

**ALEX LUIZ SAGULA**

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA FRAÇÃO LÍQUIDA DA CAMA DE FRANGO  
TRITURADA E PENEIRADA: EFEITO DA DILUIÇÃO E DO USO DE RECICLO**

Botucatu  
2017



**ALEX LUIZ SAGULA**

**BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA FRAÇÃO LÍQUIDA DA CAMA DE FRANGO  
TRITURADA E PENEIRADA: EFEITO DA DILUIÇÃO E DO USO DE RECICLO**

Tese apresentada à Faculdade de Ciências  
Agronômicas da Unesp – Câmpus de Botucatu,  
para obtenção do título de Doutor em  
Agronomia (Energia na Agricultura)

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Junior

BOTUCATU  
2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S129b Sagula, Alex Luiz, 1979-  
Biodigestão anaeróbia da fração líquida da cama de frango triturada e peneirada: efeito da diluição e do uso de reciclo / Alex Luiz Sagula.- Botucatu :[s.n.], 2017  
61 p. : il., grafs., tabs.

Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2017

Orientador: Jorge de Lucas Junior

Inclui bibliografia

1. Biodigestor. 2. Biogás - Produção. 3. Energia. 4. Resíduos de animais. 5. Frango de corte. I. Lucas Junior, Jorge de. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

**TÍTULO: “BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DA FRAÇÃO LÍQUIDA DA CAMA DE FRANGO TRITURADA E PENEIRADA: EFEITO DA DILUIÇÃO E DO USO DE RECICLO.”**

**AUTOR: ALEX LUIZ SAGULA**

**ORIENTADOR: JORGE DE LUCAS JUNIOR**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Doutor em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:



Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR  
Depto de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal



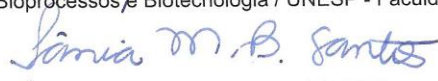
Prof. Dr. MARCO ANTONIO MARTIN BIAGGIONI  
Depto de Engenharia Rural / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Profa. Dra. MONICA SAROLLI SILVA DE MENDONÇA COSTA  
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ



Profa. Dra. VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN  
Depto de Bioprocessos e Biotecnologia / UNESP - Faculdade de Ciências Agronômicas de Botucatu



Profa. Dra. TÂNIA MARA BAPTISTA DOS SANTOS  
Depto de Zootecnia / Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul / Aquidauana/MS

Botucatu, 25 de maio de 2017.



*A D. Luiza Therezinha Delâmonica, minha mãe e minha fortaleza... por sempre me dar forças e auxiliar não só nessa empreitada do doutorado, mas em todos os momentos da minha vida.*

*A minha irmã Patrícia e a Laura minha namorada, por sempre me ajudarem e dar força, por sempre ser tão presente...*

*Dedico...*





## AGRADECIMENTOS

Agradeço:

A Deus, por ser pai eterno que sempre ilumina e protege a todos.

Aos meus pais e irmã por terem me ensinado tudo que é certo, sempre apoiando todas minhas iniciativas na minha vida.

Ao professor Dr. Jorge de Lucas Jr., pela orientação, dedicação, apoio e amizade.

A Faculdade de Ciências Agronômica – FCA - UNESP, campus de Botucatu e ao programa de pós-graduação do curso de Energia na Agricultura pela oportunidade de realizar o curso de mestrado.

Às funcionárias do setor de pós-graduação da FCA, sempre me auxiliando e prontas para sanarem minhas dúvidas.

A Laura, minha namorada e amiga que me ajudou em todo meu experimento e sempre se mostrou muito paciente comigo.

Aos funcionários do Departamento de Engenharia Rural, FCAV – UNESP – Campus de Jaboticabal, pela ajuda nos experimentos e obrigado pelo convívio agradável no ambiente de trabalho.

Aos colegas de laboratório: Paula, Aline, Lisa e Juliana, agradeço não só pelas trocas de experiência, mas pelo convívio diário nessa fase.

Aos meus amigos de infância que sempre estiveram presentes na minha vida e por sempre dar conselhos que me ajudaram em alguns momentos difíceis pelo quais passei.

Aos meus amigos da república Santa Cerva, onde morei e aprendi a viver em comunidade e também fiz grandes amizades.

Ao CNPq pela concessão da bolsa de estudos.

A todos que direta e indiretamente colaboraram para a realização deste trabalho.



**AVANCE SEMPRE**

*...se você não conseguir fazer uma coisa grandiosa hoje,  
faça alguma coisa pequena, pois pequenos riachos acabam convertendo-se em  
grandes Rios...*



## RESUMO

Objetivou-se avaliar a produção de biogás no processo anaeróbio da cama de frango, submetido ao processo de peneiramento e trituração, em função da diluição e reciclo, em sistema de abastecimento batelada e semi-contínuo. Para o processo de peneiramento utilizou-se uma peneira vibratória com malha de um mm e para trituração da cama de frango foi utilizado uma bomba trituradora. As diluições da cama de frango foram feitas de duas formas: cama de frango + água e cama de frango + reciclo. No sistema de abastecimento batelada, foram estudadas as diluições nas seguintes proporções 1:8, 1:10 e 1:12 e a utilização de 20% de reciclo em substituição a água de diluição, avaliando-se as reduções de sólidos voláteis, produção de biogás e potenciais de produção de biogás. Para reduções de sólidos voláteis obtiveram-se bons resultados para as diluições 1:8 e 1:10, e para produção de biogás a diluição 1:8 com reciclo foi a que apresentou melhor resultado, bem como para os potenciais de produção de biogás. No sistema de abastecimento semi-contínuo, foi estudada a diluição 1:10 com 40% de reciclo. O tratamento que continha só reciclo foi o que proporcionou melhor redução de sólidos voláteis, não apresentando diferenças para a produção de biogás. Os melhores potenciais de produção de biogás foram obtidos com o tratamento que continha água. Concluiu-se que para o sistema batelada as diluições e o reciclo apresentaram bons resultados para redução de sólidos voláteis e produção de biogás e para sistema semi-contínuo o reciclo demonstrou ser eficiente na redução de sólidos voláteis e não interferindo na produção de biogás.

Palavras-chaves: Avicultura, biodigestor e biogás.



## **ABSTRACT**

The objective of this study was to evaluate the biogas production in the anaerobic process of the chicken litter, submitted to the screening and grinding process, as a function of dilution and recycle, in a batch and semi-continuous supply system. For the screen process used a vibrating screen with a mesh mm and grinding poultry litter was used a shredder pump. Dilutions of poultry litter were done in two ways: poultry litter + water and poultry litter + recycle. In the batching system, the dilutions were studied in the following ratios 1: 8, 1:10 and 1:12 and the use of 20% recycle to replace the dilution water. Evaluating the volatile solids reductions, biogas production and biogas production potentials. For volatile solids reductions, good results were obtained for the 1: 8 and 1:10 dilutions, and for biogas production at 1: 8 dilution with recycle it was the one that presented the best result and the biogas production potential obtained satisfactory results. In the semi-continuous supply system, the 1:10 dilution with 40% recycle was studied. The treatment that contained only recycle was the one that provided better reduction of volatile solids, the biogas production did not have difference between the treatments and for the potential of biogas production treatment that contained water was that presented better result. It is concluded that for the batch system dilutions and recycle presented good results for reduction of volatile solids and biogas production and for semi-continuous system the recycle proved to be efficient in the reduction of volatile solids and not interfering in the production of biogas.

Keywords: Poultry, biodigester and biogas.





## SUMÁRIO

<b>INTRODUÇÃO GERAL</b> .....	<b>17</b>
<b>CAPITULO 1: Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada</b> .....	<b>26</b>
<b>1.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>27</b>
<b>1.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>28</b>
1.2.1 Local e descrição do experimento .....	28
1.2.2 Cálculo da diluição.....	29
1.2.3. Reciclo .....	30
1.2.4 Preparo do substrato e abastecimento dos biodigestores .....	30
1.2.5 Análises laboratoriais.....	31
1.2.5.1 Teores de sólidos totais e voláteis .....	31
1.2.5.2 Cálculo da produção de biogás .....	32
1.2.5.3 Teste de queima.....	32
1.2.5.4 Análise dos dados .....	33
<b>1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>33</b>
1.3.1 Teores de sólidos totais e voláteis .....	33
1.3.2 Potenciais de produção de biogás .....	35
1.3.3 Produção de biogás .....	37
<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>40</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>40</b>
<b>CAPITULO 2: USO DE RECICLO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO TRITURADA E PENEIRADA: ABASTECIMENTO SEMI-CONTÍNUO</b> ...	<b>43</b>
<b>2.1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>44</b>
<b>2.2 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	<b>45</b>
2.2.1 Local e descrição do experimento .....	45
2.2.2 Abastecimento Inicial dos biodigestores semi-contínuos.....	46
2.2.3 Abastecimento diário dos biodigestores .....	46
2.2.4 Análises laboratoriais.....	47
2.2.4.1 Teores de sólidos totais e voláteis .....	47
2.2.4.2 Calculo da produção de biogás.....	48
2.2.4.3 Teste de queima.....	48
2.2.4.4 Caracterização qualitativa do biogás.....	49
2.2.4.5 Análise dos dados .....	49
<b>2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>50</b>
2.3.1 Teores de sólidos totais e voláteis .....	50

2.3.2 Produção, potenciais de biogás e teores de metano.....	51
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>56</b>
<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>58</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>58</b>

## **INTRODUÇÃO GERAL**

A avicultura de corte é o segmento de maior destaque no agronegócio brasileiro, demonstrando a importância desse setor para a economia brasileira (INNOCENTINI et al., 2009; DALÓLIO et al., 2016). Em específico, o setor avícola após alto investimento nos elos da cadeia produtiva, sofreu uma acelerada expansão da criação de frango de corte.

Entretanto, Dalólio et al. (2016) descrevem que o setor de avicultura avançou de forma significativa após a integralização da cadeia produtiva, na década de 80 e, principalmente, devido a maior adoção de tecnologia. Dentre os mecanismos de incremento tecnológico podem-se destacar os avanços no melhoramento genético, na nutrição, no manejo, na ambiência e na sanidade das aves, o que resultou em frangos cada vez mais eficientes no aproveitamento dos nutrientes.

À medida que as oportunidades comerciais para a venda de carne de frango se expandem, quantidades crescentes de frango estão sendo criada, seguida de uma enorme produção de cama de frango (NIE, 2015).

## **CAMA DE FRANGO**

Atualmente um frango alcança 2,4 kg de peso vivo em 42 dias e consome 1,8 kg de ração para ganhar 1 kg de peso vivo. Contudo, a modificação ocorrida é devido à intensificação da avicultura industrial, além de possibilitar a produção de toneladas de alimentos, também ocasiona um exacerbado aumento no volume de cama de frango gerado por unidade de área (SILVEIRA et al., 2014).

A cama de frango é o produto resultante da criação do frango de corte após um ou vários ciclos de criações, sendo sua função absorvente de excretas (urina e fezes), isolante térmico para que as aves não tenha contato direto com o piso do aviário.

Os materiais característicos utilizado nos aviários são: maravalha, casca de amendoim e arroz, palha, sabugo triturado entre outros. Para reduzir o custo com a compra de matéria prima a ser utilizada no aviário, os avicultores optam por reutilizar a cama de frango por vários ciclos. Devido a varias reutilização a cama de frango tem alto poder poluidor por receber as excretas, possuindo alta carga microbiana, parasitária, fungos, vírus e contém altos níveis de amônia.

A cama de frango é rica em nitrogênio e fósforo, portanto, muitos agricultores a utilizam para enriquecer o solo e fertilizar as culturas. No entanto, quando cama de frango é produzida em larga escala as culturas locais têm dificuldade para absorver os nutrientes presentes na cama, ocasionando a poluição da água de rios e lençol freático (PEW ENVIRONMENT GROUP, 2011; NIE et al., 2015).

Desta forma cama de frango é considerada um resíduo, que possui potencial poluidor superior a dejetos humanos. Por isso, se disposto inadequadamente, pode causar contaminação do ar, dos recursos hídricos e do solo devido à alta concentração de matéria orgânica, nutrientes e metais pesados, além da proliferação de patógenos (STEIL et al.2002; SILVEIRA et al., 2014).

Portanto o resíduo da avicultura pode ser tratado por procedimentos químicos, físicos e biológicos, para minimizar o efeito poluidor deste resíduo no meio ambiente, com o tratamento pode-se tirar benefícios como aproveitamento de nutrientes como fonte de adubo orgânico ou gerar energia térmica e elétrica, resultando desta forma em uma fonte de renda alternativa para o produtor.

Considerando-se a produção anual de pintos de corte dos anos de 2012 a 2016 (Tabela 1), e a produção média de duas toneladas de dejetos por mil aves (SILVEIRA et al., 2014) o Brasil produziu por ano 12,108 milhões de toneladas de cama de frango.

Tabela 1: Produção de pintos de frango de corte

	2012	2013	2014	2015	2016
Jan.	515,465	514,079	525,441	539,803	560,408
Fev.	469,206	477,792	482,746	495,889	538,403
Mar.	498,647	524,588	497,62	523,159	561,478
Abr.	483,664	516,465	503,325	527,185	540,962
Mai.	524,327	528,64	521,531	535,525	542,145
Jun.	514,783	492,081	500,067	552,167	551,13
Jul.	515,16	531,576	542,826	573,266	514,831
Ago.	502,649	525,568	532,452	551,897	546,836
Set.	478,335	495,703	531,201	555,216	497,702
Out.	523,338	532,843	568,184	581,602	510,632
Nov.	483,605	482,037	481,899	497,604	525,17
Dez.	497,797	525,826	544,371	572,41	560,266
Total	6.006,98	6.147,20	6.246,03	6.505,72	6.449,96

Fonte: Avisite, 2017

Uma alternativa para dar um destino mais adequado ao montante de cama de frango gerada a cada ano é a biodigestão anaeróbia, em que o produtor rural consegue vários benefícios entre eles o tratamento do resíduo, o biogás e o biofertilizando.

## **BIODIGESTÃO ANAERÓBIA**

### **Processo de biodigestão anaeróbia**

A biodigestão anaeróbia é um processo de degradação e estabilização da matéria orgânica na ausência de oxigênio, levando a formação de metano, dióxido de carbono e biofertilizante (matéria orgânica estabilizada). O processo de degradação da matéria orgânica consiste em quatro etapas consequentes (hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese) e o metano como fonte de energia útil (WANG et al., 2012).

Sendo essas etapas descritas por Chernicharo (1997), a hidrólise, consiste na quebra de materiais particulados complexos (polímeros), em materiais mais simples e assim pode passar pelas paredes celulares das bactérias fermentativas. Acidogênese – as bactérias fermentativas acidogênicas consomem os compostos orgânicos simples, produto oriundo da hidrólise e transforma em ácidos orgânicos (proprianato, butirato, etc). Estes produtos metabólicos serão a base do consumo das bactérias acetogênicas e arqueias metanogênicas. Na etapa acetogênese, as bactérias são responsáveis pela oxidação dos ácidos orgânicos em substrato para os microrganismos metanogênicos. A metanogênese, etapa final do processo de conversão anaeróbio dos compostos orgânicos, é efetuada pelos microrganismos metanogênicos (arqueias metanogênicas).

As arqueias metanogênicas atuam sobre os produtos gerados nas etapas anteriores, sendo que as arqueias metanogênicas acetoclásticas são responsáveis pela produção de aproximadamente 70% de metano do processo, tendo como fonte de energia os ácidos acéticos para produzir metano ( $\text{CH}_4$ ) e gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) (LIMA, 2011).

Este processo de tratamento reduz significativamente o poder poluente e os riscos sanitários, tendo como subproduto o biogás e o biofertilizante. O biogás tem várias utilidades, tais como aquecimento do galpão, produção de energia elétrica e quando purificado, denomina-se biometano, sendo utilizado como combustível

veicular e entre outras formas. O biofertilizante é rico em nutrientes assimiláveis e por ser mais estável, torna-se um bom adubo orgânico.

### **Fatores que interferem na biodigestão**

Os parâmetros básicos para eficiência da biodigestão é por meio de alguns parâmetros físico-químicos, sendo estes parâmetros e sua relação podem representar o atual estado da biodigestão e prevenir eventuais problemas no sistema de tratamento (SILVA et al., 2014)

Estes parâmetros vão desde as condições ambientais, operação do sistema, natureza da matéria prima até o modelo do biodigestor e, podem influenciar positivamente ou negativamente o processo, ou seja, favorecendo ou não a partida do processo, a degradação do substrato, a multiplicação e declínio dos microrganismos envolvidos e a produção de biogás (AMORIM, 2005; MASSOTI, 2010; ZANATO, 2014).

Os princípios básicos, que são feitas as análises físico-químicos para o processo de biodigestão anaeróbia, por sua vez a atividade bacteriana, incluem a caracterização do substrato para fermentação, temperatura, pH, concentração de amônia, tempo de retenção hidráulica e sólidos totais.

Para caracterizar os substratos para a biodigestão anaeróbia é necessário avaliar a consistência, a estrutura, a homogeneidade e também o conteúdo interferente ou poluente do substrato. Outra caracterização importante é a composição química do substrato. A partir disso, podemos tirar conclusões sobre não apenas fermentabilidade, mas também o rendimento de gás esperado.

Além dos parâmetros técnicos e biotecnológicos, restrições legais também precisam ser levadas em consideração na caracterização de substratos em relação à fermentação. A partir da classificação jurídica de um substrato como, por exemplo, resíduos ou como subproduto animal.

Os substratos podem ser homogêneos ou em forma heterogênea. Essas características dos substratos determinam o esforço técnico necessário para amostragem, preparação e armazenamento do substrato, bem como a adequação do procedimento de fermentação para o processamento do substrato.

A temperatura tem um papel fundamental para manter a comunidade microbiana, a cinética do processo e a estabilidade da produção de metano.

Temperatura muito baixa durante o processo tende a diminuir o crescimento microbiano, influenciando na produção de biogás e na temperatura mais alta o tempo de retenção para decompor os sólidos orgânicos é menor, conseqüentemente tem-se aumentando na produção de biogás. (BABAEE et al., 2013; MASSOTI, 2010).

O processo de biodigestão anaeróbia pode ocorrer em diferentes temperaturas, divididas em três faixas de temperatura: psicrófila (abaixo de 25°C), mesofílica (25°C - 45°C) e termofílica (45°C - 70°C). Existindo uma relação direta entre a temperatura do processo e o tempo de retenção hidráulica (TRH)(SEADI, et. al., 2008).

O valor do pH do substrato influencia nas bactérias envolvidas no processo de fermentação, que são altamente sensíveis a mudanças de pH do meio (pH na solução do digestor). A faixa de operação dos digestores é entre 6,0 - 8,0, tendo como ponto ótimo pH 7,0 - 7,2. Em um digestor em operação é muito importante a manutenção de pH sempre constante. As variações nas concentrações de CO<sub>2</sub> e ácidos voláteis tendem a alterar o pH do meio (MASSOTI, 2010).

O nitrogênio é um nutriente essencial para o crescimento de bactérias envolvidas na fermentação, e a amônia é uma importante fonte de nitrogênio no fermentador. No entanto, o excesso de amônia inibirá a metanogênese (ABOUELENIEN et al., 2010; CHEN et al., 2008; FOTIDIS et al., 2013; NIE et al., 2015). Por seu efeito inibitório, a concentração de amoníaco deve ser mantida abaixo de 80 mg/l (SEADI, et. al.; 2008). A inibição pela amônia é um problema comum enfrentado na digestão anaeróbia com substratos, como a cama de frango, estrume de suíno e etc.

Um método comum para evitar a inibição de amônia é a diluição do substrato, pois cama de frango tem altas concentrações de sólidos totais e amônia (HUANG and SHIH, 1981; BRUNI et al., 2013). Antes de adicioná-lo a um fermentador, muitas vezes é diluído para obter teor de sólidos total mais baixo (por exemplo, 0,5-3,0%) para evitar a acumulação de amônia (BUJOCZEK et al., 2000).

O tempo de retenção hidráulica é entendido como o intervalo de tempo necessário de permanência do substrato para que ocorra o processo de biodigestão de maneira adequada (FUKAYAMA, 2008). Por isso, existe a necessidade de que os biodigestores retenham os substratos de por um intervalo de tempo adequado, ou seja, contabilizando as variáveis: tipo de reator, de resíduo, concentração de sólidos e temperatura do meio (ZANATO, 2014).

Os sólidos totais tem papel fundamental no processo de biodigestão anaeróbia, pois altos teores de sólido influenciam na degradação de matéria orgânica, aumento no tempo de retenção hidráulica e causa entupimento no biodigestor.

## BIOGÁS

O biogás é o produto resultante da decomposição anaeróbia de lixo urbano, resíduos de animais e de estação de tratamento de efluentes doméstico, em condições ambientais apropriadas, possui alto poder calorífico e energético.

A composição e as propriedades do biogás variam em certa medida dependendo dos tipos de matéria-prima, dos sistemas de digestão, da temperatura, do tempo de retenção, etc. A tabela 4 contém alguns valores médios da composição do biogás, encontrados na maior parte da literatura. Considerando o biogás com teor de metano padrão de 50%, o valor de aquecimento é de 21 MJ / Nm<sup>3</sup>, a densidade é de 1,22 kg / Nm<sup>3</sup> e a massa é semelhante ao ar (1,29 kg / Nm<sup>3</sup>) (SEADI,2008).

Tabela 4 Composição do Biogás

Composto químico	Símbolo	Volume (%)
Metano	CH <sub>4</sub>	50-75
Dióxido de Carbono	CO <sub>2</sub>	25-45
Vapor de água	H <sub>2</sub> O	(20°C) -7 (40°C)
Oxigênio	O <sub>2</sub>	<2
Nitrogênio	N <sub>2</sub>	<2
Amônia	NH <sub>3</sub>	<1
Hidrogênio	H <sub>2</sub>	<1
Sulfeto de hidrogênio	H <sub>2</sub> S	<1

Fonte: Seadi, 2008

Há formas de utilização do biogás produzido pelo processo de biodigestão anaeróbia, seja como fonte de energia numa granja para queimar em aquecedores ou em motores de combustão interna na geração de energia elétrica. Costa (2009) encontrou valores de 70 a 90% de metano no biogás obtido com biodigestão anaeróbia da cama de frango, coincidindo com Aires (2009), em que o autor obteve resultado entre 78 a 86% de metano no biogás.



## **BIODIGESTOR**

O biodigestor anaeróbio é uma instalação destinada ao tratamento anaeróbio de resíduos, ou seja, um reator biológico, onde o processo de degradação da matéria orgânica ocorre sem a presença de oxigênio, sob condições controladas. Quanto maior o nível de controle e tecnologia utilizada no biodigestor, maior será a probabilidade de aumento da eficiência do sistema.

Existem vários modelos de biodigestores dentre eles o Indiano e Chinês, porém no Brasil não são muitos utilizados, atualmente o modelo mais construído no Brasil é o modelo canadense como alguns chamam ou plug-flow

No entanto antes da construção de um biodigestor, faz-se a caracterização inicial dos resíduos em que vai determinar o modelo do biodigestor e a forma de abastecimento (Batelada, semi-contínuo, entre outros), que podem ser utilizados com e sem agitação e separação de sólidos, aquecimento do afluente e entre outras formas de operação.

A utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias aproveitando o dejetos ao qual, normalmente, é dado pouco ou mesmo nenhum valor comercial, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento: em energia e adubo (QUADROS et al., 2010). Além de estimularem a reciclagem orgânica e de nutrientes, pois isolam os resíduos dos humanos e dos animais, proporcionando diminuição de moscas e odores, permitindo também a redução de sólidos (ZANATO, 2014)

## **FORMA DE ABASTECIMENTO DO BIODIGESTOR**

O tipo de abastecimento em batelada, opera de forma descontínua, ou seja, os biodigestores de batelada são alimentados de uma vez só, com uma grande quantidade de matéria orgânica e, depois são fechados para não permitir a entrada de oxigênio, com um tempo retenção hidráulica, que pode variar de 30 a 60 dias ou até a produção de biogás começar a cair, indicando que a matéria orgânica já foi decomposta, com isso, podendo já se fazer abertura do biodigestor e a retirada biofertilizante, mas mantendo-se 20 % da matéria orgânica para fornecer as bactérias necessárias para a decomposição da matéria orgânica, que vai ser colocada na próxima batelada.

O sistema de abastecimento semi-contínuo, opera com abastecimento de cargas fracionado, podendo ser uma ou mais vezes ao dia. Dependendo da matéria orgânica, a ser abastecida no biodigestor, deve ser diluída antes de ser colocado no biodigestor ou se possível até mesmo triturar, pois evita entupimento e formação de crosta no interior do biodigestor.

## **SEPARAÇÕES DE SÓLIDOS E DILUIÇÃO**

A separação de sólido é uma alternativa de pré-tratamento, que pode ser eficiente na produção de biogás, em que consiste em separar as frações mais degradáveis das frações menos degradáveis (celulose, hemicelulósica e lignina) (ORRICO JR., 2007).

O processo de separação das frações líquida e sólida, além de evitar entupimento do biodigestor e aumenta a vida útil, pode melhorar a eficiência da utilização dos nutrientes solúveis contida na fração líquida e ser mais bem aproveitado no processo de biodigestão anaeróbia (DENG, et al., 2014).

Existem diferentes sistemas para separar o sólido, por exemplo: separadores mecânicos de tela, sedimentação, centrifugação e filtração, etc (DENG, L et al., 2014). A peneira é o sistema de separação mecânico de tela, sendo o método mais comum para separar os resíduos que contêm partículas maiores, que são de difíceis degradações.

Sendo as peneiras classificadas em: estáticas, rotativas e vibratórias, no entanto o tipo a ser adotado dependerá basicamente do volume dos dejetos a ser tratado (JUNQUEIRA, et al. 2011).

Resíduos com altos teores de sólidos tende-se a diluir para diminuir o teor de sólidos totais e também evitar o entupimento dos biodigestores. A diluição pode apresentar bons resultados no processo de digestão anaeróbia, com relativa facilidade de degradação, porém outras são mais difíceis de serem degradadas pelos microrganismos envolvidos no processo (JUNQUEIRA, et al. 2011)

## **Objetivo Geral**

Avaliar a produção de biogás da cama de frango submetida à pré tratado físico (trituração e peneiramento), em função de diferentes diluições, uso de reciclo e sistema de abastecimento. Para atingir estes objetivos a tese está dividida em dois capítulos, sendo o primeiro capítulo intitulado **“DIFERENTES DILUIÇÕES E USO DE RECICLO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO TRITURADA E PENEIRADA: ENSAIO BATELADA”**, e o segundo capítulo intitulado: **“USO DE RECICLO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO TRITURADA E PENEIRADA: ABASTECIMENTO SEMI-CONTÍNUO”**

## **CAPITULO 1: Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada**

Alex Luiz Sagula<sup>1</sup>; Laura Vanessa Cabral da Costa<sup>2</sup>; Jorge de Lucas Junior<sup>3</sup>

1 Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, SP, Brasil. CEP 18610-307.

2 Centro universitário de Araraquara (UNIARA), Araraquara, SP, Brasil. CEP 14801-340.

3 Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, SP, Brasil. CEP 14884-900.

**RESUMO:** A cama de frango gerada no processo produtivo das aves demonstra grande potencial para a obtenção de energia com o uso de biodigestores, porém é preciso que ela apresente condições para facilitar o processo tais como separação de sólidos. Objetivou-se neste trabalho avaliar a produção de biogás no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango com separação de sólidos, em diferentes diluições, com e sem utilização de 20% de reciclo em sistema batelada de abastecimento. Foram utilizados 24 biodigestores batelada, com capacidade de 2L de substrato em fermentação. Equipamento utilizado para processamento da cama de frango foi uma bomba trituradora que homogeneiza e tritura a cama em partículas menores para facilitar e melhorar a eficiência na biodigestão. Para a separação da fração sólida foi utilizada uma peneira vibratória com malha de 1mm. Foram estudadas as diluições 1:8, 1:10 e 1:12 e 20% de reciclo (biofertilizante) em substituição a água. O tratamento cama de frango na diluição 1:8 foi o que apresentou maior redução de sólidos voláteis (72,76%) em relação aos outros tratamentos. O tratamento com reciclo na diluição 1:8 foi o que apresentou maior produção de biogás com valor médio de 0,0328 m<sup>3</sup>, em relação aos demais tratamentos. Conclui-se que a utilização do reciclo não interfere na produção de biogás e houve aumento na produção.

Palavras-chaves: Avicultura, biodigestor batelada e biogás

**ABSTRACT:** The poultry litter generated in the production process bird shows great potential for obtaining energy using biodigesters, but it is necessary and it is able to facilitate the process and separation of solids. The objective of the work was to produce biogas in the process of biodigestion, with different solutions, with a 20% use of recycle in a batch supply system. Twenty-four batch digesters were used, with a capacity of 2L of substrate in fermentation. The equipment used for processing the chicken litter was a crusher pump that homogenizes and crushes the chicken litter into smaller particles to facilitate and improve efficiency in biodigestion. For a separation of the solid fraction for a 1mm mesh vibrating screen. Dilutions 1: 8, 1:10 and 1:12 and 20% recycle (biofertilizer) were studied in substitution of water. The treatment of poultry litter in a dilution of 1: 8 showed the greatest reduction in volatile solids (72.76%) compared to other treatments. The treatment with recycle at the 1: 8 dilution was the one with the highest biogas production with an average value of 0.0328 m<sup>3</sup>, in relation to the other treatments. It is concluded that the use of the recycle does not interfere in the production of biogas and there was an increase in the production.

Keywords: Poultry, Batch biodigestor and biogas.

## 1.1 INTRODUÇÃO

A crise energética e os problemas ambientais decorrentes a partir da utilização de fontes poluentes e não renováveis de energia mudaram o cenário mundial sobre este tema, levando para a busca de soluções sustentáveis nos três âmbitos: econômico, ambiental e social, no Brasil, a utilização da biomassa como fonte de energia vem aumentando ano após ano (OLIVEIRA et al., 2011).

A avicultura de corte origina uma vasta quantidade de resíduos (cama de frangos) que, se bem manejados, poderão ser uma importante fonte de renda e cooptação de valor à atividade, também um exemplo de produção sustentável que vem sendo cada vez mais uma cobrança de mercado. Por tanto, é imprescindível que tenha a adoção de um sistema de tratamento como a biodigestão anaeróbia, a fim de evitar possíveis contaminações do ambiente (SARMENTO et al., 2015).

A biodigestão anaeróbia é uma tecnologia comprovada de gerenciamento de resíduos que mitiga as emissões de odor, patógenos e gases de efeito estufa. Além disso, a produção de biogás as como energia renovável e o biofertilizante rico em nutrientes (ZEB et al., 2017).

O biogás é geralmente composto de 48-65% de metano, 36-41% de dióxido de carbono, até 17% de nitrogênio, <1% de oxigênio, 32-169 ppm de sulfato de hidrogênio e vestígios de outros gases. Ao contrário do combustível fóssil, o biogás não contribui muito para o efeito de estufa, o esgotamento do ozônio ou a chuva ácida (KHALID et al., 2011). Sendo esta uma das principais razões pelas quais a digestão anaeróbia pode desempenhar um papel muito importante no enfrentamento dos desafios energéticos da geração futura.

O uso de biodigestores na produção animal é visto como uma importante ferramenta, pois, além de promover o tratamento dos resíduos, retorna ao sistema produtivo parte da energia que seria perdida, por meio do biogás (SILVA et al., 2005; ORRICO et al., 2007; SANTOS et al., 2007; FARIAS et al., 2012).

O biodigestor batelada opera de forma descontínua, ou seja, é alimentado de uma só vez, com uma grande quantidade de matéria orgânica e, depois são fechados para não permitir a entrada de oxigênio. O tempo de retenção hidráulica pode variar de 30 a 60 dias ou até a produção de biogás comece a cair, indicando que toda matéria orgânica já foi decomposta.

A cama de frango necessita de um pré-tratamento antes de ser abastecida no biodigestor. A trituração ou moagem é uma forma de tornar o material com granulometria adequada, para não inibir as atividades dos microrganismos, (AIRES, 2009). Outro procedimento de pré-tratamento é o peneiramento em malha para retirar parte do material de difícil degradação.

Para que a cama de frango torne-se um material apropriado para ser abastecido em biodigestor, deve ser diluída em água no primeiro momento e após alguns dias de operação do biodigestor, pode-se reutilizar o biofertilizante em novo processo de abastecimento diluindo cama de frango o que se pode denominar reciclo.

Objetivou-se, estudar três diluições, com menor, media e maior quantidade de sólidos totais e a inclusão de 20% de reciclo (biofertilizante) em substituição a água de diluição da cama de frango, para avaliar a produção de biogás.

## **1.2 MATERIAL E MÉTODOS**

### **1.2.1 Local e descrição do experimento**

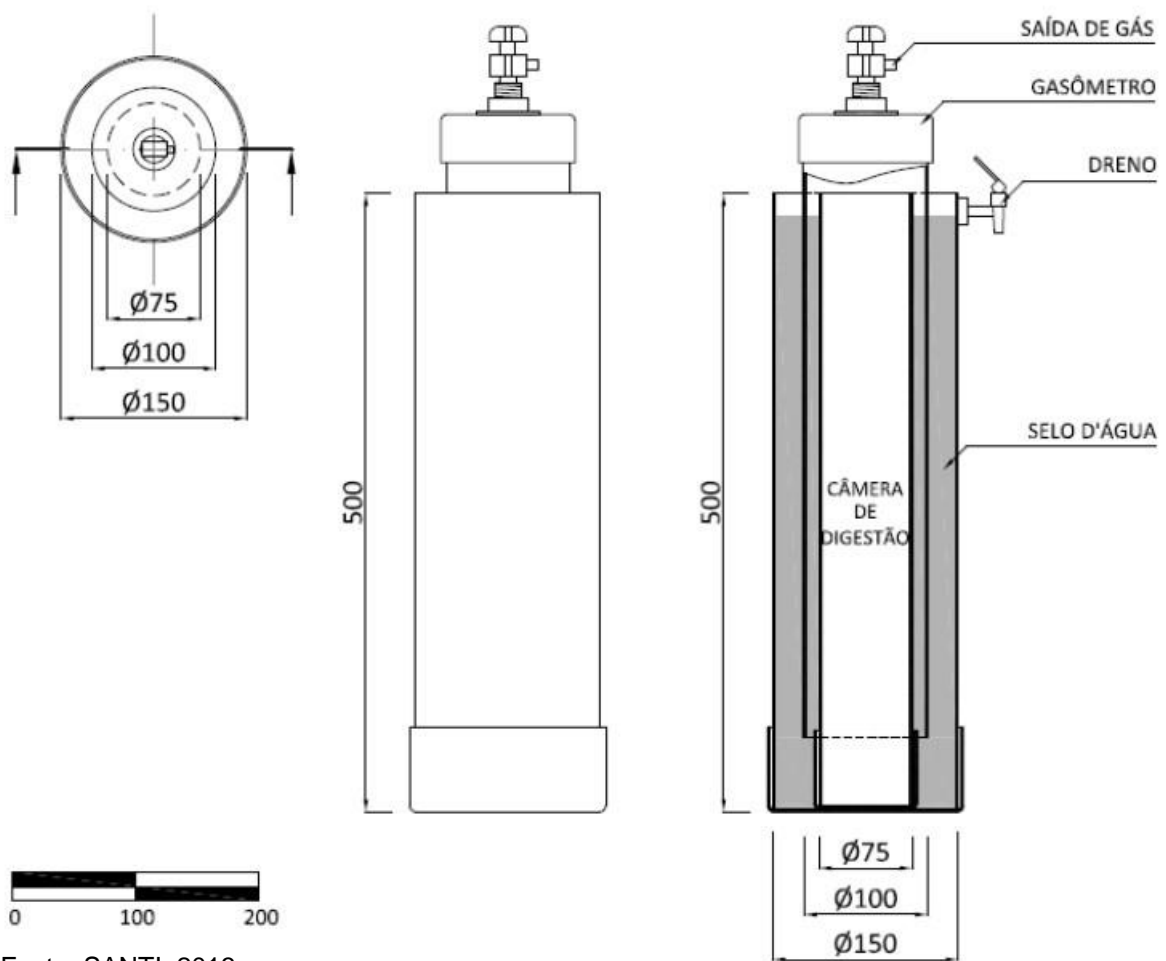
A pesquisa foi realizada no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal.

Para o experimento foram utilizados 24 biodigestores tipo batelada, os quais possuem capacidade útil de dois litros de substrato em fermentação e os biodigestores foram instalados no interior do laboratório. A figura 1 representa o modelo de biodigestor.

A cama de frango utilizada no experimento é de quarta reutilização composta por casca de amendoim, proveniente de galpão convencional localizado no município de Monte Alto – SP. O teor de sólido total da cama de frango foi de 88% e sólido volátil de 77%.

Para a execução do ensaio, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial duplo 3x2, sendo constituído por três diluições (1:8, 1:10 e 1:12) e com e sem 20% de reciclo, com separação de sólidos e cada tratamento contou com 4 repetições. O experimento foi conduzido com um tempo de retenção hidráulica de 196 dias.

Figura1– Vista superior, vista frontal e corte de um biodigestor tipo batelada, medidas em mm.



Fonte: SANTI, 2013

### 1.2.2 Cálculo da diluição

Para calcular a diluição determinou-se um volume de substrato a ser preparado e também a diluição na forma de proporção (fator diluição). A quantidade de cama de frango foi determinada pela seguinte fórmula: volume total do substrato X fator diluição. Obtendo-se a quantidade de cama de frango que era subtraída do valor total de substrato, obtendo-se a quantidade de água a ser utilizada para diluir a cama de frango. A quantidade de reciclo era obtida sobre o valor da água de acordo com a porcentagem estabelecida.

### 1.2.3. Reciclo

O reciclo utilizado no experimento, foi feito com a mesma cama de frango, com preparo de 40 dias antes, para o abastecimento dos biodigestores batelada. Foi preparado de acordo com as diluições 1:8, 1:10 e 1:12.

### 1.2.4 Preparo do substrato e abastecimento dos biodigestores

Para o preparo do substrato utilizou-se uma bomba trituradora da marca Homa, para promover trituração e mistura homogênea do substrato, e em seguida determinou-se uma quantidade de 100 kg de substrato a ser preparada, para as seguintes proporções de diluição (1:8, 1:10 e 1:12). Sendo as quantidades de cama de frango, água e reciclo, estão descritos na Tabela 1 e 2.

Em um tambor colocava-se a cama de frango, água e reciclo, de acordo com cada tratamento, deixava-se a bomba misturar o substrato por cinco minutos e depois era bombeado o substrato para fazer a separação da fração sólida, utilizando-se uma peneira vibratória com malha de diâmetro de um mm. Este procedimento foi feito para as três diluições estudadas (1:8, 1:10 e 1:12).

Tabela 1 Quantidade (kg) de cama de frango, água e reciclo.

<b>Diluição</b>	<b>Cama de Frango</b>	<b>Água</b>	<b>Reciclo</b>
<b>1:8</b>	12,5	70	17,5
<b>1:10</b>	10	72	18
<b>1:12</b>	8,35	73,32	18,33

Tabela 2 Quantidade (kg) de Cama de Frango e água

<b>Diluição</b>	<b>Cama de Frango</b>	<b>Água</b>
<b>1:8</b>	12,5	87,5
<b>1:10</b>	10	90
<b>1:12</b>	8,35	91,65



Foram abastecidos 24 biodigestores, com 1,9kg de um substrato nas seguintes condições:

- Cama de frango + água na diluição 1:8 (CF 1:8);
- Cama de frango + água + 20% de reciclo na diluição 1:8 (CFR 1:8);
- Cama de frango + água na diluição 1:10 (CF 1:10);
- Cama de frango + água + 20% de reciclo na diluição 1:10 (CFR 1:10);
- Cama de frango + água na diluição 1:12 (CF 1:12);
- Cama de frango + água + 20% de reciclo na diluição 1:12 (CFR 1:12).

## **1.2.5 Análises laboratoriais**

### **1.2.5.1 Teores de sólidos totais e voláteis**

Para determinação de sólidos totais, as amostras dos afluentes e efluentes dos biodigestores foram acondicionadas em triplicata em recipientes de alumínio, previamente tarados, pesados para obtenção do peso úmido (Pu) do material. Após a pesagem, foram levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65<sup>o</sup> C, até atingirem peso constante, sendo a seguir resfriadas em dessecador e novamente pesadas em balança com precisão de 0,01g, obtendo-se então o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado de acordo metodologia descrita por APHA (2005).

Para a determinação dos sólidos voláteis, o material já seco em estufa, resultante da determinação dos sólidos totais, foi levado à mufla, em cadinhos de porcelana previamente tarados e mantidos a uma temperatura de 575<sup>o</sup>C por um período de 2 horas e 30 minutos. Após o término da queima, os cadinhos foram retirados da mufla e levados ao resfriamento em dessecadores. O material resultante foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral. Os teores de sólidos voláteis foram determinados segundo a metodologia descrita por APHA (2005).

### 1.2.5.2 Cálculo da produção de biogás

Para a produção de biogás foi realizada leitura conforme o acúmulo no gasômetro. A leitura consistiu, na medição da altura aferida em régua fixada junto ao gasômetro, que se deslocava verticalmente. O número obtido na leitura foi multiplicado pela área de seção transversal interna dos gasômetros, igual a 0,00785 m<sup>2</sup>. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm. em 20°C, foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), onde pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal.

Para a correção do volume de biogás, utiliza-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, na Equação (1) onde:

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1}$$

em que:

$V_0$  = volume de biogás corrigido, m<sup>3</sup>;

$P_0$  = pressão corrigida do biogás, 10.33 mm de H<sub>2</sub>O;

$T_0$  = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

$V_1$  = volume do gás no gasômetro;

$P_1$  = pressão do biogás no instante da leitura, 9673,24 mm de H<sub>2</sub>O;

$T_1$  = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9627,24 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 46 mm de água, obtém-se como resultado Equação (2) a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

$$V_0 = V_1 / T_1 * 274,70$$

### 1.2.5.3 Teste de queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama. O teste era realizado com um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do gasômetro. Em presença de chama continua (Figura 3) confirmava-se a queima, o que significa que há uma quantidade de metano, que representa cerca de 50% do volume, o que também é sinal de que a flora microbiana se desenvolveu nas proporções certas

para que o processo anaeróbio aconteça da forma desejada e assim iniciando o abastecimento diário.

Figura 3 Demonstração da queima do biogás, feita pelo teste de queima.



Fonte: Própria

#### **1.2.5.4 Análise dos dados**

Os dados obtidos para redução de sólidos voláteis, produção de biogás em m<sup>3</sup>, potenciais de m<sup>3</sup> de biogás por kg de cama de frango, substrato, de ST adicionados, de SV adicionados foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS program version 9.1 (2003) e as médias comparadas pelo teste de Tukey a um nível de significância de 5 %.

### **1.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

#### **1.3.1 Teores de sólidos totais e voláteis**

Os teores médios de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV), em porcentagem e em massa, dos substratos estão representados na tabela 4. Os resultados se referem aos dejetos que foram utilizados no abastecimento dos biodigestores (afluente) e ao biofertilizante, obtido após o processo (efluente).

Observando-se, na tabela 4, notam-se que os valores dos teores de sólidos totais do abastecimento (afluente) para os três tipos de diluição estão apropriados para o processo de biodigestão anaeróbia, pois Seadi (2008) descreve que o teor de sólidos totais deve estar entre 4-8%.

Tabela 1 Valores de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem.

Tratamento	Sólidos totais (%)		Sólidos totais (kg)		Sólidos voláteis (%)		Sólidos Voláteis (Kg)	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
<b>CF1:8</b>	8,02	2,86	0,1524	0,0544	6,21	1,69	0,1181	0,0322
<b>CFR1:8</b>	8,85	3,95	0,1681	0,0750	6,59	2,18	0,1253	0,0414
<b>CF1:10</b>	7,24	3,06	0,1376	0,0581	5,52	1,89	0,1048	0,0358
<b>CFR1:10</b>	6,37	3,58	0,1210	0,0680	4,77	2,14	0,0906	0,0407
<b>CF1:12</b>	5,25	2,47	0,0997	0,0469	4,09	1,46	0,0777	0,0277
<b>CFR1:12</b>	5,87	2,93	0,1116	0,0556	4,44	1,68	0,0844	0,0320

Não foram observadas interações significativas ( $P > 0,05$ ) entre reciclo e a diluição nas reduções de sólidos voláteis (Tabela 5). Os valores médios de reduções de sólidos voláteis para os três tipos de diluição foram de 67% sem reciclo e 61% com reciclo, caracterizando que uso do biodigestor foi eficiente para as reduções de sólidos voláteis, devido a cama de frango ser material de difícil degradação.

Orrico Jr., Orrico e Lucas Jr. (2010) obtiveram valores de reduções de sólidos voláteis de 44% em biodigestores abastecidos com os resíduos de aves mortas e cama de frangos pré-compostados e Aires et al. (2009) apresentaram valores de reduções de 65% no processo de biodigestão de cama de frango com separação de sólidos, valores semelhantes aos encontrados neste trabalho.

Tabela 5 Reduções sólidas voláteis para três diluições e com e sem reciclo.

Reciclo <sup>a</sup>	Sem			Com			
	Diluição	1:8	1:10	1:12	1:8	1:10	1:12
SVred. <sup>c</sup>		72,76	65,78	64,46	66,96	54,98	62,09
P-value <sup>d</sup>							
DI							0,0014*
RE							0,0025*
RE x DI							0,1851 <sup>ns</sup>
CV (%)							6,83

\*\*significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ).

\*significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 \leq p < .05$ ).

<sup>ns</sup>não significativo ( $p \geq .05$ ).

<sup>a</sup> Reciclo utilizado para diluição da cama de frango, tratamento que não foi adicionado reciclo (SEM) e tratamento que recebeu reciclo (COM).

<sup>b</sup> Diluição utilizada no experimento 1:8, 1:10 e 1:12 para os dois tratamento com e sem reciclo

<sup>c</sup> Svred. = Sólidos voláteis reduzidos.

<sup>d</sup> RE = Reciclo; DI = Diluição; RE x DI = Interação entre Reciclo e Diluição e CV = coeficiente de variação.

Costa (2009) em seu experimento utilizando cama de frango diluída com biofertilizante de suínos em biodigestores batelada, apresentou resultados de reduções de sólidos voláteis de 60,99 e 67,20% para os tratamentos com cama de frango + biofertilizante e cama de frango + água respectivamente, semelhante ao encontrado neste trabalho.

A redução de sólidos voláteis, demonstra a eficiência quanto a matéria orgânica ou substrato são convertidos em biogás assim degradando material. Segundo Santos (2001) a maior redução de sólidos nos substratos preparados com camas reutilizadas se deve a maior quantidade de excretas (maior acumulo devido à criação de dois lotes de aves na mesma cama), em relação ao material utilizado como cama, o que no caso seria a maravalha e Lucas Jr., (1994), relata que quanto maior for a concentração de sólidos voláteis, dentro de certos limites, na alimentação diária do biodigestor ( $\text{kg/m}^3$ ), maior será a capacidade de produção de biogás

### **1.3.2 Potenciais de produção de biogás**

Para os potenciais de produção de biogás, foram observadas interações significativas entre sólidos totais adicionados ( $p < 0,01$ ), voláteis adicionados ( $p < 0,01$ ), cama de frango ( $p < 0,0231$ ) e substrato ( $p < 0,0234$ ) (Tabela 6).

A produção média de biogás por kg de sólidos totais adicionados (STadic.) o que apresentou melhor resultado foi o tratamento com diluição 1:12 + reciclo, não diferenciando do tratamento com diluição 1:12 + água. Em relação aos sólidos voláteis adicionados (SVadic.), o tratamento com diluição 1:12 com e sem reciclo foi o que apresentaram melhores produção de biogás por kg de SVadic.

Costa (2012) obteve resultados de produção de biogás por kg de STadic. quando efetuou a biodigestão anaeróbia de cama de frango de terceiro lote com biofertilizante com separação de sólidos a 3 e 6%, com media de produção de biogás por STadic. de 0,2815 com sólidos totais de 3% e de 0,6035 para 6% ST. Sendo o resultado de 3% de sólidos totais semelhante ao encontrado nesta pesquisa e com 6% foi superior.

Tabela 6 Potenciais de produção de biogás, expressos em m<sup>3</sup> de biogás por kg de sólidos totais adicionados (STadic.) e sólidos voláteis adicionados (SVadic.) e por kg cama de frango e substrato.

Reciclo <sup>a</sup>	Sem			Com			P-value <sup>c</sup>			
	1:8	1:10	1:12	1:8	1:10	1:12	DI	RE	RE x DI	CV(%)
Diluição <sup>b</sup>										
Sólidos totais adicionados	0,1432 e	0,2022 dc	0,2455 ab	0,1953 d	0,2263 bc	0,2578 a	0,0001**	0,0001**	0,0001**	6,06
Sólidos voláteis adicionados	0,1849 d	0,2653 bc	0,3151 a	0,2620 c	0,3023 ab	0,3409 a	0,5760 <sup>ns</sup>	0,0001**	0,0001**	6,69
Cama de frango	0,0921 c	0,1464 b	0,1542 b	0,1381 b	0,1441 b	0,1813 a	0,0001**	0,0001**	0,0231*	6,29
Substrato	0,0115 d	0,0146 bc	0,0129 dc	0,0172 a	0,0144 bc	0,0151 ab	0,0001**	0,0001**	0,0234*	6,33

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si (p<0.05).

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade (p < .01).

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade (.01 =< p < .05).

<sup>ns</sup> não significativo (p >= .05).

<sup>a</sup> Reciclo utilizado para diluição da cama de frango, tratamento que não foi adicionado reciclo (SEM) e tratamento que recebeu reciclo (COM).

<sup>b</sup> Diluição utilizada no experimento 1:8, 1:10 e 1:12 para os dois tratamentos com e sem reciclo.

<sup>c</sup> RE = Reciclo; DI = Diluição; RE x DI = Interação entre Reciclo e Diluição e CV = coeficiente de variação.

Tessaro (2015) apresentou em seu experimento valores médios de  $(0,4106 \pm 0,0128)$ ,  $(0,3264 \pm 0,0243)$  e  $(0,0804 \pm 0,0023)$  m<sup>3</sup> biogás por kg de substrato no processo de biodigestão anaeróbia com os tratamentos com cama de frango + biofertilizante + água, cama de frango + biofertilizante e cama de frango + água respectivamente e Silveira (2014) obteve valores de 0,023, 0,027 e 0,032 m<sup>3</sup>\*kg<sup>-1</sup> de biomassa para cama de frango com água em três diferentes porcentagens de água, pode-se observar que a produção de biogás com a cama de frango tem vários fatores que interferem em uma maior ou menor produção de biogás, um fator importante é quantas vezes a cama de frango foi reutilizada, quanto maior a reutilização, maior o teor de matéria orgânica em sua composição.

### **1.3.3 Produção de biogás**

A figura 2 representa graficamente a produção total de biogás do período de 196 dias, nota-se que os tratamentos com reciclo independentemente da diluição foram os que apresentaram maior produção de biogás.

Pode-se observar que a maioria dos tratamentos obteve um pico de produção de biogás aos 35 dias, com exceção do tratamento CF1:10 que demonstrou um pico de produção aos 70 dias e também o tratamento CFR1:10 apresenta uma queda acentuada de produção de biogás aos 63 dias.

Os tratamentos com reciclo CFR 1:8 e 1:12 apresentaram semelhança na produção de biogás, porém o tratamento CFR1:8 aos 140 dias produziu um pequeno pico de produção de biogás, enquanto aos demais tratamentos já não estavam produzindo biogás.





Pode-se observar que o comportamento da curva de produção de biogás na Figura 2 foi aparentemente igual para todos os tratamentos. Este comportamento da curva de produção pode estar relacionado ao fato da cama de frango ser uma mistura de componentes heterogêneos, agrupando substâncias de rápida degradação (amido e carboidratos), que são responsáveis pela rápida liberação de gás carbônico e substâncias de degradação lenta, como o caso da lignina, celulose e hemicelulose.

A produção média de biogás total, em  $m^3$ , esta representada na Tabela 6, o tratamento com diluição 1:8 mais reciclo foi com valor médio de produção de biogás de  $0,0328 m^3$ , foi que apresentou maior produção de biogás.

Tabela 6 Produção de biogás ( $m^3$ ).

Reciclo <sup>a</sup>	Sem			Com		
	1:8	1:10	1:12	1:8	1:10	1:12
Diluição <sup>b</sup>						
Prod.biogás	0,0219 d	0,0278 bc	0,0245 cd	0,0328 a	0,0273 bc	0,0287 b
P-value <sup>c</sup>						
DI						0,5362 <sup>ns</sup>
RE						0,0001**
RE x DI						0,0040**
CV (%)						6,58

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si ( $p < 0.05$ ).

\*\* Significativo ao nível de 1% de probabilidade ( $p < .01$ ).

\* Significativo ao nível de 5% de probabilidade ( $.01 = p < .05$ ).

<sup>ns</sup> não significativo ( $p \geq .05$ ).

<sup>a</sup> Reciclo utilizado para diluição da cama de frango, tratamento que não foi adicionado reciclo (SEM) e tratamento que recebeu reciclo (COM).

<sup>b</sup> Diluição utilizada no experimento 1:8, 1:10 e 1:12 para os dois tratamentos com e sem reciclo.

<sup>c</sup> RE = Reciclo; DI = Diluição; RE x DI = Interação entre Reciclo e Diluição e CV = coeficiente de variação.

Os tratamentos com diluição de cama de frango com 20% de reciclo apresentaram bons resultados de produção de biogás, indicando que pode substituir água por reciclo e gerar biogás.

Suzuki et al. 2012 em seu experimento com cama de frango peneirada e diluída em água residuária de indústria de fécula de mandioca obteve produção de biogás bem inferiores ao encontrado neste experimento.

Costa (2012) encontrou valores de  $0,7736 m^3$  de biogás em cama de frango + água com diferentes proporções de sólidos totais e valores de  $0,7500 m^3$  de biogás em cama de frango + biofertilizante, ambos com cama de frango de 3º lote de reutilização, valores maiores aos encontrados nesse trabalho.

## CONCLUSÃO

A utilização de reciclo proporcionou aumento na produção constituindo-se em alternativa para o avicultores aumentarem a geração de energia com este procedimento.

As diluições d cama de frangos nas proporções 1:8 e 1:12 com parte da água sendo substituída pelo reciclo apresentaram melhores resultados para a produção de biogás.

## REFERÊNCIAS

AIRES, A. M.; LUCAS JR, J. ; FUKAYAMA, E. H. ; ROMANTINE, C. M. ; GUIDOLIN, D. G. F. . Biodigestão anaeróbia da cama de frangos de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida sobre a produção de biogás e a qualidade do biofertilizante. In: AUGM - **Congresso de Meio Ambiente da Associação de Universidades Grupo de Montevideu**, 2009, São Carlos-SP. Anais de Eventos da UFSCar, 2009. v. 6. p. 1-15.

AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango com ou sem separação das frações sólida e líquida**. 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standart methods for the examination of water andwastewater**.20th ed. Washington, DC, 2005.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

COSTA, L. V. C. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO CAMA DE FRANGO DILUÍDA EM ÁGUA E EM BIOFERTILIZANTE DE DEJETOS DE SUÍNOS**. 2012. 75 f. Tese (Doutorado em Energia na agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

FARIAS, Romildo Marques de et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. **Ciência Rural**, [s.l.], v. 42, n. 6, p.1089-1094, jun. 2012. Fap UNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0103-84782012005000031>.

KHALID, Azeem et al. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, [s.l.], v. 31, n. 8, p.1737-1744, ago. 2011. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.wasman.2011.03.021>.

LUCAS JÚNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios.** 1994. 137 f. Tese (Livre- Docência Construções Rurais) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

OLIVEIRA, S. V. W. B.; LEONETI, A.V.; CALDO G. M. M.; DE OLIVEIRA, M. M. B.; Generation of bioenergy and biofertilizer on a sustainable rural property **Biomass and Bioenergy**, Volume 35, Issue 7, Julho 2011, p. 2608-2618

ORRICO, A.C.A. et al. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p.639-647, 2007.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; LUCAS JÚNIOR, J.; BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA: CAMA DE FRANGOS E CARÇAÇAS. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.546-554, maio/jun. 2010.

SAS INSTITUTE. SAS version 9.1. Cary: SAS Institute, 2003.

SARMENTO, Zito Rigo Sarmento et al. APROVEITAMENTO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DA CAMA DE FRANGO PARA USO NA ATIVIDADE AVÍCOLA. In: XI CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, Não use números Romanos ou letras, use somente números Arábicos., 2015, Rio de Janeiro. **Anais...** . Rio de Janeiro: Cneg & Inovarse, 2015. p. 1 - 15.

SANTOS, T. M. B. **Balço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frango de corte.** 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SANTOS, T.M.B. et al. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, v.27, n.3, p. 658-664, 2007.

SANTI, Lorenzo. **Influência da adição de enzimas e microrganismos sobre a digestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos.**2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

SILVA, F.M. et al. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. **Engenharia Agrícola**, v.25, n.3, p.608-614, 2005.

SUZUKI, Ana Beatriz Prenzler et al. Utilização de manipueira juntamente com sólidos da cama de aviário em biodigestores para geração de biogás / Use of cassava wastewater with solid poultry manure in anaerobic digesters to generate biogas. **Revista Ambiente**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.809-819, 30 dez. 2012. GN1 Genesis Network. <http://dx.doi.org/10.5777/ambiente.2012.05.01>.

TESSARO, A. B. et al., Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do Paraná e utilizada como substrato para a produção de biogás. **Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 8, n. 2 p.357-377, maio/ago, 2015.

ZEB, Iftikhar et al. Recycling separated liquid-effluent to dilute feedstock in anaerobic digestion of dairy manure. **Energy**, [s.l.], v. 119, p.1144-1151, jan. 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.energy.2016.11.075>.

## CAPITULO 2: USO DE RECICLO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE CAMA DE FRANGO TRITURADA E PENEIRADA: ABASTECIMENTO SEMI-CONTÍNUO

Alex Luiz Sagula<sup>1</sup>; Laura Vanessa Cabral da Costa<sup>2</sup>; Jorge de Lucas Junior<sup>3</sup>

1 Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, Brasil. CEP 18610-307.

2 Centro universitário de Araraquara (UNIARA), Araraquara, SP, Brasil. CEP 14801-340.

3 Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, Brasil. CEP 14884-900.

**RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho avaliar a produção de biogás, no processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango com separação de sólidos, com e sem utilização de 40% de reciclo em sistema semi-contínuo de abastecimento. Foram utilizados 10 biodigestores do tipo semi-contínuo, com capacidade de 60L de substrato em fermentação. Os equipamentos utilizados para processamento da cama de frango foram uma bomba trituradora para misturar e triturar a cama de frango em partículas menores para facilitar e melhorar a eficiência na biodigestão e para a separação da fração sólida foi utilizada uma peneira vibratória com malha de 1mm. As reduções de sólidos totais foram de 41,58% para o tratamento de cama de frango + água e de 52,64% para o tratamento cama de frango +água e 40% de reciclo. Já a produção de biogás em 35 dias de abastecimento com 40% de reciclo no substrato foi de 1,01181 e 1,0917 m<sup>3</sup> de biogás para o tratamento cama de frango + água e cama de frango +água e 40% de reciclo, respectivamente, não havendo diferença significativa. Pode-se concluir que a utilização do reciclo não interfere na produção, podendo ser uma alternativa para o avicultor economizar água na diluição da cama de frango.

Palavras-chaves: Avicultura, biogás e biodigestor

**ABSTRACT:** The objective of this work was to evaluate the biogas production in the anaerobic biodigestion process of the chicken litter with solid separation, with and without the use of 40% recycle in a semi-continuous supply system. Ten semi-continuous biodigesters were used, with a capacity of 60 liters of substrate in fermentation. The equipment used for processing chicken bed was a crushing pump to mix and crush the bed of chicken in smaller particles to facilitate and improve the efficiency in the biodigestion and for the separation of the solid fraction was used a vibrating sieve with 1mm mesh. The total solids reductions were 41.58% for the treatment of chicken + water bed and 52.64% for the treatment bed of chicken + water and 40% of recycle. On the other hand, the production of biogas in 35 days of supply with 40% recycle in the substrate was 1.01181 and 1.0917 m<sup>3</sup> of biogas for the treatment bed of chicken + water and bed of chicken + water and 40% of recycle respectively There was no significant difference. It can conclude that the use of the recycle does not interfere in the production, and can be an alternative for the poultry farmer to save water in the dilution of the chicken litter.

Keywords: Poultry, biogas and biodigester

## 2.1 INTRODUÇÃO

O Brasil possui uma abundante fonte de energia renovável, que pode ser derivada a partir de todas as matérias orgânicas produzidas por humanos e atividades naturais, incluindo resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos, resíduos florestais, bem como resíduos agropecuários (WANG e KESHWANI, 2009; NOGUEIRA e LUCAS Jr., 2014).

Com a atual produção avícola no Brasil, produzem-se grandes quantidades de cama de frango, material que atualmente é usado como fertilizante no setor agrícola de forma inadequada. No entanto, há uma preocupação por parte de ambientalistas de que o uso descontrolado da cama de frango como fertilizante pode ocasionar poluição do meio ambiente rural com a liberação de odores e gases como o metano e o dióxido de carbono (NEITZKE, 2010).

A produção de cama de frango é definida por diversos parâmetros zootécnicos da avicultura: características dos módulos de confinamento, manejo dos lotes de produção, sistema de iluminação, sistema de climatização, sistema de fornecimento de água e sistema de distribuição de ração. Todos esses fatores contribuem para a produção final da cama e a quantidade de umidade nela existente (BALDIN, 2013).

A conversão anaeróbia de materiais orgânicos e poluentes é uma tecnologia estabelecida para a proteção do ambiente por meio do tratamento de resíduos e de águas residuais, sendo que a biodigestão anaeróbia de resíduos agropecuários, tem provado ser um bom método para a obtenção de energia renovável, além de diminuir o impacto das emissões de gases de efeito estufa liberados a partir de dejetos sem tratamento. O produto final resultante da biodigestão é o biogás, uma mistura principalmente de metano e dióxido de carbono, produzido quando as bactérias anaeróbias degradam a matéria orgânica (MASSÉ et al., 2010; NOGUEIRA e LUCAS Jr., 2014).

Segundo Neitzke (2010) a viabilidade técnica da biodigestão anaeróbia da cama de frango é um fato, mas esta validação não tem sido observada pelos avicultores como um processo para tratamento deste resíduo.

O objetivou-se nesta pesquisa avaliar a produção de biogás e quantificar sua composição, com e sem o uso de 40% de reciclo na substituição da água para diluição da cama de frango.

## 2.2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.2.1 Local e descrição do experimento

A pesquisa foi realizada no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias/UNESP- Campus de Jaboticabal. O experimento foi conduzido no período de agosto a outubro de 2016, utilizando-se biodigestores do tipo semi-contínuos.

Para o experimento foram utilizados 10 biodigestores semi-contínuos e gasômetros, confeccionados de PVC rígido conforme esquema (Figuras 1 e 2), os quais possuem capacidade útil de 60 litros de substrato em fermentação e foram instalados no exterior do laboratório. A cama de frango utilizada no experimento foi de quarta reutilização, composta por casca de amendoim, proveniente de galpão convencional localizado no município de Monte Alto – SP.

Figura 1 Representação esquemática do biodigestor semi-contínuo, medidas em mm

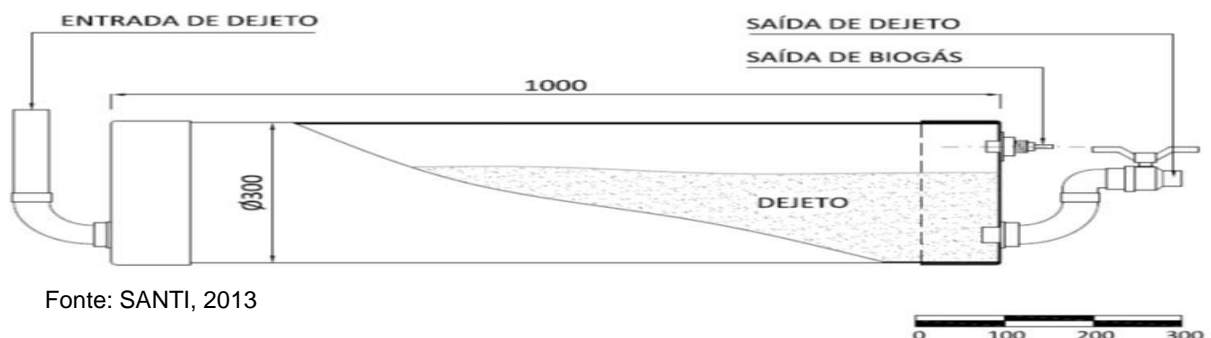
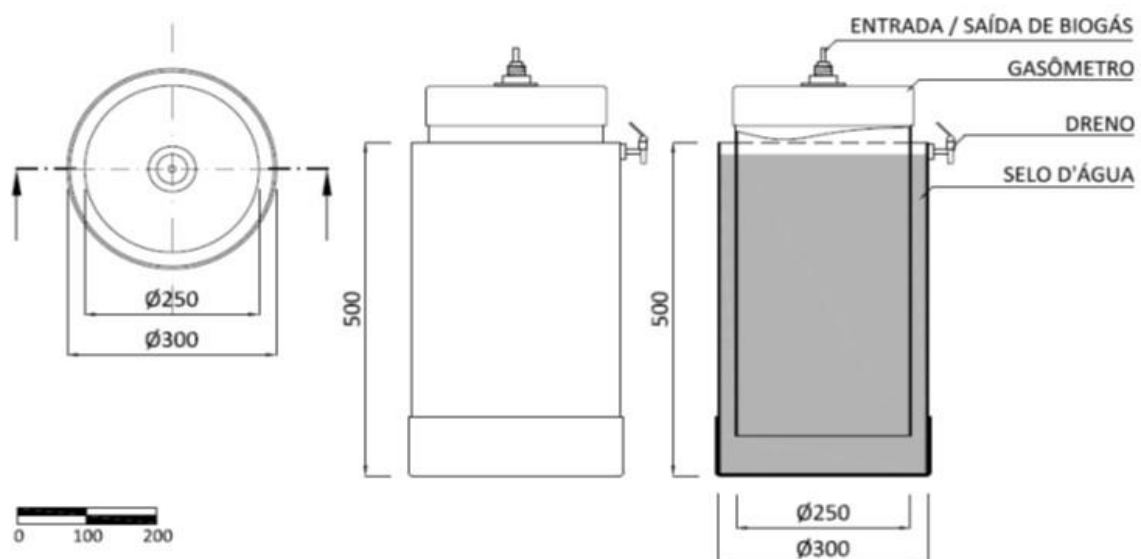


Figura 2 Representação esquemática do gasômetro, medidas em mm



Fonte: SANTI, 2013

Para a execução do ensaio, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado, com dois tratamentos (Tabela 1), contendo cinco repetições e todos os tratamentos foram feitas separações de sólidos.

Tabela 1 Tratamentos utilizados

<b>Tratamentos</b>	
CF1:10	Diluição 1:10 Cama de frango + água
CFR1:10	Diluição 1:10 Cama de frango + água + 40% de reciclo

### 2.2.2 Abastecimento Inicial dos biodigestores semi-contínuos

Para a partida dos biodigestores, estes foram abastecidos com 60kg de substrato composto por cama de frango + água, com separação de sólidos e na diluição 1:10, para os dois tratamentos e só diferenciando-se os tratamentos quando se iniciou o abastecimento diário.

Para o preparo do substrato procedeu-se da seguinte forma: pesava-se 10kg de cama de frango e 90kg de água e para promover a mistura utilizou-se uma bomba trituradora da Marca HOMA, para que houvesse uma melhor homogeneização do substrato. E em seguida usando a mesma bomba, era bombeado o substrato para a separação da fração sólida, utilizando-se uma peneira vibratória com malha de diâmetro de um mm.

### 2.2.3 Abastecimento diário dos biodigestores

O abastecimento diário foi realizado diariamente por 90 dias, no entanto, foi estabelecido um período de 35 dias para se analisar o processo de biodigestão anaeróbia. Para o cálculo da quantidade diária de afluente a ser adicionado nos biodigestores foi considerado o TRH de 30 dias de acordo com a Equação (1):

$$THR = \frac{VOLUME\ DO\ BIODIGESTOR}{CARGA\ DIÁRIA}$$

No qual: TRH= Tempo de Retenção Hidráulica



O preparo do substrato a ser abastecido diariamente era realizado semanalmente conforme o procedimento descrito no item 2.2.2. Após o substrato preparado, utilizava-se um Becker graduado de dois litros, para medir a quantidade de substrato a ser colocada em garrafas de dois litros. Para conservação, as cargas eram armazenadas em geladeiras, retirando no final da tarde, para que no outro dia de manhã estariam em temperatura ambiente.

Para o tratamento que continha cama de frango + água colocavam-se dois litros do substrato e o tratamento que continha reciclo colocavam-se 1,5 l do substrato nas garrafas de dois litros e adicionava-se 0,5 l de reciclo antes de se fazer a carga diária, isto ocorreu por um período de 30 dias de abastecimento.

Após 30 dias, para o tratamento com reciclo passou-se a preparar o substrato com seguinte quantidade: de 10kg de cama de frango + 54kg de água e 36kg de reciclo, o que representa 40 % de reciclo em substituição a água e o tratamento com cama de frango + água continuava a ser preparado com 10kg de cama de frango e 90kg de água, resultando e dois preparos de substrato.

## **2.2.4 Análises laboratoriais**

### **2.2.4.1 Teores de sólidos totais e voláteis**

Para determinação de sólidos totais (ST), as amostras dos afluentes e efluentes dos biodigestores foram acondicionadas em triplicata em recipientes de alumínio, previamente tarados, pesados para obtenção do peso úmido (Pu) do material. Após a pesagem, foram levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C, até atingirem peso constante, sendo a seguir resfriadas em dessecador e novamente pesadas em balança com precisão de 0,01g, obtendo-se então o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado de acordo metodologia descrita por APHA (2005).

Para a determinação dos sólidos voláteis (SV), o material já seco em estufa, resultante da determinação dos sólidos totais, foi levado à mufla, em cadinhos de porcelana previamente tarados e mantidos a uma temperatura de 575°C por um período de 2 horas e 30 minutos. Após o término da queima, os cadinhos foram retirados da mufla e levados ao resfriamento em dessecadores. O material resultante foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral. Os teores de sólidos voláteis foram determinados segundo a metodologia descrita por APHA (2005).

### 2.2.4.2 Cálculo da produção de biogás

Para a produção de biogás foi realizada leitura conforme o acúmulo no gasômetro. A leitura consistiu, na medição da altura aferida em régua fixada junto ao gasômetro, que se deslocava verticalmente. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm. em 20°C, foi efetuada com base no trabalho de Caetano (1985), onde pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresenta comportamento próximo ao ideal.

Para a correção do volume de biogás, utiliza-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, onde:

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1}$$

em que:

$V_0$  = volume de biogás corrigido, m<sup>3</sup>;

$P_0$  = pressão corrigida do biogás, 10.33 mm de H<sub>2</sub>O;

$T_0$  = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

$V_1$  = volume do gás no gasômetro;

$P_1$  = pressão do biogás no instante da leitura, 9673,24 mm de H<sub>2</sub>O;

$T_1$  = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9627,24 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 46 mm de água, obtém-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

$$V_0 = V_1/T_1 \times 274,70$$

### 2.2.4.3 Teste de queima

Este teste consistiu na verificação de queima ou não do biogás proveniente dos biodigestores em batelada para detecção de presença ou não de metano em quantidade suficiente para manter uma chama. O teste era realizado com um Bico de Bunsen, cuja mangueira era acoplada à saída de gás do gasômetro. Em presença de chama contínua (Figura 3) confirmava-se a queima, o que significa que há uma quantidade de metano, que representa cerca de 50% do volume, o que também é sinal de que a flora microbiana se desenvolveu nas proporções certas

para que o processo anaeróbio aconteça da forma desejada e assim iniciando o abastecimento diário.

Figura 3 Teste de queima



Fonte: Própria

#### **2.2.4.4 Caracterização qualitativa do biogás**

Para avaliação da composição do biogás produzido, foram feitas análises com base nos teores de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Semanalmente foram retiradas amostras de biogás dos biodigestores durante todo o período experimental, utilizando-se seringas plásticas de 10 ml de volume. As determinações foram feitas em cromatógrafo Tracera da marca SHIMADZU GC 2010 plus equipado com colunas ShinCarbon ST Micropacked, utilizando o hélio como gás de arraste. A calibração do equipamento foi feita com o gás padrão contendo 55,4% de metano, 35,1% de dióxido de carbono, 2,1% de oxigênio e 7,7% de nitrogênio.

#### **2.2.4.5 Análise dos dados**

Os dados obtidos para redução de sólidos voláteis, produção de biogás em  $\text{m}^3$ , potenciais de  $\text{m}^3$  de biogás por kg de cama de frango, substrato, de ST adicionados, de SV adicionados, foram submetidos à análise de variância pelo procedimento GLM do SAS program version 9.1 (2003) e a diferença entre as médias dos tratamentos foram determinadas pelo teste “F”

## 2.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 2.3.1 Teores de sólidos totais e voláteis

Na Tabela 2 estão apresentados os valores médios das concentrações dos sólidos totais e sólidos voláteis em massa e em porcentagens, no início e final do processo de biodigestão anaeróbia e as reduções de sólidos voláteis em (%).

Os valores de sólidos totais para CF1:10 e CFR1:10 apresentam valores acima dos utilizado por Costa (2012), que estudou a biodigestão de cama de frango de terceiro lote, com 6% de sólidos totais em biodigestores do tipo batelada, e encontrou valor de 4, 11 e 4,13 % para cama de frango com água e cama de frango biofertilizante, respectivamente. Esta diferença nos teores de ST se deve aos diferentes procedimentos de preparo do substrato.

As concentrações de sólidos totais da entrada (Afluente) demonstradas na Tabela 2, indicam que o teor de sólidos totais é apropriado para o abastecimento em biodigestor, bem como descreve Seadi (2008) que o teor de ST do afluente, tem que estar entre 4-8%.

O processo de diluição e separação de sólidos é um fator importante para se obter teores de sólidos totais ideais para o abastecimento em biodigestor.

Avaliando a redução de sólidos voláteis, pode-se observar uma redução de 41,58% para o tratamento CF1:10 e de 52,64% para o CFR1:10, este resultado encontrado nesta pesquisa demonstra que o reciclo promoveu uma melhor redução de sólidos voláteis.

Tabela 2 Valores de sólidos totais e voláteis em massa e em porcentagem, reduções sólidas voláteis nos tratamentos avaliados.

Tratamento	Sólidos totais (%)		Sólidos Voláteis (%)		Sólidos totais (kg)		Sólidos Voláteis (Kg)		<sup>1</sup> RED SV,%
	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída	
<b>CF1:10</b>	4,97	3,58	3,54	2,16	0,0993	0,0715	0,0708	0,0431	41,58 B
<b>CFR1:10</b>	6,55	3,81	4,66	2,20	0,1310	0,0791	0,0931	0,0440	52,64 A
<b>CV (%)</b>									9,08

<sup>1</sup>Reduções de sólidos voláteis, médias seguidas de mesma letra maiúscula, não diferem pelo teste de Tukey a 5%.

CV = Coeficiente de variação

Os valores deste trabalho, para reduções de sólidos voláteis, estão próximos aos encontrados por Costa (2012), que encontrou reduções médias de SV de 29,01 a 51,40% para cama de frango com teor de sólidos totais entre 3 e 6%, diluída em água e biofertilizante, utilizando biodigestores bateladas.

Orrico Jr., Orrico e Lucas Jr. (2010) encontraram valores entre 40,59 e 47,21 % na redução de sólidos voláteis na cama de frango com casca de amendoim de 1º lote de reutilização, em biodigestores bateladas, valores próximos ao encontrado nesse trabalho para os tratamentos CF 1:10 e CFR 1:10, pois fração líquida apresentada nesse trabalho, pode ter influenciado a redução da matéria orgânica.

### 2.3.2 Produção, potenciais de biogás e teores de metano

Na Tabela 3 encontram-se os valores médios de potenciais de biogás e porcentagens de metano. As médias de produção de biogás e potenciais de biogás foram avaliadas referentes ao período de 35 dias de coleta de dados, em que os biodigestores do tipo semi-contínuo foram abastecidos com 40 % de reciclo.

Tabela 3 Valores médios dos potenciais de produção de biogás por kg de sólidos totais (ST) adicionados, sólidos voláteis (SV) adicionados, substrato e cama de frango.

Tratamento	Potencial médio	Valor de P
<u>m<sup>3</sup> de biogás/kg ST adicionados</u>		
CF1:10	0,2918 <sup>a</sup>	0,0089
CFR1:10	0,2380 B	
CV (%)	9,35	
<u>m<sup>3</sup> de biogás/kg SV adicionados</u>		
CF1:10	0,4091 <sup>a</sup>	0,0096
CFR1:10	0,3346B	
CV (%)	9,35	
<u>m<sup>3</sup> de biogás/kg de Cama de frango</u>		
CF1:10	0,1454	0,3904
CFR1:10	0,1559	
CV (%)	12,03	
<u>m<sup>3</sup> de biogás/kg Substrato</u>		
CF1:10	0,0145	0,3909
CFR1:10	0,0155	
CV (%)	12,13	

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si (P>0,05).  
CV = Coeficiente de variação

De acordo com a Tabela 3 não houve diferença estatística entre os tratamentos para o potencial de produção de biogás por m<sup>3</sup>/kg de substrato e cama de frango. Para os potenciais de produção de biogás por kg de sólidos totais adicionados e sólidos voláteis adicionados, o tratamento com CF1:10 resultou no maior potencial de produção.

A produção de biogás por kg de sólidos totais adicionados, um fator importante por eliminar a interferência do teor de água presente na biomassa, observa-se que variaram de 0,2918 a 0,2380 m<sup>3</sup>, valores superiores ao encontrado por Orrico Jr., Orrico e Lucas Jr. (2010), que variaram entre 0,135 e 0,153 m<sup>3</sup> por kg de ST adicionados.

A produção de biogás por kg de sólidos totais adicionados e voláteis adicionados obtidos no presente estudo são comparáveis aos encontrados por Costa (2012) que avaliando o desempenho de biodigestores tipo semi-contínuo, operados com cargas diárias de cama de frango de terceiro lote diluída em água e biofertilizante, observaram produções de biogás de 0,3613 m<sup>3</sup> de biogás por kg de sólidos totais adicionados e 0,4425 m<sup>3</sup> de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados, quando abastecido diariamente com água e quando comparado com abastecimento com biofertilizante os resultados foram de 0,3891 m<sup>3</sup> de biogás por kg de sólidos totais adicionados e 0,5661 m<sup>3</sup> de biogás por kg de sólidos voláteis adicionados.

Na Tabela 4 encontram-se o volume biogás (m<sup>3</sup>) para os tratamentos CF1:10 e CFR1:10 em biodigestores do tipo semi-contínuo durante os 35 dias de coleta de dados.

Tabela 4 Produção de biogás por m<sup>3</sup>.

Tratamento	Potencial medio	Valor de P
	Volume de biogás	
CF1:10	1,0181	0,3001
CFR1:10	1,0917	
CV (%)	12,13	

Médias seguidas de mesma letra na linha não diferem entre si (P>0,05).

CV = Coeficiente de variação

A produção de biogás não houve diferença estatística entre os tratamentos, demonstrando que o reciclo não interfere negativamente no processo biodigestão anaeróbia.

TESSARO (2015), trabalhando em biodigestores batelada com cama de frango de primeiro lote, composta por serra de *pinus*, sem a separação de sólidos, diluída

em biofertilizante de cama de frango, encontrou valores médios de  $(0,4106 \pm 0,0128)$ ,  $(0,3264 \pm 0,0243)$  e  $(0,0804 \pm 0,0023)$  m<sup>3</sup> de biogás para os tratamentos com cama de frango + biofertilizante + água, cama de frango + biofertilizante e cama de frango + água respectivamente.

Em relação ao volume de biogás, segundo Zanato, 2014 apud Junqueira *et al.* (2011) um melhor desempenho do material sem separação de sólidos poderia ser atribuído a maior quantidade de fibras degradáveis e convertidas em biogás pelos microrganismos no interior dos biodigestores, no entanto não foram observadas diferenças entre os tratamentos com e sem separação de sólidos.

Para concentração de metano observa-se que os tratamentos CF1:10 e CFR1:10 apresentaram valores de 51 e 54 % respectivamente, o que foi muito abaixo do encontrado por Aires (2009), trabalhando com cama de frango composta por casca de amendoim com diferentes reutilizações com e sem separação de sólidos, que verificou resultados de 81,35 e 78,92 % de CH<sub>4</sub> para cama de 1º lote e 85,98 e 81,98 % para cama de 3º lote, ambas com e sem separação de sólidos respectivamente, resultados próximos aos encontrados nesse trabalho.

A figura 5 demonstra a produção de biogás referente aos 35 dias de abastecimento com 40% de reciclo no substrato, em substituição água. Pode ser visualizada a produção de biogás em biodigestores do tipo semi-contínuo abastecidos com cama de frango + água e cama de + água + 40% de reciclo com separação de sólidos durante todo período de operação do biodigestor. Na fase inicial observa-se que os tratamentos CF1:10 tem-se uma maior produção de biogás, enquanto que na fase de estabilidade do sistema são muito semelhantes, porém o tratamento CFR1:10 demonstra maior produção de biogás.

Na figura 6 pode ser observada a produção de metros cúbicos de metano, onde é possível visualizar que em ambos os tratamentos as curvas de metros cúbicos de metano foram semelhante. Nota-se que a produção de metro cúbico de metano no tratamento CFR1:10 foi superior ao tratamento CF1:10. Demonstrando maior eficiência energética em comparação com o tratamento só com água.

Figura 5 Produção de biogás

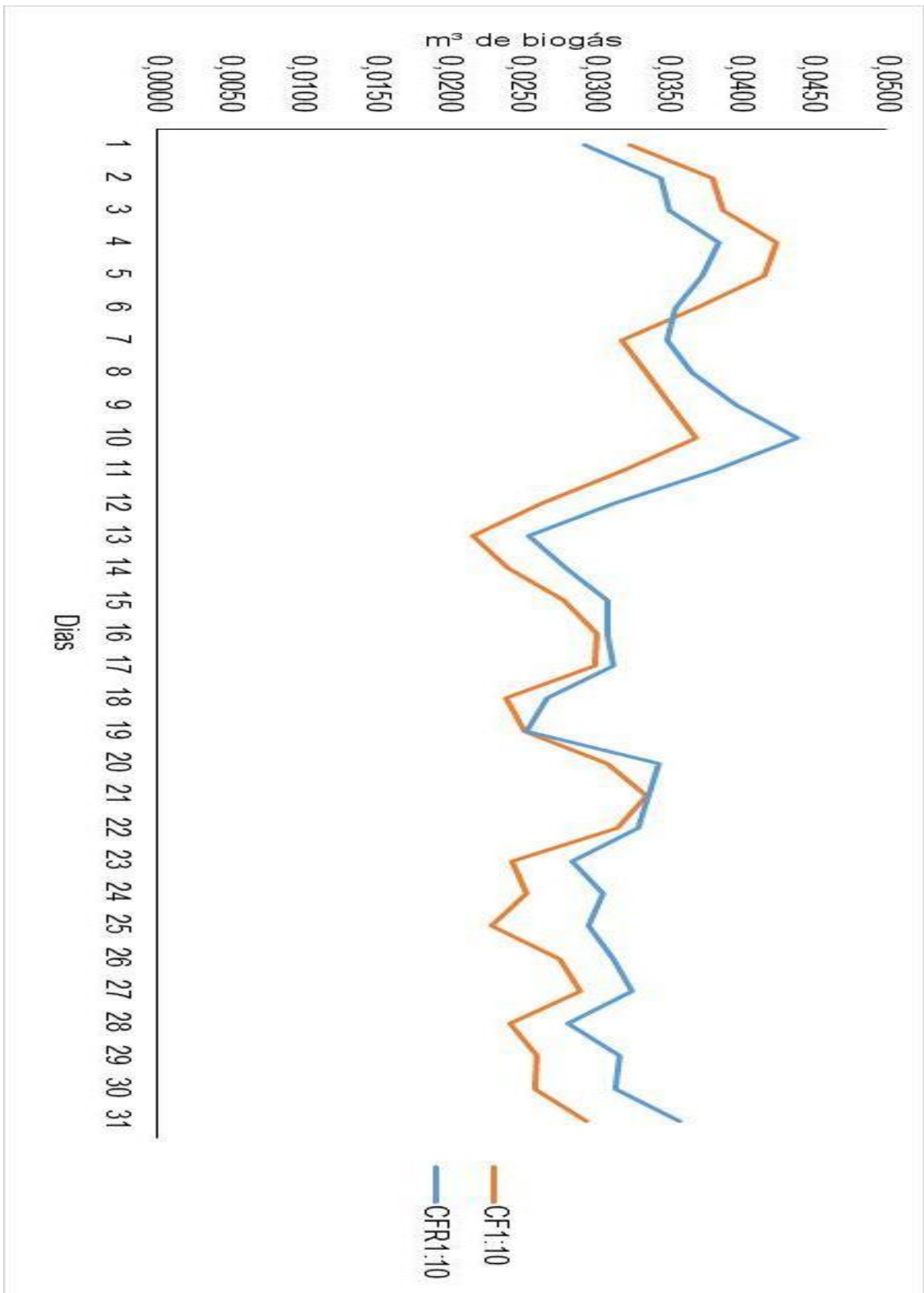
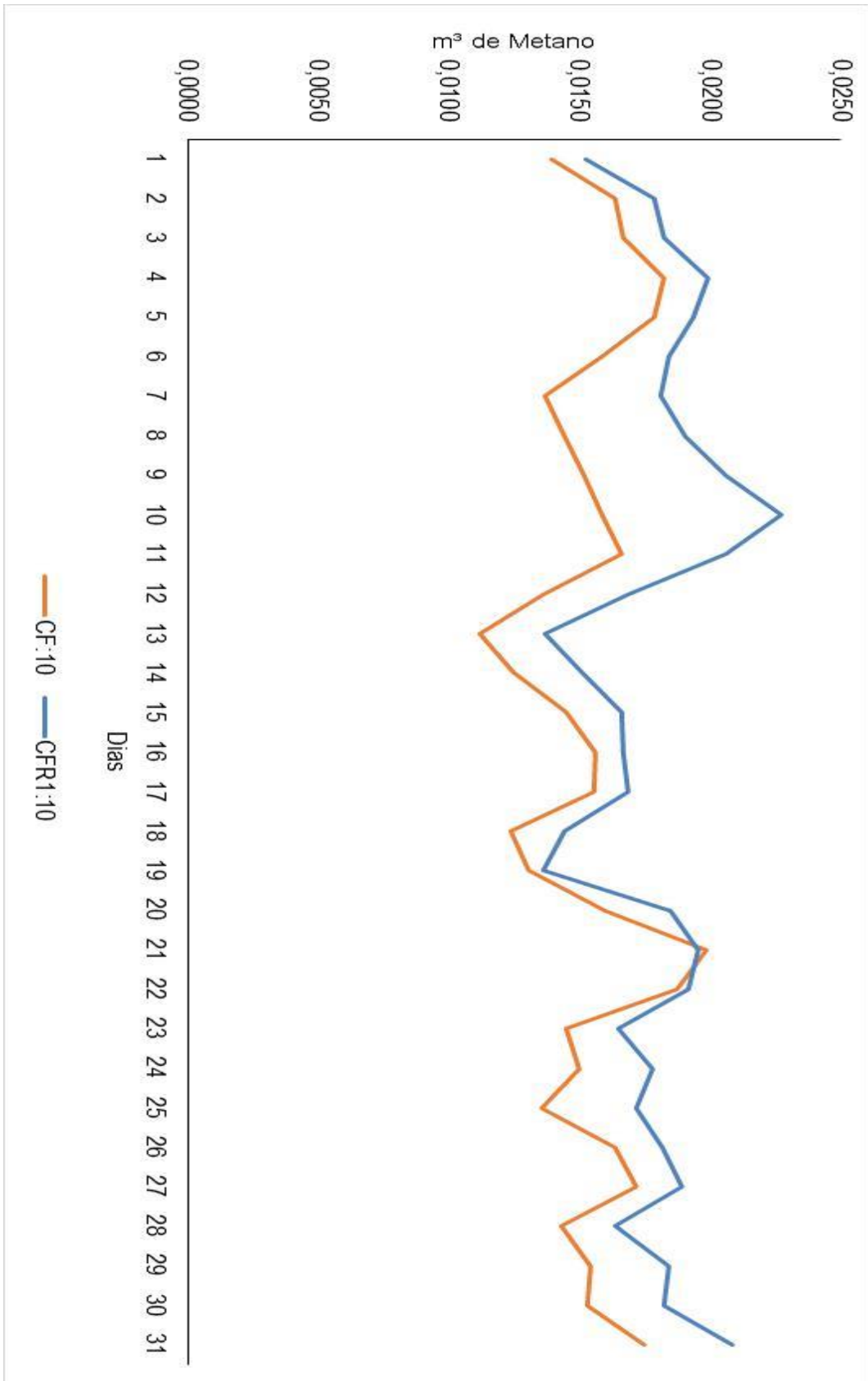




Figura 6 Produção de Metano



## CONCLUSÃO

A utilização de reciclo não interferiu negativamente na produção de biogás, sendo indicado a sua utilização para a diluição da cama de frango, muito embora os valores de potenciais de produção em m<sup>3</sup> por kg de ST e SV adicionados tenham sido menores. Esta prática de reciclo pode ser recomendada, principalmente pela economia de água limpa, por apresentar maior produção de biogás e maior concentração de metano no biogás.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standart methods for the examination of water andwastewater.**20th ed. Washington, DC, 2005.

AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango com ou sem separação das frações sólida e líquida.** 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

BALDIN, Vitor. **Geração de energia na avicultura de corte a partir da cama de aviário.** 2013. 136 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2013.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás.** 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

COSTA, L. V. C. **Produção de biogás utilizando cama de frango diluída em água e em biofertilizante de dejetos de suínos.** 2012. 75 f. Tese (Doutorado em Energia na agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.

MASSÉ, D.; GILBERT, Y.; SAVOIE, P.; BELANGER, G.; PARENT,G.; BABINEAU, D.. Methane yield from swithgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. **Bioresource Technology**,Oxford, v.101, n. 24, p. 9536-9541, Dec. 2010.

NEITZKE, G. **Geração Elétrica Distribuída a Partir da Gaseificação de Peletes de Cama de Aviário.** 2010, Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Brasília, Brasil 2010.

NOGUEIRA, R. G. S.; e LUCAS JR., J. INCLUSÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR TRITURADA EM BIODIGESTORES ABASTECIDOS COM DEJETOS DE BOVINOS DE CORTE CONFINADO. **Energ. Agric.**, Botucatu, vol. 29, n.1, p.39-47, janeiro-março, 2014.

ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de; ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.639-647, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162007000400006>.

ORRICO JÚNIOR, Marco A. P.; ORRICO, Ana C. A.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS DA PRODUÇÃO AVÍCOLA: CAMA DE FRANGOS E CARCAÇAS. **Eng. Agric.**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p.546-554, maio 2010.

SANTOS, Tânia M. B.; LUCAS JÚNIOR, Jorge de; SILVA, Fábio M. da. Avaliação do desempenho de um aquecedor para aves adaptado para utilizar biogás como combustível. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 27, n. 3, p.658-664, dez. 2007. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162007000400008>.

SANTI, Lorenzo. **Influência da adição de enzimas e microrganismos sobre a digestão anaeróbia de dejetos bovinos e suínos**.2013. 57 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.

SAS INSTITUTE. SAS version 9.1. Cary: SAS Institute, 2003.

SEADI, Teodorita Al. **HANDBOOK BIOGAS**. Esbjerg: University Of Southern Denmark Esbjerg, 2008. 125 p.

SILVA, Fabio M. da et al. Desempenho de um aquecedor de água a biogás. **Engenharia Agrícola**, [s.l.], v. 25, n. 3, p.608-614, dez. 2005. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162005000300005>.

SILVEIRA, M. A. et al., Produção de biogás em biodigestores de tamanho reduzido abastecido com cama de frango. **Acta tecnológica**, Maranhão, v. 9, n. 2 p.9-5, 2014.

TESSARO, A. B. et al., Potencial energético da cama de aviário produzida na região sudoeste do Paraná e utilizada como substrato para a produção de biogás. **Agronegócio e Meio Ambiente**, Maringá, v. 8, n. 2 p.357-377, maio/ago, 2015.

WANG, Z.; KESHWANI, D. R. Biomass resources. In: CHENG, J. (Ed.). **Biomass to renewable energy processes**.

ZANATO, Joseli Alves Ferreira. **Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies animais**. 2014. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2014.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de reciclo demonstra não interfere na produção de biogás podendo ser uma alternativa para os avicultores, com a diluição da cama de frango reduzindo o consumo de água.

Os dois sistemas de biodigestão tanto batelada quanto o semi-contínuo, demonstraram boas produções de biogás e a separação de sólidos demonstra que não ocorre entupimento dos biodigestores semi-contínuos e facilita o abastecimento a saída do biofertilizante.

A bomba trituradora demonstra ser uma opção para a mistura da cama de frango, demonstrado uma boa homogeneização.

Com a realização deste trabalho pode-se ressaltar a importância da cama de frango como alternativa para a produção de biogás e um melhor aproveitamento deste resíduo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUELENIEN, F. et al. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. **Bioresour. Technol.** 101, 6368–6373, 2010.

AIRES, A. M. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango com ou sem separação das frações sólida e líquida.** 2009. 134 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

AMORIM, A. C. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos.** 2005. 129 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2005.

AVISITE. **Produção: Se o consume tende a cair, quantos pintos de corte produzir?** Campinas set. 2012. Disponível em <<http://www.avisite.com.br/index.php?page=estatisticaseprecos&acao=producaopintos>>. Acesso em 15 Jan. 2017.

BABAE et al. Anaerobic slurry co-digestion of poultry manure and straw: effect of organic loading and temperature. **Journal of Environmental Health Sciences & Engineering.** p. 11-15, 2013.

BUJOCZEK, G. High solid anaerobic digestion of chicken manure. **J. Agric. Eng. Res.** 76, 51–60, 2000.

BRUNI, E., Ward, A.J., Køcks, M., Feilberg, A., Adamsen, A.P.S., Jensen, A.P., Poulsen, A.K., 2013. Comprehensive monitoring of a biogas process during pulse loads with ammonia. *Biomass Bioenergy* 56, 211–220.

CHEN, Y., CHENG, J.J., CREAMER, K.S., 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresour. Technol.* 99, 4044–4064.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios – princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais, 1997, 246 p.

COSTA, L. V. C. **Biodigestão anaeróbia da cama de frango associada ou não ao biofertilizante obtido com dejetos de suínos: produção de biogás e qualidade do biofertilizante**. 2009. 89 f. Dissertação (Mestrado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

DALÓLIO, F. S. et al. **CARACTERIZAÇÃO BIOCLIMÁTICA DE UM GALPÃO EXPERIMENTAL DE CRIAÇÃO DE FRANGOS DE CORTE NA REGIÃO DE DIAMANTINA-MG**. *Engenharia na agricultura*, Viçosa - MG, v.24 N.1, p.22-31, Jan. / Fev. 2016

DENG, Liangwei et al. Separation of swine slurry into different concentration fractions and its influence on biogas fermentation. *Applied Energy*, [s.l.], v. 114, p.504-511, fev. 2014. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.018>.

FOTIDIS, I.A. et al. Effect of ammonium and acetate on methanogenic pathway and methanogenic community composition. *FEMS Microbiol. Ecol.* 83, 38–48, 2013.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. 2008. 96 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2008.

HUANG, J. J. H, and SHIH, J. C. H. The potential of biological methane generation from chicken manure. *Biotech. and Bioeng.* 23(10): 2307-2314, 1981

INNOCENTINI, Rafael da Costa Pereira. **ANÁLISE DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE FRANGOS DE CORTE NOS SISTEMAS INTEGRADO E INDEPENDENTE - COMUNICAÇÃO**. *Veterinária Notícias*, Uberlândia, v. 2, n. 15, p.9-18, Jul./dez. 2009.

JUNQUEIRA, J. B. et al. Diluição e separação das frações sólida e líquida de dejetos de bovinos de corte para abastecimento de biodigestores anaeróbios. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS – SIGERA, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais eletrônicos...** Foz do Iguaçu: SBERA, 2011. Disponível em: <<http://www.sbera.org.br/2sigera/obras/t063.pdf>>. Acesso em: 20 jan. 2013.

LIMA, H. Q. **Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos**. 2011. 148 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos)-Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MASSOTTI, Z. **Viabilidade técnica e econômica do biogás a nível de propriedade**. Epagri, Concórdia, 2010. Disponível em: <[http://ambienteduran.eng.br/system/files/publicador/PUBLICACOES/BIOGAS\\_Massotti.pdf](http://ambienteduran.eng.br/system/files/publicador/PUBLICACOES/BIOGAS_Massotti.pdf)>. Acesso em: 11 fev. 2017.

NIE, Hong et al. Mono-fermentation of chicken manure: Ammonia inhibition and recirculation of the digestate. **Bioresour. Technology**, Amsterdam, v. 178, p.238-246, set. 2015.

ORRICO JUNIOR, M. A. P. **Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos**. 2007. 93 p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2007.

PEW ENVIRONMENT GROUP, 2011. Big Chicken: Pollution and Industrial Poultry Production in America. Pew Environment Group. Disponível em: <<http://www.PewEnvironment.org>>. Acesso em: 15 fev. 2017.

QUADROS, D. G. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 326-332, 2010.

SEADI, T. et al. **HANDBOOK BIOGAS**. Esbjerg: University Of Southern Denmark Esbjerg, 2008. 125 p.

STEIL, L.; LUCAS JUNIOR, J.; OLIVEIRA, R. A. **Avaliação do uso de inóculo na digestão anaeróbia de resíduos de aves de postura, frangos de corte e suínos**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 22, n. 2, p. 146-159, maio, 2002.

SILVA, Felipe Pinheiro et al. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS NA OPERAÇÃO DE BIODIGESTORES PARA SUINOCULTURA. **Revista Tecnológica**, Maringá, v. 23, n. 1, p.33-41, dez. 2014. Disponível em: <<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/RevTecnol/article/view/25893>>. Acesso em: 08 fev. 2017.

SILVEIRA, M. A. et al. Produção de biogás em biodigestores de tamanho reduzido abastecido com cama de frango. **Acta tecnológica**, Maranhão, v. 9, n. 2 p.9-5, 2014.

WANG, X. et al., Optimizing feeding composition and carbon-nitrogen ratios for improved methane yield during anaerobic codigestion of dairy, chicken manure and wheat straw. **Bioresour. Technology**, v. 120, p. 78–83, 2012.

ZANATO, Joseli Alves Ferreira. **Produção e qualidade do biogás gerado com os dejetos de diferentes espécies animais.** 2014. 112 f. Tese (Doutorado) - Curso de Zootecnia, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Jaboticabal, 2014.