

TRATAMENTO DE DEJETOS NO BRASIL: COMPARATIVO ENTRE AS TÉCNICAS DE COMPOSTAGEM E BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

José Antonio Ramos da Silva¹

Ana Beatriz Carvalho Terra²

Claudemir de Assis³

Ligiane Aparecida Florentino⁴

Fernando Ferrari Putti⁵

RESUMO: O objetivo desse artigo foi descrever as tecnologias aplicadas ao tratamento de dejetos animais e as suas vantagens ambientais e econômicas. O estudo envolve dados de dejetos de aves, bovinos e suínos dando ênfase à a duas tecnologias: biodigestores e a compostagem. Essas técnicas são utilizadas com o objetivo de mitigar a emissão de gases do efeito estufa (GEE) e a degradação do meio ambiente com um possível retorno financeiro por meio da venda de crédito de carbono no mercado internacional proporcionado pelo protocolo de Quioto.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestores; Compostagem; Dejetos; Sustentabilidade; Tratamento.

TREATMENT OF WASTES IN BRAZIL: A COMPARISON BETWEEN COMPOST TECHNIQUES AND ANAEROBIC BIODIGESTERS

ABSTRACT: Technologies for the treatment of animal wastes and their environmental and economic advantages are discussed. Current study involves data on poultry, cattle and swine wastes with emphasis on biodigester and compost technologies. Techniques are used to mitigate the emission of greenhouse gases and the degradation of the environment with possible financial return by selling of carbon credit in the international market through the Kyoto protocol.

KEY WORDS: Biodigesters; Composts; wastes; Sustainability; Treatment.

¹ Mestre em Sistemas de Produção na Agropecuária e Doutorando em Agricultura Sustentável na Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, Brasil.

² Mestres em Ciência Animal e Doutoranda em Ciência Animal na Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, Brasil.

³ Mestre em Sistemas de Produção na Agropecuária pela Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, Brasil.

⁴ Docente da Universidade José do Rosário Vellano - UNIFENAS, Brasil.

⁵ Doutorado em Agronomia na FCA/UNESP, Brasil.

INTRODUÇÃO

O elevado crescimento da população mundial e a sua demanda por alimentos fizeram com que houvesse fortes pressões para o desenvolvimento do setor agropecuário, porém não houve preocupação com os impactos negativos que essas atividades geram sobre o meio ambiente, de forma que hoje se torna essencial a utilização de práticas sustentáveis para mitigar a emissão de gases do efeito estufa e redução da degradação do ambiente (MIELE *et al.*, 2015).

A biomassa, animal ou florestal, refere-se à fração biodegradável de produtos agrícolas e apresenta grande potencial para se tornar uma das fontes de energia alternativa com maior relevância (ANEEL, 2015). A produção animal destaca-se por ser o setor com maior potencial poluidor por produzir grandes quantidades de resíduos, sendo a suinocultura a principal dessas atividades (SILVA, 2015).

Com base no Protocolo de Quioto foram desenvolvidos no Brasil programas estaduais e federais com o objetivo de estimular a produção sustentável de alimentos, fazendo com que os produtores invistam no tratamento de dejetos animais.

O tratamento adequado de dejetos contribui para a redução da emissão de metano que representa o equacionamento de um problema ambiental e possibilita um aumento na renda dos agricultores, seja pelo composto orgânico produzido ou pela geração de energia automotiva, térmica e elétrica por meio do uso do biogás (Plano Agricultura de Baixa Emissão de Carbono “ABC”, 2012).

Existem três sistemas básicos de tratamentos de dejetos: os tratamentos físicos, químicos e biológicos (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015). O manejo dos dejetos é realizado conforme o tipo de produção, isto é, considerando-se o ciclo de vida produzido na propriedade, sendo que a escolha do método a ser adotado é principalmente baseada na disponibilidade financeira de cada produtor e qual o objetivo final do processo: abatimento de carga orgânica, remoção de nutrientes, inativação de organismos patogênicos, reúso da água, etc. (BORTOLI, 2010; CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015).

Vale ressaltar que o melhor sistema de tratamento de dejetos deve ser aquele que minimiza o impacto ao meio ambiente, maximiza a recuperação dos

recursos energéticos, aumenta a produtividade e sustentabilidade do produtor (KUNZ; ENCARNAÇÃO, 2007).

No tratamento físico, o dejetos passa por um ou mais processos físicos, quando ocorre a separação das partes sólida e líquida. Para esse método são utilizados os sistemas de peneiramento, decantação, centrifugação e/ou prensagem (CARDOSO; OYAMADA; SILVA, 2015). Os sistemas biológicos são utilizados com maior frequência para o tratamento de dejetos animais, em função da alta biodegradabilidade da matéria orgânica (BONTURI; DIJK, 2012). É um método aplicado desde a antiguidade e que pode ser realizado por meio de lagoas e tanques mecanicamente aerados, valos de oxidação, processos anaeróbios, lagoas anaeróbias de degradação, biodigestores e compostagem. Por fim, tem-se os sistemas químicos, que se utilizam de produtos inorgânicos para otimizar as fases ocorridas no processo de tratamento dos dejetos e controlar os odores dessa operação (MATOS, 2014).

A partir disso, o presente estudo objetivou apresentar as principais tecnologias aplicadas ao tratamento de dejetos e suas vantagens ambientais e econômicas.

2 METODOLOGIA

A metodologia desse trabalho foi baseada em pesquisas bibliográficas, pelo suporte obtido por meio do levantamento de materiais publicados acerca do assunto, procurou-se definir os impactos de cada método de produção animal bem como as tecnologias que estão sendo utilizadas para o tratamento de dejetos animais, com o objetivo de adequar o produtor às políticas de meio ambiente existentes no país.

2.1 MÉTODOS DE PRODUÇÃO ANIMAL

2.1.1 Tratamento de Dejetos de Aves

De acordo com uma projeção do Ministério da Agricultura e Pecuária, de 2017/2018 até 2027/2028, a avicultura apresenta o maior índice de crescimento dentre as carnes, cerca de 2,6% ao ano (MAPA, 2017). Por este motivo tem-se a

necessidade de estudos mais aprofundados em novas tecnologias para que haja um processo mais produtivo e sustentável. Uma criação de aves de postura em produção, de acordo com Augusto (2007), produz cerca de 0,1 kg de dejetos/dia no sistema automatizado e 0,05 kg de dejetos/dia no sistema convencional, com base na matéria natural. No tocante à matéria seca, 0,028 kg de dejetos/dia no sistema automatizado e 0,017 kg de dejetos/dia no sistema convencional.

Na atividade avícola o volume de resíduos gerados é muito grande, destacando-se a cama de frango. A cama de frango é composta por dejetos das aves, penas, restos de ração e algum substrato vegetal que forra o piso dos galpões, apresentando carga elevada de nutrientes que por seu volume gerado e a alta produção pode causar grande impacto ao meio ambiente quando sua disposição final é realizada de forma inadequada (DALÓLIO *et al.*, 2017).

Normalmente, a cama de frango é substituída a cada 2 lotes, porém, podem ser utilizadas em até 3 criadas em uma mesma cama. O esterco produzido por uma ave alojada, em média, é de 1,5 kg do composto orgânico (CARNEIRO *et al.*, 2004).

Uma prática comum adotada no gerenciamento dos resíduos provenientes da avicultura era a alimentação dos ruminantes (cama aviária), que por sua vez tornou-se um grande problema após proibição do uso deste material para essa finalidade em 2001 (IN 1, 17/07201, Ministério da Agricultura e Abastecimento). Com isso, a compostagem passou a ser a melhor alternativa para o tratamento de dejetos provenientes da avicultura por se tratar de um método de fácil manejo, baixo custo e eficiente, porém possui a desvantagem da diminuição da qualidade como fertilizante devido à perda de nitrogênio que se perde na forma de amônia e carbono que estão na forma de metano e gás carbônico (COLLINS *et al.*, 1999; HAHN *et al.*, 2012; SIVAKUMAR *et al.*, 2008; VILELA; PIESANTI, 2015).

Os biodigestores são câmaras responsáveis pela biodigestão da matéria orgânica onde se obtém como produto final o biofertilizante que é riquíssimo em micronutrientes e o biogás que pode ser convertido para a geração de térmica e/ou elétrica para atender as necessidades energéticas dentro da produção, garantindo aos avicultores eletricidade suficiente para não dependerem diretamente de concessionárias (BONTURI; DIJK, 2012; HAHN *et al.*, 2012).

2.1.2 Tratamento de Dejetos de Bovinos

No Brasil há o maior rebanho comercial bovino do planeta, porém a atividade é considerada como uma das mais danosas ao meio ambiente, tanto a criação de corte extensivo quanto os sistemas confinados para produção leiteira (FACHINETTO; BRISOLA, 2018).

A pecuária brasileira é responsável por uma grande quantidade de emissão de GEE, gás metano (CH₄) e o dióxido de carbono (CO₂) no decorrer de todo o sistema produtivo, sendo que o CO₂ é devido ao alto índice de desmatamento, degradação do meio ambiente e manejo inadequado das pastagens (BERNDT, 2010; OLIVEIRA, 2011). Os tratamentos para dejetos de bovinos são, em sua maioria, biológicos, podendo ser: lagoas aeróbias, lagoas anaeróbias, digestão anaeróbia e compostagem. A compostagem é bastante indicada para resíduos sólidos devido à facilidade de manejo, uma vez que esse método proporciona uma boa estabilização do material e conservação dos nutrientes.

O tratamento biológico é utilizado, na maioria das vezes, para tratamento de dejetos bovinos, podendo ser utilizadas as lagoas aeróbicas e anaeróbicas, a digestão aeróbica e a compostagem (KUNZ; ENCARNAÇÃO, 2007).

De acordo com os mesmos autores, a indicação da compostagem é devido a uma melhor estabilização do material e ainda uma conservação mais significativa dos nutrientes.

2.1.3 Tratamento de Dejetos de Suínos

Superando os desafios do cenário econômico nacional, a produção brasileira de carne suína registrou crescimento de 4,95% em 2015, comparado ao ano de 2014, correspondendo à produção de 3,643 milhões de toneladas de carne. Após Santa Catarina, Rio Grande do Sul e Paraná, Minas Gerais foi o Estado que mais produziu carne suína em 2015 (400,13 mil toneladas) (ABPA, 2016).

Os avanços no sistema de produção da atividade suinícola permitiram saltos na produtividade. Por outro lado, nas últimas décadas, os moldes atuais têm despertado preocupação ambiental no meio acadêmico, produtivo e de grande parte

dos agentes públicos. O lançamento direto dos dejetos, sem o devido tratamento nos cursos d'água, acarreta desequilíbrios ecológicos e poluição da água, disseminação de patógenos e contaminação das águas potáveis (SERPA FILHO *et al.*, 2013).

A produção de suínos pode acarretar poluição do tipo olfativa, associada ao problema do odor desagradável dos dejetos, devido à evaporação de determinados compostos que causam prejuízo ao bem-estar humano e animal. Dentre as técnicas de tratamento, o manejo dos dejetos pode ser realizado pelos seguintes processos que visam o armazenamento e tratamento (SERPA FILHO *et al.*, 2013; DIAS *et al.*, 2016): lagoas de decantação, esterquias, bioesterquias, biodigestores, compostagem e cama sobreposta.

2.2 TECNOLOGIAS UTILIZADAS

Dentre as tecnologias aplicadas no tratamento de dejetos serão abordados os biodigestores e as técnicas de compostagem, sendo essas as mais indicadas para os produtores de animais que visam se adequar às leis relacionadas à Política Nacional do Meio Ambiente.

2.2.1 Biodigestores Anaeróbios

Os biodigestores anaeróbios são compostos por duas partes: uma câmara fechada, que permite a digestão da biomassa, e um gasômetro ou campânula que serve para armazenar o biogás e, por fim, tem-se um efluente rico em nutrientes (SALES FILHO, 2014).

Para o tratamento de volumes mais elevados de resíduos são utilizados os biodigestores do tipo Chinês, Indiano e Canadense (FRIGO *et al.*, 2015).

O modelo Chinês é construído em quase sua totalidade de alvenaria e fica abaixo do solo, por este motivo dispensa a utilização de gasômetro na chapa de aço, o que diminui custos. Em sua estrutura há uma entrada, uma saída e uma válvula por onde se coleta o gás gerado (JORGE; OMENA, 2012). Possui ainda a vantagem de poder canalizar o gás produzido, porém deve-se atentar para uma

boa impermeabilização do tanque e a criação de uma câmara com regulação para trabalhar com baixa pressão (ANDRADE *et al.*, 2012).

O tipo Indiano é composto por uma parede central que é para dividir o tanque de fermentação de duas câmaras, permitindo que o material possa circular pelo interior da câmara de fermentação. É caracterizado por uma tampa, conhecida como gasômetro, que pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação e possui pressão constante, com isso não há a necessidade de regulação de aparelhos que utilizam o metano (JORGE; OMENA, 2012; TARRENTO; MARTINES, 2006).

De acordo com Gaspar (2003), este modelo pode ser adaptado ao tipo de solo e ao clima local e necessita apenas uma maior observação no tocante à relação entre a capacidade de campânula e do tanque digestor.

O modelo Canadense é o mais utilizado no Brasil. Trata-se de um biodigestor de fácil instalação e baixo custo por ser fabricado com flexível de PVC, podendo ser usado desde pequenas a grandes propriedades. Constitui-se de uma caixa de entrada, por onde é inserido o material orgânico para tratamento; uma câmara de fermentação subterrânea, onde as bactérias anaeróbicas farão a degradação do material inserido; uma campânula superior, onde o biogás é produzido; uma caixa de saída, para permitir que o efluente estabilizado saia; um registro para controle de saída do biogás e um queimador do biogás (OLIVEIRA, 2012).

O Tempo de Retenção Hidráulica (trh) pode variar de 30 a 50 dias, levando em consideração variações climáticas (temperatura) que podem variar de região para região e da temperatura da biomassa propriamente dita, onde no final deste processo obtém-se o material já estabilizado (OLIVEIRA, 2004).

O destaque da digestão anaeróbica se mostra eficiente na degradação dos resíduos orgânicos sólidos, estabilizando o material que se encontra inserido no biodigestor e convertendo a matéria orgânica em biogás, que pode ser usado para geração de energia térmica, elétrica ou mecânica e biofertilizante que pode ajudar a melhorar as propriedades físico-químicas e biológicas do solo (REIS, 2012; SAWIN *et al.*, 2012).

A digestão anaeróbia é o processo de degradação da matéria orgânica pela ação de microrganismos, na ausência de oxigênio. Este processo produz dois produtos de grande valor: o biogás e um líquido efluente, utilizado comumente

como fertilizante. Segundo Bonturi e Dijk (2012), a digestão anaeróbia envolve processos metabólicos complexos, que dependem da atividade de três grupos de microrganismos: bactérias fermentativas (acidogênicas), bactérias sintróficas (acetogênicas) e microrganismos metanogênicos. Os biodigestores são compostos pela câmara de fermentação, onde os dejetos são destinados e sofrem o processo de fermentação, e o gasômetro, que armazena o biogás produzido. Esse processo pode ser por batelada, quando o substrato é adicionado de uma só vez ao biodigestor, ou contínuo, onde os abastecimentos são periódicos.

A decomposição anaeróbia desenvolve-se ao longo de três fases distintas: período de hidrólise, período de acidulação e período de metanogênese. No primeiro período, segundo esses autores, ocorre a liberação de enzimas extracelulares responsáveis por hidrolisar as partículas orgânicas, transformando-as em moléculas solúveis. No período de acidulação as bactérias produtoras de ácidos degradam moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em ácidos orgânicos e, por fim, na metanogênese as bactérias agem sobre o hidrogênio e dióxido de carbono convertendo-os em álcool (metanol) (SEIXAS; FOLLE; MARCHETTI, 1981).

A utilização de biodigestores tem como vantagem a produção de uma energia sustentável que acaba por reduzir os custos do produtor com outras fontes de energia, sendo também sustentável do ponto de vista ambiental, uma vez que reduz a quantidade de dejetos poluentes no ambiente (BONTURI; DIJK, 2012). Os biodigestores podem ser utilizados para os três tipos de produção animal (bovinos, aves e suínos), porém são mais frequentemente utilizados para bovinos e suínos, que, por apresentarem maior produção de dejetos por animal por dia, têm uma maior produção de biogás (COLATO; LANGER, 2011).

Algumas empresas vêm desenvolvendo projetos que visam reduzir as emissões de gases de efeito estufa e visualizam a possibilidade de aumentar suas receitas através da venda de créditos de carbono e os biodigestores vêm sendo a técnica mais difundida entre os produtores uma vez que contribuem para a redução na emissão dos principais gases causadores do efeito estufa e possibilitam a venda de créditos de carbono.

Estudo realizado por Angonese, Campos e Welter (2007) mostrou que em uma granja em sistema de terminação com 600 animais isolados, utilizando

biodigestores, o potencial de redução de carbono foi de 325,16 tCO₂eq/ano. Com a comercialização da Redução Certificada de Emissões, a produção poderá obter acréscimo de R\$ 3.186,00/ano.

Utilizando a técnica de biodigestores o produtor contribuirá com o meio ambiente e ganhar créditos (crédito de carbono) dos quais podem ser negociados no mercado internacional, conforme o protocolo de Kyoto (PEREIRA, 2005).

De acordo com Zanin, Baragantini e Pessatto (2010), a implantação de um biodigestor exige a construção de uma estrutura para o funcionamento do mesmo. Os custos envolvem os reservatórios de biogás limpo, conjuntos de limpeza do biogás e a mão de obra, além de outros equipamentos acessórios. Ainda de acordo com Zanin, Baragantini e Pessatto (2010), o custo de implantação de um biodigestor fica em torno de R\$ 634.898,00 e a recuperação desse valor de investimento se dá em 5 anos e 9 meses, ou seja, em um curto período de tempo o produtor já passa a obter lucro através da utilização do biogás.

Barrera (2003) ressalta que para produzir um metro cúbico de biogás são necessários: 25 kg de esterco bovino, ou 5 kg de esterco seco de galinha, ou 12 kg de esterco suíno.

Já em estudo realizado por Oliveira (2001), foram avaliados os potenciais de geração de biogás a partir de diferentes resíduos orgânicos animais (suínos, bovinos e aves) com base na produção diária de esterco por animal. Os resultados obtidos encontram-se descritos na Tabela 1, onde é possível perceber que os bovinos possuem um maior potencial de produção de biogás.

Tabela 1. Potencial de geração de biogás considerando diferentes fontes de resíduos orgânicos animais

Animal (Peso vivo/kg)	Kg (esterco/Animal/dia)	M ³ (biogás/kg esterco)	M ³ (biogás/kg SV)	M ³ (biogás/animal/dia)
Aves (2,5)	0,12-0,18	0,05	0,31-0,62	0,014
Bovinos (500)	10-15	0,038	0,094-0,31	0,36
Suínos (90)	2,3-2,8	0,079	0,37-0,50	0,24

Fonte: Oliveira (2001). SV = Sólidos Voláteis.

O biodigestor é uma técnica que pode ser utilizada desde os pequenos até os grandes produtores (COLATO; LANGER, 2011) por se tratar de uma ferramenta que além de ajudar na mitigação de emissão dos GEEs, gera o biogás, o biofertilizante e ainda reduz a poluição que é despejada nos recursos hídricos (BONTURI; DIJK, 2012).

O efluente final, denominado de biofertilizante, resultante do processo de fermentação anaeróbia, é fator de agregação de valor às propriedades rurais. Segundo Fornari (2002), o biofertilizante possui teores de nutrientes iguais e até maiores que o do material original. Silva *et al.* (2012) indicam que os constituintes desses efluentes são produtos que podem aumentar a fertilidade dos solos por conterem nutrientes essenciais às plantas, em virtude da matéria orgânica que lhe é adicionada, com a conseqüente formação de húmus.

Ainda de acordo com os mesmos autores, o biofertilizante apresenta uma série de substâncias que podem alterar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo, afetando, em geral, o desenvolvimento das plantas.

Para Haack (2009), o biofertilizante é tido como fertilizante nobre, uma vez que é caracterizado por apresentar teores médios de macronutrientes como 1,5 a 2,0% de nitrogênio (N), 1,0 a 1,5% de fósforo (P) e 0,5 a 1,0% de potássio (K). O autor defende que o uso do biofertilizante tem potencial para substituir total ou parcialmente os fertilizantes sintéticos. A literatura indica vários estudos que demonstram a eficiência de biofertilizante, principalmente aqueles que tratam para fins agrônômicos (MOREIRA *et al.*, 2015; MUFATTO *et al.*, 2016; SEDIYAMA *et al.*, 2014; VILLELA JUNIOR; ARAÚJO; FACTOR, 2003).

2.2.2 Compostagem

A compostagem acontece pela ação de microrganismos termofílicos, que atuam na faixa de temperatura entre 45 °C e 85 °C. Em condições normais, a temperatura de compostagem se mantém entre 50 °C e 80 °C, sendo um bom indicador do andamento do processo (KUNZ; ENCARNAÇÃO, 2007). A degradação de dejetos animais via compostagem apresenta a vantagem de reduzir o volume e o peso do dejetos, produção de material estável sem geração de odores desagradáveis

(quando corretamente manejado) e com alto valor agrônômico, além da possibilidade de reduzir a quantidade de microrganismos patogênicos (TURNER *et al.*, 2005).

A compostagem tem por objetivo remover a umidade da matéria orgânica, convertendo-a a uma matriz sólida. De acordo com Thompson, Wagner-Riddle e Fleming (2004), quando comparado entre a forma sólida e líquida do manejo animal, foi observada uma redução de 50% da emissão de gases de efeito estufa, metano (CH₄) e óxido nitroso (N₂O). Estudos realizados por Sardá *et al.* (2010) concluíram que a emissão de CH₄ foi reduzida em 7 vezes no processo de compostagem e a emissão de H₂S foi inexpressiva, indicando que o manejo dos resíduos na forma sólida reduz os impactos ambientais pela mitigação do efeito estufa.

Em estudos realizados por Orrico Júnior *et al.* (2010), a compostagem demonstrou ser um método eficiente para o tratamento de carcaças e cama de frangos no que diz respeito à redução de sólidos totais e na eliminação de microrganismos patogênicos; entretanto, esse processo não demonstrou a mesma eficiência na conservação do nitrogênio do material.

Independente do material utilizado como substrato para o processo de compostagem, é recomendável que a temperatura no interior da leira atinja, no mínimo, 55 °C e mantenha-se nesta faixa por pelo menos 3 dias consecutivos para que o número de patógenos atinja níveis aceitáveis, permitindo a aplicação no solo (ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2010).

Estudos feitos por Eyerkaufe e Brito (2011) em uma propriedade rural destinada à produção de leitões (UPL) com um total de 950 matrizes, onde cada uma produz cerca de 19 L de dejetos/dia, teria uma produção anual de 6.588.250 litros de dejetos/ano. Utilizou-se o tipo de compostagem automático (mecânico), com 4 vãos, com uma capacidade total de 1.266,76 m³ de dejetos. O galpão possui uma área de 1.174,8 m², sendo o valor total do investimento R\$ 107.937,35. O gasto total/ano com mão de obra, horas/trator, energia elétrica, maravalha e depreciação chegou a R\$ 44.659,82.

Esse método de tratamento de dejetos também pode ser aplicado aos três modelos de produção animal citados nesse estudo, porém sua maior aplicação está no tratamento de dejetos de aves. Segundo Vilela e Piesanti (2015), a compostagem além de proporcionar menores custos mostra-se também muito eficiente em relação

ao custo-benefício. Porém, para que o processo ocorra corretamente é necessário que se tenha um manejo adequado de umidade, aeração e temperatura.

A compostagem acelera a decomposição da matéria orgânica, desencadeando o aumento brusco da temperatura (fase termofílica) devido a uma intensa proliferação de microrganismos (fungos e bactérias), conseqüentemente ocorre a destruição de patógenos (coliformes totais e bactérias do gênero *Salmonella*) e sementes de plantas daninhas (COSTA *et al.*, 2006; ORRICO JÚNIOR *et al.*, 2009).

A pré-compostagem é utilizada para compostar carcaças de animais e possui um tempo médio de 60 dias e logo após este período abre-se a composteira, revolve o material resultante e o transfere para o local onde será feita a compostagem (ORRICO JUNIOR *et al.*, 2010). Ainda de acordo com os mesmos autores, a compostagem propriamente dita leva o mesmo tempo para se obter um material final.

Os dejetos de aves, bovinos e suínos resultaram em compostos maturados e vermicompostados com características químicas diferentes. Maiores teores de P, Ca e Mg foram observados nos materiais produzidos com dejetos de aves. Os produtos obtidos com a compostagem e a vermicompostagem, após 60 dias de pré-compostagem, foram similares, exceto para a CE e os teores de K, que foram menores no vermicomposto. A maior fração solúvel e os menores teores de celulose, lignina e relação celulose/lignina no composto maturado e no vermicomposto, quando utilizado dejeito bovino, poderá favorecer a liberação de N para as plantas na decomposição desse material. Os compostos e vermicompostos produzidos poderiam ser utilizados em sistemas de produção sustentáveis, em substituição aos fertilizantes minerais e as quantidades a serem aplicadas devem ser ajustadas em função de sua composição específica (VIONE *et al.*, 2018).

3 DISCUSSÃO

Em relação aos métodos de tratamento de dejetos abordados no trabalho, verificou-se que a técnica de biodigestores precisa de um investimento inicial maior e para sua utilização de forma a ter ganhos econômicos positivos, é preciso que haja um volume de dejeito bastante considerável para a obtenção do produto final. Por isso esta técnica é recomendada a produtores de suínos e bovinos, uma vez que esses

animais, de acordo com estudos realizados por Oliveira (2011), produzem um maior volume de dejetos por dia. Zanin, Baragantini e Pessatto (2010) observaram que em um período de 5 anos e 9 meses o investidor já consegue recuperar o valor de R\$ 634.898,00 investido na implementação do biodigestor na sua propriedade, o que torna o processo viável para produtores de médio e grande porte. A compostagem, além de ser uma técnica de fácil manejo, apresenta do ponto de vista econômico a vantagem de apresentar um baixo custo de implantação, porém sua utilização é limitada para o tratamento de dejetos com pouca matéria úmida, tornando-a inviável para o tratamento de dejetos de suínos, sendo indicada principalmente para tratamento de dejetos de aves. Esse método também apresenta como ponto positivo uma boa estabilização do material e conservação dos nutrientes.

Eyerkaufe e Brito (2011) chegaram a um valor de implantação de um modelo de compostagem de R\$ 107.937,35, valor muito inferior ao encontrado para implantação de um biodigestor. Essa diferença de valores de investimento inicial faz com que muitas vezes os pequenos produtores adotem o sistema de compostagem como método de tratamento de resíduos na propriedade.

Porém, do ponto de vista ambiental e geração de créditos de carbono, utilizando a técnica de biodigestores o produtor contribuirá com o meio ambiente e ganhará créditos que poderão ser negociados no mercado internacional, conforme o protocolo de Kyoto (PEREIRA, 2005). Com a venda de créditos de carbono, o produtor poderá aumentar sua renda final anual, tornando a utilização de técnicas de biodigestores mais interessante em relação à técnica de compostagem.

O Quadro 1 mostra um comparativo entre essas duas técnicas mais comumente aplicadas entre os produtores rurais no Brasil, indicando quais são mais recomendadas do ponto de vista econômico e ambiental, sendo possível notar que tanto em relação à geração de renda como no quesito ambiental, a técnica de biodigestores é mais recomendada.

Quadro 1. Quadro comparativo Compostagem/Biodigestor

Item comparativo	Compostagem	Biodigestor
Tipos de resíduos	Em geral, porém precisa de uma composição específica (madeira, alimentos, palhas, etc)	Qualquer tipo
Geração de receita	Adubo orgânico, taxa para o tratamento de resíduos	Biofertilizantes, energia térmica, crédito de carbono, taxa para o tratamento de resíduo
Geração de emprego	Sim	Sim
Ambientalmente adequado	Sim	Sim, a solução mais adequada segundo técnicos do MMA

Fonte: <http://www.portalresiduossolidos.com/residuosorganicosbiodigestor-compostagem-ou-incineracao> (Adaptado)

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por se tratarem de técnicas de fácil manejo e com um melhor custo-benefício em relação às demais técnicas utilizadas para este fim, as técnicas abordadas, biodigestão anaeróbia e compostagem, além de proporcionarem uma grande ajuda na mitigação da emissão de gases do efeito estufa (GEE), podem também, através do protocolo de Quioto, ajudar o produtor a incorporar um capital extra no final de cada lote de animal comercializado e utilização do lodo final como fonte de nutrientes para uso na agricultura.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, H. O.; PINHEIRO, G. D.; PEREIRA, A. I. S.; FERREIRA, J. C. S. F.; BORGES, M. V. F. Aspectos teóricos na produção de biogás e biofertilizante pelo mecanismo de biodigestão e geração de energia elétrica limpa através de um gerador específico. *In*: CONNEPI - CONGRESSO NORTE NORDESTE DE PESQUISA E INOVAÇÃO, 6., **Anais [...]**. Palmas, 2012.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Banco de Informações de Geração**. 2015. Disponível em: www.aneel.gov.br. Acesso em: 23 fev. 2019.

ANGONESE, A. R.; CAMPOS, A. T.; WELTER, R. A. Potencial de redução de emissão

de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 648-657, set./dez. 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Produção Brasileira de Carne Suína Cresce 4,95% em 2015**. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/noticia/producao-brasileira-de-carne-suina-cresce-495-em-2015-1549>. Acesso em: 04 mar. 2019.

AUGUSTO, K. V. Z. **Caracterização quantitativa e qualitativa dos resíduos em sistemas de produção de ovos: compostagem e biodigestão anaeróbia**. 2007. 131 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal. Jaboticabal, 2007.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural**. São Paulo: Ícone, 2003.

BERNDT, A. Impacto da pecuária de corte brasileira sobre os gases do efeito estufa. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 7., Viçosa. **Anais [...]**. 2010. Disponível em: http://www.simcorte.com/index/Palestras/7_simcorte/simcorte8.PDF. Acesso em: 26 nov. 2016.

BORTOLI, M. **Partida, operação e otimização de um sistema de nitrificação/desnitrificação visando a remoção de nitrogênio de efluente da suinocultura pelo processo Ludzack-Ettinger modificado**. 2010. 155f. Dissertação (Mestrado) - UFSC, Florianópolis, SC.

BONTURI, G. L.; DIJK, M. V. Instalação de biodigestores em pequenas propriedades rurais: análise de vantagens socioambientais. **Revista Ciências do Ambiente**, Campinas, v. 8, n. 2, p. 88-95, out. 2012.

CARDOSO, B. F.; OYAMADA, G. C.; SILVA, C. M. Produção, Tratamento e Uso dos Dejetos Suínos no Brasil. **Desenvolvimento em Questão**, Ijuí, v. 13, n. 32, p. 127-145, out./dez. 2015.

CARNEIRO, S. L.; ULBRICH, A. C.; FALKOWSKI, T.; CARVALHO, A. de; SOARES JÚNIOR, D.; LLANILLO, R. F. **Franço de corte: Integração Produtor/Indústria: uma renda bimensal estável e a produção de composto orgânico na propriedade**. 2004.

Disponível em: http://www.iapar.br/arquivos/File/zip_pdf/redreferencia/pp_mod-nortefrango.pdf. Acesso em: 10 fev. 2019.

COLATTO, L.; LANGER, M. Biodigestor - resíduo sólido pecuário para produção de energia. **Unoesc & Ciência-ACET**, Joaçaba, v. 2, n. 2, p. 119-128, 2011.

COLLINS, E. R.; BARKER, J. C.; CARR, L. E.; BRODIE, H. L.; MARTIN, J. H. **Poultry waste management handbook**. New York: Ithaca, 1999. ISBN 0935817425.

COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PELÁ, A.; SILVA, A. C. J.; DECARLI, L. D.; MATTER, U. F. Desempenho de quatro sistemas para compostagem de carcaça de aves. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 3, p. 692-698, 2006.

DALÓLIO, F. S.; SILVA, J. N.; DA COSTA BAÊTA, F.; TINÔCO, I. D. F. F.; CARNEIRO, A. C. O. Nota técnica: cama de frango e resíduo moveleiro - alternativa energética para a Zona da Mata mineira. **Revista Engenharia na Agricultura-REVENG**, Viçosa, v. 25, n. 3, p. 261-271, 2017.

DIAS, C. P.; LEITÃO, F. O.; COSER, F.; SILVA, W. H.; OLIVEIRA, P. A. V. A compostagem como solução tecnológica para o tratamento dos dejetos suínos. *In*: SEMINÁRIO TÉCNICO CIENTÍFICO DE AVES E SUÍNOS, 17; FEIRA DA INDÚSTRIA LATINA - AMERICANA DE AVES E SUÍNOS - AVESUI 2016, Florianópolis. **Anais eletrônicos**[...]. Florianópolis: Gessulli 2016. Disponível em: <https://www.embrapa.br/web/mobile/publicacoes/-/publicacao/1058942/a-compostagem-como-solucao-tecnologica-para-o-tratamento-dos-dejetos-de-suinos>. Acesso em: 04 mar. 2019.

EYERKAUFER, M. L.; BRITO, A. O. Viabilidade econômica da compostagem de dejetos suínos. *In*: CONTROLADORIA E FINANÇAS E INICIAÇÃO CIENTÍFICA EM FINANÇAS, 4., 2011, Santa Catarina. **Anais** [...]. UFSC. Disponível em: <http://dvl.ccn.ufsc.br/congresso/anais/4CCF/20101217152221.pdf>. Acesso em: 02 jan. 2019.

FACHINETTO, J. D.; BRISOLA, M. V. Evolução dos estudos sobre a produção de bovinos de corte e a emissão de gases de efeito estufa decorrente dessa atividade na região central do Brasil. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 45, n. 2, p. 180-193, 2018.

FORNARI, E. **Manual prático de agroecologia**. São Paulo: Aquariana, 2002. 240p.

FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E. P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. *Acta Iguazu*, Cascavel, v. 4, n. 1, p. 57-65, jan./mar. 2015.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais, com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR**. 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC.

HAACK, S. C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento da biomassa caprina em biodigestores no Semi-Árido Baiano**. 2009. 209 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA.

HAHN, L.; PADILHA, M. T. S.; PADILHA, J. C. F.; POLI, A.; RIEFF, G. G. Persistência de patógenos e do antibiótico salinomicina em pilhas de compostagem de cama de aviário. *Archivos de zootecnia*, Córdoba, v. 61, n. 234, p. 279-285, jun. 2012.

JORGE, L. H. A.; OMENA, E. **Biodigestor**. Dossiê Técnico. SENAI/AM - Escola SENAI Antônio Simões. Março, 2012.

KUNZ, A.; ENCARNAÇÃO, R. Tratamento de dejetos de animais. *In*: GEBLER, L.; PALHARES, J. C. P. **Gestão Ambiental na Agropecuária**. 21. ed. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. p. 167-191.

LAU, A. K.; LO, K. V.; LIAO, P. H.; YU, J. C. Aeration experiments for swine waste composting. *Bioresource Technology*, Oxford, v. 41, n. 2, p. 145-152, 1992.

MIELE, M.; SILVA, M. L. B.; NICOLOSO, R. S.; CORRÊA, J. C.; HIGARASHI, M. M.; KUNZ, A.; SANDI, A. J. Tratamento dos efluentes de usinas de biogás. *Revista de Política Agrícola*, Brasília, n. 1, p. 31-46, jan./mar. 2015.

MATOS, A. T. **Tratamento e aproveitamento agrícola de resíduos sólidos**. Viçosa: UFV, 2014. 241p.

MAPA. Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agrone-**

gócio, Brasil 2017/18 a 2027/28, Projeções de Longo Prazo. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/assuntos/politica-agricola/todas-publicacoes-de-politica-agricola/projecoes-do-agronegocio/banner_site-03-03-1.png/view. Acesso em: 02 jan. 2019.

MOREIRA, E. D. S.; FERNANDES, L. A.; COLEN, F.; CRUZ, L. R. Características agrônômicas e produtividade de milho e milho para silagem adubados com biofertilizante suíno sob irrigação. **B. Indústr. Anim.**, Nova Odessa, v. 72, n. 3, p. 185-192, jul./set. 2015.

MUFATTO, L. M.; NERES, M. A.; NATH, C. D.; STANGARLIN, J. R.; SCHEIDT, K. C.; CASAROTTO, L.; SARTO, J. R. W.; SUNAHARA, S. M. M. Caracterização e quantificação da população de fungos em área de produção de feno de capim Tifton 85, adubado com biofertilizante suíno. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 46, n. 3, p. 486-491, mar. 2016.

OLIVEIRA, A. P. Potencial de produção e utilização de biogás na avicultura comercial. *In*: ENCONTRO DE AVICULTORES DO ESTADO DE SÃO PAULO. JORNADA TÉCNICA. **Anais [...]**. Bastos: Sindicato Rural de Bastos, 2001. p. 16-28.

OLIVEIRA, M. M. de. **Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense.** 2012. 118 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS.

OLIVEIRA, P. A. V. **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos:** manual de boas práticas. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2004. 109p.

OLIVEIRA, P. P. A. Emissão de gases nas atividades pecuárias. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 2011.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem da fração sólida da água residuária de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 29, n. 3, p. 483-491, jul./set. 2009.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia**

Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 538-545, mai./jun. 2010.

PEREIRA M. L. **Biodigestores**: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais na suinocultura. São Paulo, 2005. Disponível em: <http://www.gestaono-campo.com.br/biblioteca/biodigestores-opcao-tecnologica-para-a-reducao-dos-impactos-ambientais-da-suinocultura>. Acesso em: 04 mar. 2019.

PLANO ABC - Agricultura de Baixa Emissão de Carbono. **Plano Setorial de mitigação e de adaptação às mudanças climáticas para a consolidação de uma economia de baixa emissão de carbono na agricultura**, Brasília, 2012.

REIS, A. S. **Tratamento de resíduos orgânicos em biodigestor anaeróbico**. 2012. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CAA. Núcleo de Tecnologia, Caruaru, PE.

SALES FILHO, I. O. S. **Avaliação da Toxicidade e Remoção de Matéria Orgânica de Efluente de Biodigestor de Resíduos Sólidos Orgânicos Tratado em Wetlands**. 2014. 63f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, PE.

SARDÁ, L. G.; HIGARAH, M. M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P. A.; COMIN, J. J. Redução da emissão de CO₂, CH₄ e H₂S através da compostagem de dejetos suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 9, 2010, p. 1008-1013, 2010.

SEDIYAMA, M. A. N.; SANTOS, M. R. dos; VIDIGAL, S. M.; PINTO, C. L. de O.; JACOB, L. L. Nutrição e produtividade de plantas de pimentão colorido, adubadas com biofertilizante de suíno. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 18, n. 6, p. 588-594, jun. 2014.

SEIXAS, J.; FOLLE, S.; MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. [s.l.]: EMBRAPA circular técnica, Embrapa, 1981.

SERPA FILHO, R. S.; SEHNEM, S.; CERICATO, A.; JUNIOR, S. S.; FISCHER, A. Compostagem de dejetos de suínos. **Revista em Agronegócios e Meio Ambiente**, Maringá, v. 6, n. 1, p. 47-78, jan./abr. 2013.

SILVA, J. L. G.; SILVA, A. C. C.; MITO, J. Y. L.; VENDRAME, M. G.; NASCIMENTO, K. R.; MENDES, I. S. Estimativa do potencial de produção de biogás no Brasil a partir de dejetos suínos. *In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS-SIGER*, 4, 2015. **Anais [...]**. 2015.

SILVA, W. T. L. D.; NOVAES, A. P. D.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. D. A.; MAGNONI JÚNIOR, L. Physico-chemical evaluation of an effluent treated in anaerobic biogas digester regarding its efficiency and application as fertilizer. **Química Nova**, São Paulo, v. 35, n. 1, p. 35-40, jan. 2012.

SIVAKUMAR, K.; RAMESH, S. K. V.; RICHARD, J. P. N.; VISWANATHAN, K.; CHANDRASEKARAN, D. Seasonal variations in composting process of dead poultry birds. **Bioresource Technology**, Oxford, v. 99, n. 2, p. 3708-3713, 2008.

SAWIN, J. L.; BHATTACHARYA, S. C.; GALÁN, E. M.; McCRONE, A.; MOOMAW, W. R.; SONNTAG-O'BRIEN, V.; SVERRISSON, F.; CHAWLA, K.; MUSOLINO, E.; SKEEN, J.; MARTINOT, E. **Renewables 2012 Global Status Report**. Paris: REN21, 2012. Disponível em: http://www.ren21.net/Portals/97/documents/GSR/GSR2012_low%20res_FINAL.pdf. Acesso em: 18 fev. 2019.

TARRENTO, G. E.; MARTINES, J. C. Análise da implantação de biodigestores em pequenas propriedades rurais, dentro do contexto da produção limpa. *In: SIMPEP*, 13. 2006. **Anais [...]**. Bauru.

THOMPSON, A. G.; WAGNER-RIDDLE, C.; FLEMING, R. Emissions of N₂O and CH₂ during the composting of liquid swine manure. **Environmental Monitoring and Assessment**, Maine, v. 91, n. 1-3, p. 87-104, 2004.

TURNER, C.; WILLIAMS, A.; WHITE, R.; TILLET, R. Inferring pathogen inactivation from the surface temperatures of compost heaps. **Bioresource Technology**, Silsoe/UK, v. 96, p. 521-529, 2005.

VILELA, D. M.; PIESANTI, J. L. Gerenciamento de Resíduos Sólidos Orgânicos da UFGD por Meio da Compostagem. **Revista Ciência em Extensão**, São Paulo, v. 11, n. 3, p. 28-39, set./dez. 2015.

VILLELA JUNIOR, L. V.; ARAÚJO, J. A. C.; FACTOR, T. L. Comportamento do meloei-

ro em cultivo sem solo com a utilização de biofertilizante. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v. 21, n. 2, p. 153-157, abr./jun. 2003.

VIONE, E. L. B.; SILVA, L. S.; FILHO, A. C.; AITA, N. T.; MORAIS, A. F.; SILVA, A. A. K. Caracterização química de compostos e vermicompostos produzidos com casca de arroz e dejetos animais. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 65, n. 1, p. 65-73, jan./fev. 2018.

ZANIN, A.; BARAGATINI, F. M.; PESSATTO, C. B. Viabilidade econômico-financeira de implantação de biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura. **Custos e @gronegócios on line**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-135, jan./abr. 2010.

Recebido em: 06/09/2017

Aceito em: 23/04/2019