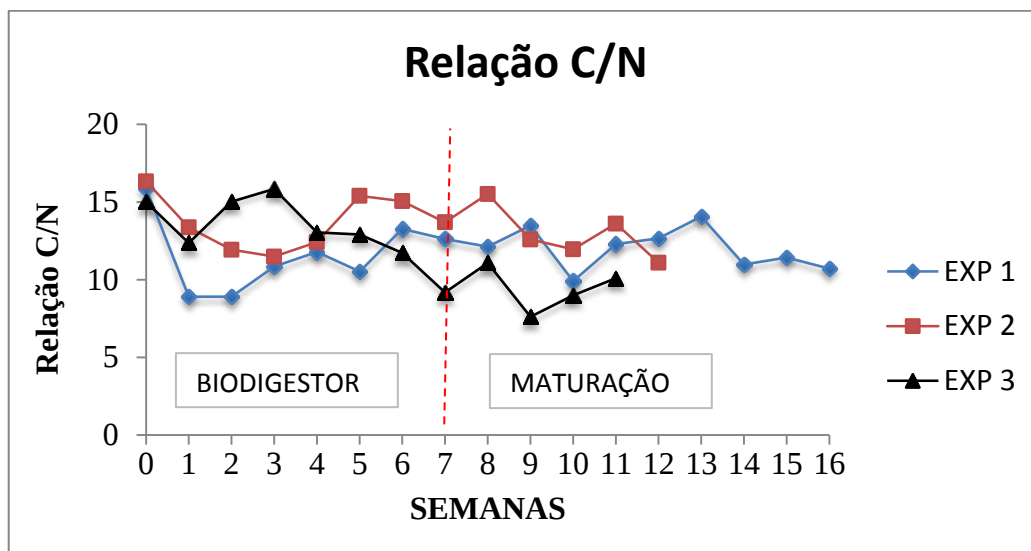


Figura 39. Variação da relação C/N durante a compostagem.

No Experimento 1, a relação C/N sofreu uma forte queda na primeira semana. Tal fato pode ser explicado devido à baixa redução de carbono no início do processo e ao aumento da concentração de nitrogênio obtidos nas primeiras semanas. Após este período inicial, os teores de carbono seguiram com uma pequena redução e os valores de nitrogênio oscilaram até o fim do processo.

No Experimento 2, tal relação sofreu decréscimo até a 3ª semana no interior do Biodigestor. Após este período ocorreu um aumento na relação, onde esta variou até a estabilização final do composto.

O Experimento 3 sofreu uma forte diminuição nos valores de C/N durante a primeira semana, fato este que pode ser explicado devido a dificuldade de amostragem inicial de carbono e nitrogênio em virtude da heterogeneidade inicial do material. Após este período, ocorreu um aumento na relação até a terceira semana e em seguida o declínio até o final da fase dentro do Biodigestor. O material foi então transferido para o pátio de compostagem, mediante reviramento manual, fazendo com que a massa de resíduos adquirisse maior homogeneidade, apresentando uma elevação nos valores de carbono, que ainda não havia sido degradado, material recalcitrante ficou mais lábil,

refletindo nos resultados de C/N, que também pode ter ocorrido devido as variações nas análises realizadas.

De acordo com PAIVA (2008), acredita-se que a relação C/N baixa e concentração em excesso de nitrogênio para o metabolismo microbiano associadas a altas temperaturas e ao pH alcalino, tenham interferido na baixa oscilação nos valores da relação C/N nos experimentos, variando entre 8 a 16.

4.4.8 Aspecto qualitativo do potencial fertilizante

Espera-se ao final do processo de compostagem, que todas as carcaças sejam totalmente degradadas e não apresentem riscos ambientais. Segundo MUKHTAR et al. (2004) apud PAIVA (2008), o composto final produzido via compostagem de carcaças de animais apresentam uma série de nutrientes em sua composição como N, P, K, Ca, Mg, S, Mn, Zn e Cu, na qual foram confirmadas pelas análises realizadas ao final do processo de tratamento, sendo observado também a presença de Cd, Cr, Pb, Ni, Fe e B, provavelmente em função da alimentação fornecida nas granjas.

Com a intenção de avaliar futuramente o potencial fertilizante do material estabilizado, no Quadro 4 estão apresentados, em teores totais, os nutrientes e metais encontrados nas análises realizadas ao final do processo de tratamento, ou seja, ao fim da fase de maturação.

ID	ANÁLISES														
	N	P	K	Ca	S	Mg	Mn	Zn	Cu	Cd	Cr	Pb	Ni	Fe	B
	%						ppm								
Exp1	3,5	3,0	2,3	3,8	0,8	1,2	914	117	121	0,6	4,2	15	6,7	4152	46,7
Exp2	2,6	2,8	3,7	3,6	0,8	1,2	804	973	106	0,1	0,9	0,2	3,1	2254	66
Exp3	2,4	2,4	1,7	6,9	0,7	0,9	926	831	73	0,5	6,9	3,4	2,6	7627	52,6

Quadro 4. Análise qualitativa do composto final.

ID- identificação dos experimentos

Os resultados apresentados no Quadro 4 indicam um comportamento de certa forma similar em relação aos parâmetros avaliados, tendo sofrido algumas variações ao

se comparar cada elemento nos respectivos experimentos. Tais resultados podem ter sofrido influência em relação às quantidades dos materiais utilizados em cada experimento, bem como da utilização de substrato diferente no experimento 1 (palha de milho).

A presença de metais pesados como Cd e Pb podem ser decorrentes da tinta utilizada nas paredes internas e na tampa superior do biodigestor, sendo recomendado em outros estudos que se realizem essas análises no começo do processo, para confirmar a presença deste metais encontrados ao final do tratamento.

A CTC mede a capacidade do composto de adsorver cátions. Sendo que essa capacidade será tanto maior, quanto maior for o índice de humificação do material. Isto porque as substâncias húmicas que compõe o composto são colóides eletronegativos com grande superfície específica (PAIVA, 2008). Ainda segundo o autor, o processo de humificação pode ser medido pelo valor da CTC do composto ou também pela relação CTC/COT, ou seja, estas variáveis dão indicativos do grau de maturação do composto orgânico.

A CTC é responsável pela retenção de nutrientes. Um bom composto deverá apresentar CTC de 60 a 80 cmolc.dm^{-3} (KIEHL, 1998, citado por MATOS, 2006). A relação CTC/COT é um indicativo das condições de maturação do composto. Quando esta relação apresenta valores acima de 1,7 o material se apresenta com bom índice de humificação, indicando que o composto está pronto para ser utilizado (HARADA & INOKO, 1980, citado por PAIVA, 2008).

Os resultados obtidos de CTC, COT e a relação CTC/COT estão apresentados no Quadro 5.

ID	ANÁLISES		
	CTC	COT	CTC/COT
	cmolc.dm^{-3}	%	
Exp1	67,92	37,32	1,82
Exp2	55,65	28,65	1,94
Exp3	50,44	24,75	2,03

Quadro 5. Valores de CTC, COT e da relação CTC/COT ao final da maturação.

ID- identificação dos experimentos.

Pode-se observar no Quadro 5, que em todos os experimentos os materiais compostados puderam ser considerados humificados, pois apresentaram valores da relação CTC/COT acima de 1,7. Este fato indicou que o processo de compostagem foi eficiente na decomposição das carcaças de frango indicando que o tratamento poderia ser finalizado.

4.4.9 Aspecto sanitário do processo de tratamento

Os mecanismos de eliminação de patógenos durante o processo de compostagem estão associados à temperatura, à competição entre os microrganismos, à formação de antibióticos e do tempo de exposição. Estes últimos são fatores de difícil monitoramento, já a temperatura e o tempo de exposição são parâmetros possíveis de serem monitorados ao decorrer do processo de compostagem (FERNANDES e Silva, 1999, citado por CONCEIÇÃO, 2012).

Ainda segundo os mesmos, a temperatura mantida em torno de 60°C é capaz de conciliar eficiência na remoção de patógeno e alto nível de atividade biológica de degradação.

Os microrganismos de interesse deste trabalho foram os coliformes totais e termotolerantes. Esses microrganismos estão entre os mais utilizados como indicadores de qualidade, em termos sanitários, do composto final. Segundo PEREIRA NETO (2003), os melhores indicadores são as bactérias do grupo coliforme, principalmente os *Streptococcus fecalis*, a *Escherichia coli* e a *Salmonella*. Os resultados das análises microbiológicas estão apresentados no Quadro 6.

ANÁLISES (NMP.g ⁻¹)	EXP 1			EXP 2			EXP 3		
	início*	meio*	fim***	Início*	meio**	fim***	Início*	Meio**	fim***
Coliformes Totais	2,5x10 ²	1,6x10 ²	1,2x10 ³	1,0x10 ⁴	1,7x10 ²	9,8x10 ³	1,1x10 ⁴	1,4x10 ²	1,4x10 ³
Coliformes Termotolerante (E.coli)	2,1x10 ¹	< 1,0	1,2x10 ²	1,2x10 ³	< 1,0	1,8x10 ³	4,7x10 ³	< 1,0	1,6x10 ²

Quadro 6. Avaliação de organismos indicadores após Biodigestor e maturação.

NMP- número mais provável

*Início do tratamento dentro do Biodigestor

**Retirada do material do Biodigestor

*** Final do processo de maturação

Para efeito de avaliação da eficiência do processo de tratamento em relação a eliminação de patógenos, foi usado os valores de referência contidos na resolução CONAMA 375 (BRASIL, 2006). Tal resolução estabelece condições para o uso agrícola do lodo de esgoto, sendo que o mesmo deve apresentar ausência para *Salmonella* em amostra de 10 g de Sólidos totais (ST) e que a contagem de organismos de coliformes termotolerantes seja menor que 10³ NMP/g de ST.

Após passar pelo Biodigestor, em todos os experimentos, os valores para coliformes termotolerantes foram abaixo do recomendado, indicando a excelente eficiência do Biodigestor para eliminação destes microrganismos. Ao final dos Experimentos 1 e 3, os valores encontrados para coliformes termotolerantes ainda se enquadraram nos limites permissíveis, atestando a eficiência durante todo processo de tratamento e a possibilidade para o uso agrícola. No experimento 2, ao final da maturação o composto se apresentou com valores superiores ao recomendado, supostamente devido a contaminação do material no pátio de compostagem.

Não somente no Experimento 2 foi observado a elevação na concentração de microrganismos ao final da maturação. Tal evento pode estar associado às condições de umidade, temperatura do material no pátio de compostagem ou uma recontaminação na massa do composto.

PAIVA (2008), em seu trabalho de compostagem de carcaças de frango com aeração forçada positiva, observou esse mesmo processo de recontaminação da massa de resíduos nas leiras em amostras coletadas 30 dias após o início da compostagem.

Segundo o autor, essa recontaminação ocorreu devido à presença desses microrganismos nas regiões periféricas das leiras, que não ficaram expostas as temperaturas sanitizantes, como as encontradas no interior. Com a correção do teor de água, estes microrganismos migraram para o interior da massa de compostagem recontaminando o composto.

Tal fato indica a necessidade de realizar pelo menos um reviramento durante o período de maturação, para que o material na camada externa da pilha possa ser introduzido no interior desta para ficar exposta a temperaturas sanitizantes.

5. CONCLUSÕES

Conhecer as condições iniciais dos resíduos foi um fator crítico no processo de avaliação, pois este serviu de referência inicial, ou seja, foi o ponto de partida do processo de tratamento, caracterizando individualmente cada componente a ser utilizado. A partir do conhecimento individual de cada resíduo pode-se então compatibilizar a melhor maneira de homogeneização destes

Biodigestor mostrou-se eficiente na degradação das carcaças, sendo que o período proposto de 49 dias no interior do biodigestor correspondeu à expectativa de degradação em virtude do período de engorda dos frangos. Obteve-se quase 100% de degradação ao final da etapa no interior do biodigestor, apresentando apenas ossos e algumas penas.

As temperaturas atingidas dentro do biodigestor foram suficientes para sanitizar o material, atribuindo a esta metodologia uma grande vantagem em relação aos demais métodos de tratamento, pois em todos os experimentos o material apresentou valores para coliformes termotolerantes menor que uma unidade. Porém, no pátio de maturação ocorreu contaminação do material, sendo recomendado realizar pelo menos um reviramento manual durante o processo de maturação para garantir uma maior uniformidade no produto final formado, em termos de decomposição da matéria orgânica, teor de água e também da qualidade sanitária.

O biodigestor se mostrou eficiente em relação à higienização do local quanto ao controle da atração de vetores e ausência de odor desagradável, diferentemente dos outros métodos utilizados para o tratamento das carcaças de frango.

Este método proposto para eliminação de carcaças apresentou algumas novidades referente aos métodos utilizados na atualidade, como por exemplo, a composteira. Com a utilização do biodigestor a eliminação das carcaças pode ser realizada na própria granja e por ser um ambiente fechado e altamente eficaz na eliminação de organismos patogênicos, proporciona maior biossegurança.

O material a ser compostado apresentou maior ressecamento próximo às lanças de aeração, sendo recomendado a disposição de material de poda no entorno das lanças para evitar tal ressecamento.

As condições atmosféricas nas quais o material fica exposto podem influenciar no processo, uma vez que a massa de resíduos fica exposta a fatores externos como gradiente de temperatura e eventos pluviométricos, podendo alterar o teor de água do material.

O teor de água é um fator limitante do processo de compostagem, tornando-se necessário a correção deste parâmetro para valores próximos a 55%, para que não haja comprometimento na degradação das carcaças, principalmente devido ao método adotado de aeração forçada.

As taxas de aeração foram satisfatórias, garantindo as necessidades dos microrganismos e controlando a temperatura e o teor de água dentro das condições favoráveis para a compostagem em relação a demanda bioquímica de oxigênio. Porém a taxa de 5min/6horas avaliada no Experimento 3, em consonância com outros fatores intervenientes no processo, apresentou os melhores resultados na avaliação da degradação das carcaças de frango, sendo portanto a mais recomendada.

Com o trabalho observou-se a capacidade de decisão para solucionar os problemas surgidos como a deformação dos tubos de aeração, obtenção de amostras mais representativas e otimização da taxa de aeração e do teor de água.

Com a obtenção de alguns resultados obtidos neste trabalho, recomenda-se que sejam feitas análises microbiológicas semanalmente para determinar qual seria o tempo necessário para eliminação dos organismos patogênicos, otimizando assim o processo de eliminação, como também a realização de análises de metais pesados antes do processo de carga dos resíduos para comprovar a existência ou não de metais pesados como Cd e Pb na massa de resíduos e direcionar mudança de materiais na confecção do biodigestor.

6. REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York: APHA, WWA. WPCR, 19a. Ed.,1995.

ANDREOLI, C.V. **Aproveitamento do Lodo Gerado em Estações de Tratamento de Água e Esgotos Sanitários, inclusive com a Utilização de Técnicas Consorciadas com Resíduos Urbanos**. Rio de Janeiro: Rima, 2001. 282p.

AZEVEDO, M.A. **Estudo e avaliação de quatro modos de aeração para sistemas de compostagem em leiras**. Belo Horizonte: Escola de Engenharia da UFMG. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, 1993. 230p

AZEVEDO, M. A. **Avaliação do Risco à Saúde da População Vizinha às Áreas de Disposição Final de Resíduos Sólidos Urbanos: O Aterro Sanitário como Cenário de Exposição Ambiental**. São Carlos, 2004. 263p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo

BIDONE, F. R. A.; POVINELLI, J. Conceitos básicos de resíduos sólidos. São Carlos: EESC – USP, 1999. 120p.

BLAKE, J. P.; D. E. CONNER AND J. O. DONALD. **Composting poultry carcasses**, *Brit. Poultry Sci.* 37 (1996), pp. S10–S11.

BRASIL, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA PECUÁRIA E ABASTECIMENTO. **Instrução Normativa Nº 8/2004**. Proíbe em todo território nacional a produção, comercialização e a utilização de produtos destinados à alimentação de ruminantes que contenham em sua alimentação proteínas e gordura de origem animal. Brasília, 2004.

BRASIL, MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Resolução CONAMA Nº 375/2006**. Define critérios e procedimentos para o uso agrícola de lodos de esgotos gerado sem

estações de tratamento de esgoto sanitário e seus produtos derivados, e dá outras providências. Brasília, 2006.

CONCEIÇÃO, P. S. **Avaliação da tratabilidade da cama de frango por processos aeróbios de compostagem visando sua reutilização**. 2012. 73 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Brasil, 2012.

DAGNALL, S.; HILL, J.; PEGG, D. Resource mapping and analysis of farm livestock manures – assessing the opportunities for biomass-to-energy schemes. **Bioresource Technology**, nº 71 pg 225-234, Elsevier Science B.V 2000

ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY (EPA). **Review of on-farm disposal treatment risks and the potential for recycling of wastes produced from commercial chicken farms and processors**. Australia, 1999.

ESALPL. **Manual de compostagem**. 2011. Disponível em:<http://www.ci.esapl.pt/mbrito/compostagem/Apresentacao_manual_de_compostagem.htm>. Acesso em: 27 mar. 2011.

FERNANDES, P. A. L. **Estudo comparativo e avaliação de diferentes sistemas de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. 1999. 113 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal, 1999.

FERNANDES, F.; SILVA, S. M. C. P. **Manual Prático para compostagem de Biossólidos**. Rio de Janeiro: ABES. 1999. 91p.

FIALHO, L.L.; SILVA, W.T.L.; MILORI, D.M.B.P.; SIMÕES M.L.; MARTIN NETO, L. Monitoramento Químico e Físico do Processo de Compostagem de Diferentes Resíduos Orgânicos. **Circular técnica 29** - Embrapa. São Carlos, 2005. Disponível em: www.cnpdia.embrapa.br/publicacoes. Acesso em: 11/11/07

GRAVES, R.E.; HATTEMER, G.M.; STETTLER, D.; KRIDER, J.N.; CHAPMAN, D. **Composting**. In: UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, NATURAL RESOURCES CONSERVATION SERVICE, Part 637 Environmental Engineering - National Engineering Handbook. Washington, 2000. 88p.

HARADA, Y.; YNOKO, A. Relationship between cation-exchange capacity and the degree of maturity of city refuse composts. **Soil Sci. Plant Nutr.** 26, 1980. p.353- 362.

HENRY, P. E. S. T. (2003). CAMM Poultry. Capítulo 8, Dead animal disposal. Disponível em: http://www.clemson.edu/camm/Camm_p/Contents.htm. Acesso em: 10/11/07

INÁCIO, C. T.; MILLER, P.R.M. **Compostagem: ciência e prática para gestão de resíduos orgânicos**. Embrapa Solos. Rio de Janeiro, 2009. 156p.

KEENER, H.M.; ELWELL, D.L.; MONNIN, M.J. **Procedures and equations for sizing of structures and windrows for composting animal mortalities**. Applied Engineering in Agriculture, 16 (6), 2000. p. 68-692 apud MUKHTAR, S.; KALBASI A.; AHMED A. carcass disposal: A comprehensive review. National Agricultural Biosecurity Center Consortium, USDA APHIS Cooperative Agreement Project, Carcass disposal working group, Kansas State University. Kansas, 2004. Disponível em: <http://fss.k state.edu/research/books/carcassdisp.html>. Acesso em: 11/09/2007.

KIEHL, E.J. **Fertilizantes orgânicos**. São Paulo, Editora Agronômica Ceres, 1985. 492p.

KIEHL, E.J., Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto. Piracicaba: E.J. Kiehl, 1998. 171p., apud MATOS, A.T. ; Prática de tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos. Associação de Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola da UFV. (Série Caderno Didático nº 45), Viçosa, 2006. 43p.

KIEHL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto.** Piracicaba: E. J. Kiehl, 2004. 173 p.

LAWSON, M. J.; KEELING, A. A. **Production and physical characteristics of composted poultry carcasses**, Brit. Poultry Sci. 40 (1999), pp. 706–708.

LIMA, Q. M. L. **LIXO: Tratamento e Bioremediação**, 3ª Ed. rev. Ampl. 265p. 2004.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos.** Associação de Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, (Série Caderno Didático nº 37). Viçosa, 2006a. 119p.

MATOS, A. T. **Prática de tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos.** Associação de Engenheiros Agrícolas de Minas Gerais. Departamento de Engenharia Agrícola da UFV, (Série Caderno Didático nº 45). Viçosa, 2006b. 43p.

McCASKEY, T. A.; **Dead bird composting.** Final report for Contract USDA-43-2D81-1-561, Auburn University, 1994. p. 27.

MENDONÇA, E. S; MATOS, E. S. **Matéria Orgânica do solo: Métodos e analyses.** Viçosa, 2005. 77p.

MUKHTAR, S.; KALBASI A.; AHMED A. Composting. In: **Carcass disposal: A comprehensive review.** National Agricultural Biosecurity Center Consortium. USDA APHIS Cooperative Agreement Project, Carcass disposal working group, Kansas State University. Kansas, 2004.

MURPHY, D. W. **Composting as a dead bird disposal method**, Poultry Sci. 67 (1988), p. 124.

NASCIMENTO, C. W. A.; BARROS, D. A. S.; MELO, E. E. C. **Alterações químicas em solos e crescimento de milho e feijoeiro após aplicação de lodo de esgoto.** 2004.

OLIVEIRA, A. L., **Conseqüências ambientais**. Cadastro técnico. Escola de Veterinária UFMG, n. 17, p. 69-73, 1996.

PAIVA, E.C.R. **Avaliação da compostagem de carcaças de frango pelos métodos da composteira e leiras estáticas aeradas** (Dissertação de mestrado em Engenharia Civil) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2008. 163p.

PAIVA, E.C.R. **Variáveis de projeto, operação de sistemas de leiras estáticas aeradas e qualidade do composto produzido com carcaças de aves mortas**. (Tese de doutorado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011. 111p.

PEDROSO-DE-PAIVA, Doralice. **Compostagem: Destino correto para animais mortos e restos de parição**. In: Curso de Capacitação em Práticas Ambientais Sustentáveis: treinamentos 2002. Embrapa Suínos e Aves. Concórdia, SC. 2002. Tópico temático. p 28-38.

PERDOMO, C. C. **Controle do ambiente e produtividade de frangos de corte**. In: *A produção animal na visão dos brasileiros, XXXVIII Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, Piracicaba, SP, 2001, p.91-110.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem processo de baixo custo**. Belo Horizonte: UNICEF, 1996. 56p.

PEREIRA NETO J.T. **Compostagem: fundamentos e métodos**. 1º Simpósio sobre compostagem: Ciência e Tecnologia – Universidade Estadual Paulista, 18 a 19 de Agosto de 2004 – FCA - GEMFER.

PEREIRA NETO, J.T. **Manual de compostagem**, Processo de baixo custo- ed, Revisada e aumentada. Viçosa, MG: Ed, UFV, 2007. 81 p.

PUYUELO, B.; GEA, T.; SÁNCHEZ, A. A new control strategy for the composting process based on the oxygen uptake rate. **Chemical Engineering Journal**, n.165, 2010. p. 161-169.

REIS, M. F. P. 2005. **Avaliação do processo de compostagem de resíduos sólidos urbanos**. Dissertação de Doutorado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia. UFRGS. Porto Alegre.

Regulamento (CE) n.º 1069/2009 do Parlamento Europeu e do Conselho de 21 de Outubro de 2009 que define regras sanitárias relativas a subprodutos animais e produtos derivados não destinados ao consumo humano e que revoga o Regulamento (CE) n.º 1774/2002 (regulamento relativo aos subprodutos animais). Disponível em: <<http://sandach.marm.es/Publico/default.aspx>>. Acesso em 18 out. 2013.

RICHARD, T.L.; VEEKEN, A.H. M.; WILDE, V.; HAMELERS, H.V.M. Air-Filled Porosity and Permeability Relationships during Solid-State Fermentation. **Biotechnol. Prog.**, n. 20, 2004. p.1372-1381.

RUSSO, M. A. T. 2003. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. Disponível em: <http://www.uc.pt/mhidro/Tratamentos_Resíduos_Sólidos.pdf>. Acesso em: 27 mar. 2011.

SELECCIONES AVÍCOLAS. 2010: **Una innovadora tecnología para hacer “AVI-COMPOST”**. Disponível em: <<http://seleccionesavicolas.com/share/5737/4c99dfe27431c3601a2bb0bf2082c8a7dfc70bc6>>. Acesso em: 15 out. 2013.

SESAY, A.A.; LASARIDI, K.E.; STENTIFORD, E.I. Aerated static pile composting of municipal solid waste (MSW): a comparison of positive pressure aeration with hybrid positive and negative aeration. **Waste Management Research**, June 1998, vol. 16, n. 3. p. 264-272.

SILVA, W.T.L. et al. **Método de aproveitamento biossólido proveniente de lodo de esgoto residencial através de processo de compostagem seguido de biodigestão anaeróbia**. São Carlos: Embrapa Instrumentação Agropecuária, 2004. 50 p. (Embrapa Instrumentação Agropecuária. Documentos, 13).

SORDI, A.; SOUZA, S. N. M.; MAGALHÃES, E. A. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica proveniente do uso dos resíduos da avicultura de corte na mesorregião oeste do Paraná. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.316 12, n.4, 316-321, Out./Dez., 2004.

SPADOTTO, C.A.; RIBEIRO, W. **Gestão de Resíduos na agricultura e agroindústria**. Botucatu: Fundação de Estudos e Pesquisas Agrícolas e Florestais, 2006. 320 p.

STENTIFORD, E.I.; PEREIRA NETO; MARA, D. D. Diversity of composting system. In: Low cost composting - Research Monographs in Tropical Public Health Engineering. University of Leeds, Edited by D. D. Mara. March, 1996a.

STENTIFORD, E.I.; PEREIRA NETO, J.T.; MARA, D. D. Composting of refuse and sewage sludge using the aerated static pile: Low cost composting – Research 163 Monographs in Tropical Public Health Engineering. University of Leeds, Edited by D. D. Mara. March, 1996b.

UNIÃO BRASILEIRA DE AVICULTURA – UBABEF. Relatório anual 2012. São Paulo, 2012. Disponível em <http://www.ubabef.com.br/publicacoes>. Acesso em: 18 abr. 2013.

VALENTE, B.S.; XAVIER, E. G.; MORSELLI T.V.G.A.; JAHNKE; D.S., BRUM JÚNIOR;. 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**, Córdoba, Espanha, v.58, p. 59-85. 2009.

www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_impressao.php?id_noticia=1915
sítio visitado em 01/08/2011.