



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS  
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS  
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

**JOÃO CARLOS SARRI JUNIOR**

**UTILIZAÇÃO DA CAMA DE FRANGO DE AVIÁRIOS PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS**

**PALMAS – TO**

**2020**

**JOÃO CARLOS SARRI JUNIOR**

**UTILIZAÇÃO DA CAMA DE FRANGO DE AVIÁRIOS PARA GERAÇÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação apresentado à Universidade Federal do Tocantins como parte dos requisitos para obtenção do Título Mestre em Agroenergia.

Orientador: Dr. Joel Carlos Zukowski Junior.

PALMAS – TO

2020

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins**

---

- S247u Sarri Junior, João Carlos Sarri Junior.  
UTILIZAÇÃO DA CAMA DE FRANGO DE AVIÁRIOS PARA  
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS". / João Carlos  
Sarri Junior Sarri Junior. – Palmas, TO, 2020.  
66 f.  
Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins  
– Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em  
Agroenergia, 2020.  
Orientador: Joel Carlos Zukowski Junior Zukowski Junior  
1. Biofertilizante. 2. Geração de biogas. 3. Energia Elétrica. 4. Resíduos  
Sólidos da Cama de Frango . I. Título

**CDD 333.7**

---

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer  
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.  
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184  
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os  
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

JOÃO CARLOS SARRI JUNIOR

UTILIZAÇÃO DA CAMA DE FRANGO DE AVIÁRIOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA  
ELÉTRICA ATRAVÉS DO BIOGÁS

Dissertação apresentada à Universidade Federal  
do Tocantins como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em Agroenergia.  
Área de Concentração de Aspectos  
Socioeconômicos de Sistemas de Agroenergia.  
Orientadora: Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski  
Junior

Data de Aprovação: 26 de agosto de 2020

Banca Examinadora:



---

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior.  
Orientador e Presidente da Banca. PPGA/UFT



---

Prof.ª Dr.ª Yolanda Vieira de Abreu.  
Examinadora Interna PPGA/UFT



---

Prof. Dr. Marcelo Mendes Pedroza.  
Examinador Externo IFTO

PALMAS – TO  
2020

Dedico esse trabalho a:

A minha esposa Daniela Abram Sarri,  
fonte incentivadora para este trabalho.

E a toda minha família e amigos que  
sempre me apoiaram, aos quais a vida  
não teria sentido.

## **AGRADECIMENTOS**

Primeiramente a Deus, pela vida, pela minha saúde, pela família, pela proteção, pelas oportunidades e por colocar pessoas maravilhosas e incentivadoras em meu caminho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior pela paciência, orientação e incentivo no decorrer de todo o trabalho e a banca examinadora, que pode apoiar na construção do trabalho.

Meu Pai e Mãe (in memoriam) que sempre apoiaram e deram força em meus trabalhos, e a minha família que sempre acreditou e apoiou nos momentos de quase desistir, minhas filhas Maria Eduarda e Mariana que sempre quando estava nos momentos de estudos colaboravam e não deixavam faltar nada, água, café e biscoitos, e principalmente a minha esposa Daniela, que não tenho palavras para expressar tamanho incentivo e apoio, sempre me ajudou e tem colaboração emocional neste trabalho.

Aos meus amigos que entenderam as ausências do convívio social para me dedicar neste trabalho, e sempre incentivavam para a conclusão. Também não poderia esquecer dos meus irmãos que apoiaram, principalmente o João Henrique, veterinário de granja integrada da empresa Super Frango em Goiás, sempre me ajudando com testes e informações relevantes.

Não poderia esquecer da futura engenheira Mirrely que me apoiou facilitando as amostras de cama de frango para análises. Aos colegas da Agroenergia e principalmente o engenheiro Janerson, parceiro de todos os trabalhos na formação.

E a todos os meus amigos, sem citar nomes para não correr o risco de esquecer de alguém, esses amigos que de qualquer forma contribuíram para encorajar, torcendo para realização desse sonho, meu muito obrigado.

## RESUMO

A geração do biogás usando cama de frango traz aos produtores uma opção energética renovável de ótimo rendimento, custeando os gastos do aviário onde são empregados diversos equipamentos elétricos, como os climatizadores, aquecedores térmicos, alimentadores de ração, sistema de iluminação, sistema de nebulização e fornecimento de água. Diante disso, este trabalho teve como objetivo contribuir com as pesquisas já existentes, buscando verificar o melhor manejo dos lotes de cama de frango (CF) na geração de biogás, na cadeia produtiva de frango de corte de um aviário no município de Nazaré – TO. A metodologia consistiu em coletar amostras de três, quatro e cinco reutilizações de cama de frango ao longo do ano de 2019. As referidas amostras, com 50 g e 80 g de CF (cama de frango) foram associadas à 900 mL de substância líquida (água destilada e biofertilizante), a fim de verificar qual tratamento favoreceu a geração de biogás com maior eficiência no biodigestor tipo batelada. Foi analisado o histórico de consumo de energia do aviário, sendo verificado que a utilização do biogás para gerar energia é viável. Durante o experimento realizado no presente trabalho, verificou-se que as amostras de cama de frango associadas ao biofertilizante, gerou biogás com maior eficiência se comparado com o emprego da água destilada. Conclui-se que a cama de frango pode ao ser submetida ao biodigestor para uma digestão anaeróbia, possibilita a geração do biogás para ser utilizado no gerador de energia elétrica com seu combustível, podendo ter a demanda de energia elétrica suprida de forma autônoma e podendo devolver o excedente de energia gerada para abatimento futuro junto a concessionária.

**Palavras – Chaves:** Biofertilizante. Biogás. Energia Elétrica. Resíduos Sólidos de Cama de Frango.

## ABSTRACT

The generation of biogas using poultry litter brings to producers a renewable energy option with excellent yield, defraying the costs of the aviary where various electrical equipment is used, such as air conditioners, thermal heaters, feed feeders, lighting system, misting system and Water supply. Therefore, this work aimed to contribute to the existing research, seeking to verify the best management of chicken litter (CF) batches in the generation of biogas, in the broiler production chain of an aviary in the municipality of Nazaré - TO. The methodology consisted of collecting samples of three, four and five chicken bed reuses throughout 2019. These samples, with 50 g and 80 g of CF (chicken bed) were associated with 900 mL of liquid substance (water distillate and biofertilizer), in order to verify which treatment favored the generation of biogas with greater efficiency in the batch type bio-detector. The history of the energy consumption of the aviary was analyzed, and it was verified that the use of biogas to generate energy is viable. During the experiment carried out in the present work, it was found that the chicken bed samples associated with the biofertilizer, generated biogas with greater efficiency compared to the use of distilled water. It is concluded that the chicken litter can, when submitted to the biodigester for anaerobic digestion, it allows the generation of the biogas to be used in the electric energy generator with its fuel, being able to have the electricity demand supplied autonomously and being able to return the surplus of energy generated for future rebate with the concessionaire.

Keywords: Biofertilizer. Biogas. Electricity. Solid Waste from Chicken Bedding.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2 - Evolução da produção brasileira de carne de frango entre 2006 a 2017 (milhões de toneladas).....	18
Figura 3 - Produção de carne de frango por estado brasileiro em 2017. ....	19
Figura 4 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia.....	23
Figura 5 - Roteiro de degradação no processo de biodigestão anaeróbia.....	24
Figura 6 - Ciclo da produção do biogás, a partir da biodigestão anaeróbia da cama de frango. .....	28
Figura 7 - Biodigestor modelo Indiano .....	31
Figura 8 - Biodigestor Modelo Chinês .....	32
Figura 9 - Biodigestor tipo Batelada .....	34
Figura 10 - Diagrama esquemático dos processos de conversão da biomassa.....	38
Figura 11 - Motor Gerador à Biogás abrigado .....	40
Figura 12 - Sistema de distribuição com proteções.....	40
Figura 13 - Detalhe do sistema de medição e proteção .....	41
Figura 14- Panorama das fontes de energia que compõe a matriz energética brasileira.....	43
Figura 15 - Potência outorgada por fonte – em operação (MW e %)......	44
Figura 16 - Organograma de trabalho.....	45
Figura 17 - Experimento para identificar a quantidade de metros cúbicos de biogás/Kg da cama de frango.....	47
Figura 18 - Experimento para identificar a quantidade de metros cúbicos de biogás/Kg da cama de frango.....	48
Figura 18 - Apresentação dos resultados de biogás (m <sup>3</sup> /Kg) para amostras com 50g de CF ...	52
Figura 19 - Apresentação dos resultados de biogás (m <sup>3</sup> /Kg) para amostras com 80g de CF ...	53
Figura 20 - Produção acumulada de biogás durante o processo.....	56
Figura 21 - Demonstrativo de demanda do Aviário .....	58

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção do metano após biodigestão anaeróbia para fontes de biomassa de cama de frango.....	26
Tabela 2 - Alguns valores de produtividade de biogás.....	29
Tabela 3 - Características e composições típicas do biogás .....	29
Tabela 4 - Amostra com solução em água destilada. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$ de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+AD).....	49
Tabela 5 - Amostra com solução em biodigestor. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$ de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+BIO) .....	49
Tabela 6- Amostra com solução em água destilada. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$ de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+AD).....	51
Tabela 7 - Amostra com solução em biodigestor. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$ de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+BIO) .....	52
Tabela 8 - ANOVA para amostras com água destilada.....	54
Tabela 9 - Teste de Tukey para amostras com água destilada.....	54
Tabela 10 - ANOVA para amostras com biofertilizantes.....	55
Tabela 11 - Teste de Tukey para amostras com biofertilizantes .....	55
Tabela 12 - Quantidade de metano e dióxido de carbono na média das amostras de Biogás ( $m^3/kg$ ) .....	59

## LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ANP	Agência Nacional de Petróleo
ANEEL	Agencia Nacional de Energia Elétrica
CONAMA	Conselho Nacional de Meio ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
GEE	Gases do Efeito Estufa
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Chang
INEE	Instituto Nacional de Eficiência Energética
ONS	Operador Nacional do Sistema
SIN	Sistema Nacional Interligado
NB	Núcleo B
NC	Núcleo C
TBN	Total Base Number
TAN	Total Ácido Number
UBABEF	União Brasileira de Avicultura
USDA	United States Department of Agriculture
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
PIN	Período de Inverno
P1	Ponto de entrada
P2	Ponto de saída
FBT	Fazenda Bom Tempo

## LISTA DE SÍMBOLOS

H	a altura do nível do substrato
Di	diâmetro interno do biodigestor
Dg	diâmetro do gasômetro
Ds	diâmetro interno da parede superior
h1	altura ociosa (reservatório do biogás)
h2	altura útil do gasômetro
a	altura da caixa de entrada
e	altura de entrada do cano com o afluyente
Di	diâmetro interno do biodigestor
Ds	diâmetro interno da parede superior
Dg	diâmetro do gasômetro
H	altura do nível do substrato
h1	altura ociosa do gasômetro
h2	altura útil do gasômetro
h3	altura útil para deslocamento do gasômetro
b	altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato
c	altura do gasômetro acima da parede do biodigestor

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>17</b>
<b>3.1</b>	<b>A produção avícola brasileira.....</b>	<b>17</b>
<b>3.2</b>	<b>A cama de frango .....</b>	<b>19</b>
<b>3.3</b>	<b>A biodigestão anaeróbia .....</b>	<b>22</b>
<b>3.4</b>	<b>Produção do biogás.....</b>	<b>27</b>
<b>3.5</b>	<b>Modelos de Biodigestores .....</b>	<b>30</b>
<b>3.6</b>	<b>Manejo dos lotes para produção de cama de frango .....</b>	<b>35</b>
<b>3.7</b>	<b>Galpões de confinamento de aves.....</b>	<b>36</b>
<b>3.8</b>	<b>Biomassa e seu processo de conversão .....</b>	<b>37</b>
<b>3.9</b>	<b>Gerador de energia movido a biogás e esquemas de ligações.....</b>	<b>38</b>
<b>3.10</b>	<b>Avicultura no Tocantins.....</b>	<b>41</b>
<b>3.11</b>	<b>Matriz energética brasileira.....</b>	<b>42</b>
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E METODOS.....</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Coleta das amostras .....</b>	<b>45</b>
<b>4.2</b>	<b>Separação das amostras secas.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3</b>	<b>Separação das amostras líquidas.....</b>	<b>46</b>
<b>4.4</b>	<b>Tratamentos anaeróbicos das amostras.....</b>	<b>46</b>
<b>4.5</b>	<b>Delineamento experimental das amostras .....</b>	<b>47</b>
<b>4.6</b>	<b>Coleta dos dados .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>50</b>
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>58</b>
	<b>REFERENCIAS</b>	

## 1 INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população mundial e a alta produção de alimentos no mundo, têm sido a base para as grandes discussões nas Nações Unidas. A Organização das Nações Unidas - ONU verificou que entre 1950 e 2015, houve um aumento populacional de 2,6 para 7,3 bilhões de pessoas. A previsão é atingir é 8,5 bilhões no ano de 2030 (UNITED NATIONS, 2017).

O crescimento da população vem demandando ao longo dos anos a inserção constante de novos modelos produtivos cada vez mais eficientes. Estes são os grandes responsáveis pelos sucessos produtivos dos últimos tempos, em que a demanda da produção exige cada vez mais do uso dos solos e aplicação demasiada de produtos químicos (MELO, 2014).

Nos países em desenvolvimento, os avanços da cadeia produtiva crescem demasiadamente, agravando os problemas ambientais. Neste contexto, no início do século XXI, a utilização de práticas sustentáveis para produção de alimentos potencializou as discussões para o desenvolvimento agrícola sustentável, garantindo a alimentação das gerações futuras, aliado à manutenção dos recursos naturais (VIETES, 2010).

Conforme apontam Miele e Corrêa (2011), as atividades agropecuárias geram quantidades enormes de resíduos orgânicos, que descartados de forma incorreta na natureza pode causar sérios problemas ambientais. Contudo esses resíduos podem passar por tratamentos e serem reutilizados.

No Brasil, existe a prática de grande diversidade de atividades agropecuárias, a criação de frango é uma das que apresenta maior destaque evolutivo, tanto na produtividade quanto na de geração de resíduo orgânico. Este resíduo, normalmente conhecido como “cama de frango”, é formado basicamente por mistura de fezes, penas, restos de ração e algum tipo de substrato que serve para forrar os galpões (SILVA et al., 2017).

Uma forma de potencializar os ganhos no reaproveitamento da cama de frango é conseguir otimizar a produção integrada de dois produtos: o biogás e o biofertilizante. Um método prático e bastante utilizado para tanto, é através da diluição da cama de frango e posterior separação do material em frações sólida e líquida; em que a parte líquida é destinada à produção de biogás e a parte sólida para a produção de adubos orgânicos (AIRES, 2009; COSTA, 2012).

O aproveitamento da cama de frango através da produção de uma mistura gasosa pode ser obtido durante a biodigestão anaeróbia deste material, que tem alto valor energético. Essa mistura, popularmente conhecida como “biogás”, é composta principalmente por metano (CH<sub>4</sub>)

e representa uma importante fonte de energia térmica que pode ser utilizada no próprio estabelecimento, intensificando as práticas de manejo sustentável da produção avícola (AIRES, 2009).

Com o crescimento da cadeia avícola no Brasil, tem sido constante a busca por alternativas que visam reduzir os custos da produção sem prejudicar o desenvolvimento das aves, otimizando a produção para que se possa atingir melhores resultados econômicos. Nesse sentido, há a necessidade de se realizar estudos relacionados ao manejo adequado da cama de frango (FUKAYAMA, 2008).

Diante da procura de fontes alternativas de energia para contribuir com a preservação do meio ambiente, e o grande crescimento do agronegócio, toneladas de resíduos são gerados. Segundo Suleyman, Kaan e Emel (2014), todas as grandes sociedades desenvolvidas têm sua economia baseada em uma fonte de energia de origem fóssil que, até pouco tempo, era considerada quase inesgotável, baseada principalmente em fontes não renováveis, tendo como principal matéria-prima o petróleo.

Fasolin (2014) enfatiza que a necessidade de atender a um alto consumo energético tem mostrado que alguns dos recursos naturais são finitos e que pelo alto consumo podem se esgotar.

Nesse sentido, a busca por geração de energia limpa, oriunda de fontes renováveis que não libera substâncias poluentes ao meio ambiente durante seu processo de geração, bem como o destino adequado dos resíduos gerados, é o objetivo dos pesquisadores. No sentido de evitar a emissão de gases e redução da utilização de recursos hídricos, as pesquisas sobre sustentabilidade têm sido cada vez mais intensas (GUERRA et al., 2015).

Com objetivo de contribuir com as pesquisas já existentes, o presente trabalho é uma pesquisa experimental que utiliza os resíduos da cama de frango para ensaios laboratoriais, com biodigestor tipo batelada para utilização de tecnologias e assim obter destinação correta da cama de aviário na cadeia produtiva de frango de corte de um aviário no município de Nazaré - Tocantins, após verificar a viabilidade econômica da implantação do sistema de biogás com uso da cama de aviário.

## **2 OBJETIVO**

Avaliar a produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de cama de frango de aviário.

### **2.1 Objetivos Específicos**

- Mensurar a capacidade da cama de frango em gerar bioenergia;
- Determinar o número viável de reutilizações da cama de frango;
- Avaliar o efeito de diluição da cama de frango em estado solido em dois líquidos, água destilada e biofertilizante;
- Mensurar o consumo de energia no aviário e propor a autossuficiência energética para o aviário.

### **3 REFERENCIAL TEÓRICO**

#### **3.1 A produção avícola brasileira**

Os primeiros passos da avicultura brasileira foram dados por produtores familiares, presentes até hoje em várias regiões do País. Composta até então, principalmente, por animais rústicos, como os das linhagens “caipiras”. A produção de aves juntamente com outras atividades (como leite, ovos, carnes bovina e suína) é responsável pela geração de renda da propriedade. Essa produção era inicialmente voltada à subsistência, prevendo a comercialização apenas dos excedentes. Com o passar do tempo, a avicultura tornou-se rapidamente comercial. Nesse período, o setor já se fortalecia com iniciativas privadas originadas principalmente da região Sudeste, com destaque para a aceleração do desenvolvimento da atividade no estado de São Paulo, durante a chegada dos imigrantes japoneses em 1930 (CEPEA, 2014).

Baseado em demandas do mercado interno e externo e da adequação ambiental, investimentos na produção avícola dentro dos padrões sanitários, de qualidade e de valor comercial foram imprescindíveis. Para atender esse mercado de consumo crescente, o fator determinante foi a implantação do modelo de produção integrado, que permitiu ao setor atingir níveis de desempenho, colocando-o entre as maiores do mundo (PAULA JR., 2014).

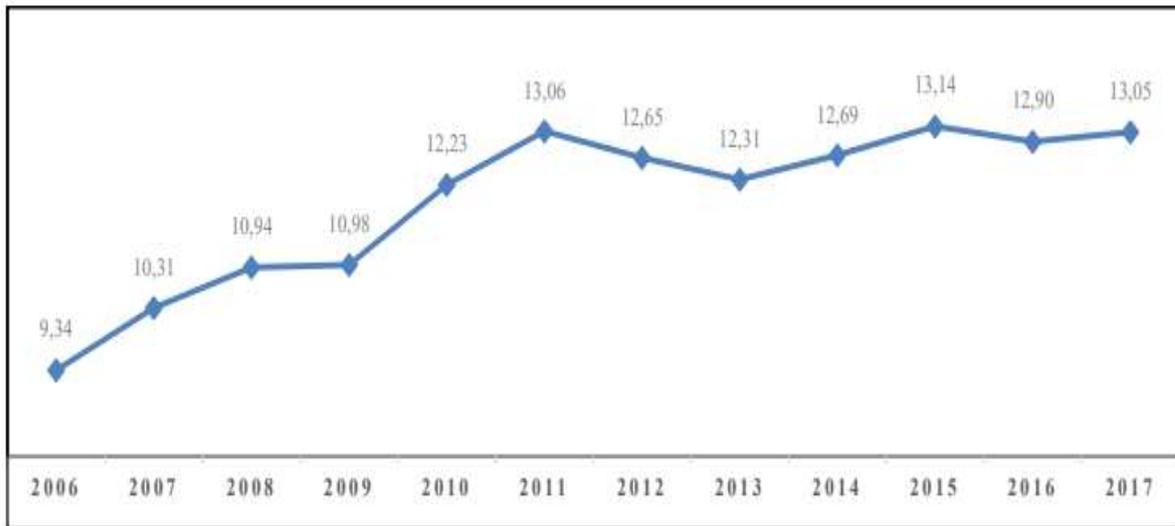
O sistema de produção integrado é uma parceria firmada através de contrato, entre o produtor (integrado) e uma agroindústria (integradora). O integrado se responsabiliza pela criação das aves e a integradora pelo fornecimento de insumos e comercialização do produto final. Quanto melhor for a qualidade de produção do integrado, maior será a remuneração que este receberá da integradora. Com a compra dos lotes de aves e a assistência técnica garantida pela integradora, o produtor pode investir em tecnologias para as etapas de criação, garantindo melhor qualidade e rentabilidade do produto final (PAULA JR., 2014).

No entanto, uma das principais consequências da expansão avícola e o consequente aumento de produção é a grande quantidade de resíduos gerados, em especial a cama de frango. Problema que se torna ainda maior quando o produtor recebe para si só a responsabilidade da destinação final destes resíduos. Sendo assim, muitas vezes por falta de suporte técnico e financeiro, o integrado não realiza o manejo adequado, deixando de reutilizar este material, e ainda, aumentando os riscos de contaminação ambiental (PAULA JR., 2014).

Desde o ano de 2004 o Brasil consolidou-se como maior exportador de carne de frango do mundo, aumentou acentuadamente a sua produção de carne de frango destinando seu produto a mais de 140 países (Figura 1). Após o ano de 2015 o Brasil vem mantendo outra importante

marca, de segundo maior produtor de carne de frango do mundo, chegando a produzir 13,14 milhões de toneladas em 2015. Destes, cerca de 2/3 da produção nacional é destinado ao consumo interno e o restante para exportações (ABPA, 2018). Dentre as regiões brasileiras, a região Sul é a que possui maior destaque na produção e exportação de carne avícola, com aproximadamente 64% de toda produção nacional, seguido por estados da região sudeste e centro-oeste (ABPA, 2017; ABPA,2018).

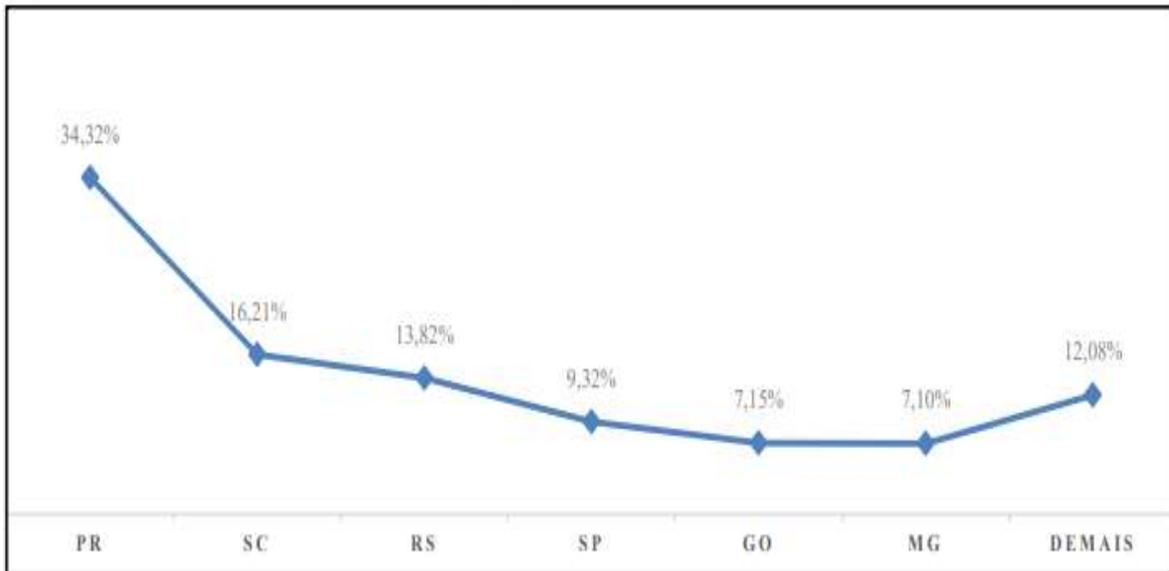
Figura 1 - Evolução da produção brasileira de carne de frango entre 2006 a 2017 (milhões de toneladas).



Fonte: ABPA (2018).

O Estado de Minas Gerais em 2017 foi responsável pelo abate de 7,1% do total nacional, com uma produção estimada de quase 1 milhão de toneladas (Figura 23). Dentre as regiões produtoras no estado, o destaque são as regiões centrais, triângulo mineiro e centro oeste, ocupando respectivamente 30, 23 e 20% do total, sendo os municípios de Pará de Minas, Uberlândia e São Sebastião do Oeste os principais produtores do estado (MINAS GERAIS, 2016).

Figura 2 - Produção de carne de frango por estado brasileiro em 2017.



Fonte: ABPA (2018)

O Brasil é o terceiro país de maior produção de frango de corte no mundo, sendo o maior exportador. Entre 1982 e 2010 a pesquisa científica foi responsável por 20,8% do progresso técnico do setor. Nos anos 70, um frango consumia 2,2 kg de ração durante 54 dias para atingir 1,8 kg no abate, atualmente, cada frango abatido no Brasil consome em média 1,8 kg de ração durante 43 dias para atingir 2,5 kg (SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA, 2016).

### 3.2 A cama de frango

Conhecida também como cama de aviário, é o resíduo produzido em maior quantidade durante o período de criação das aves. É constituída por uma mistura de restos de ração, água, penas, dejetos, descamações de pele das aves e de algum material vegetal. Como a criação de aves de corte tem um ciclo de produção de aproximadamente 42 dias, e que durante a criação estas ficam confinadas em um galpão, faz-se necessário a utilização desse material vegetal, cuja finalidade é proporcionar um ambiente seguro para a criação das mesmas, absorvendo umidade (proveniente das fezes, urina e água de bebedouros mal regulados e, ou vazamentos no sistema hidráulico), diminuindo a oscilação de temperatura dentro dos galpões, impedindo o contato direto das aves com o piso; evitando o contato com a umidade e com microrganismos que comprometam a saúde dos animais, melhorando assim seu desempenho e desenvolvimento (AVILA et al., 2008).

O material vegetal que constitui a cama de frango, geralmente é formado por raspas de madeira, maravalha, serragem, palhadas, sabugos de milho, resíduos de cana-de-açúcar, cascas de amendoim, cascas de arroz, cascas de café ou de outro tipo de material vegetal (AVILA et al., 2008).

Informações como a quantidade, composição e características da cama de frango irão variar de acordo com lotação e duração do ciclo de criação das aves. Depende, também, do tipo de material que está sendo utilizado para a formação da cama, número de lotes de produção, tempo de armazenagem, além de fatores fisiológicos, o manejo, e o ambiente em que se encontram. Estes fatores, aliados à época e localização da granja, irão influenciar na produção e composição físico-química deste material (COSTA, 2012).

A decomposição da cama de frango sem manejo adequado pode contribuir na emissão de gases, em especial o CO<sub>2</sub> e o CH<sub>4</sub>, sendo que este último, apesar de presença inferior na atmosfera, possui efeito muito maior e mais potente que o CO<sub>2</sub>, portanto, é de extrema importância controlá-lo (SEADI, 2008).

Existem diversas formas para o destino final da cama de frango. No passado era utilizada na complementação alimentar de bovinos. Porém, tendo como objetivo principal evitar a ocorrência no Brasil da doença da “Vaca Louca”, desde 2001, o uso da cama de frango, bem como qualquer outro produto de origem animal na alimentação de bovinos é proibido, tanto pelos aspectos sanitários da cama de frango, que geram dúvidas sobre a sua utilização na suplementação animal, seja por patologias causadas aos animais, em especial o botulismo, ou ainda, pelo potencial implícito de infecção de humanos (OLIVEIRA, 2018).

Até o ano de 2001 não havia nenhum impedimento da legislação brasileira quanto ao uso da cama de aviário na alimentação de ruminantes. A partir da Instrução Normativa N° 15, de 17 de julho de 2001, no seu 2º artigo (DOU de 18-07- 01) proibiu-se a produção, comercialização e uso da cama de aviário com esta finalidade. Com esta proibição os destinos mais viáveis para este material tem sido a produção de biogás e de fertilizantes orgânicos. No entanto, devido a maior necessidade de manejo e de maior investimento, a utilização para produção de biogás ainda não é uma prática usual na maioria dos produtores. Em grande maioria, estes acabam por comercializar ou empregar este produto como fertilizante (BRATTI, 2012).

Diferentemente dos fertilizantes químicos, por ser rico em material orgânico, o uso de fertilizantes à base de cama de frango ao longo dos anos, obviamente que aplicado em quantidades eficientes, está associado a diversas melhorias observadas nas atribuições físicas, químicas e biológicas do solo: altera a estrutura do solo tornando-o menos denso, mais poroso

e com maior capacidade de infiltração e retenção de água, aumenta a capacidade de troca catiônica (CTC), aumenta a ciclagem e consequente disponibilidade de nutrientes para as plantas, aumenta os teores de substâncias húmicas (ácidos húmicos e fúlvicos) que estão associadas à capacidade de complexar elementos tóxicos e micronutrientes, possibilitando a disponibilidade gradativa destes micronutrientes, além de possuir a capacidade de degradação de xenobióticos (CORRÊA, MIELE, 2011; PICCOLO, 2011).

Por esses e outros fatores, aliados a necessidade de redução de custos e a demanda crescente do mercado por produtos sustentáveis, a utilização da adubação orgânica vem sendo largamente empregada na agricultura, representando uma das alternativas mais utilizadas na adubação do solo e nutrição de plantas em substituição ao uso de adubos químicos (MONDARDO et al., 2011).

A cama de frango é diluída em água, com posterior separação das frações sólida e líquida, sendo a parte líquida destinada aos biodigestores e a parte sólida é direcionada, normalmente, à compostagem. A grande vantagem desse método está associada à fração líquida, uma vez que possibilita maior produção de biogás por quantidade de material inserido no biodigestor, apresenta menor tempo de retenção, além de ser mais econômico, tendo em vista que será necessário menor reator para a mesma quantidade de animais. Como característica marcante em relação ao material inicial, a fração líquida destaca-se pela maior quantidade de nutrientes solúveis, menor quantidade e, ou quase ausência de materiais grosseiros, possui maior fluidez, apresenta degradação mais rápida e consequentemente melhor rendimento no biodigestor (CHAUMP et al. 2019). Quando se trata de geração de biogás, a quantificação de sólidos totais e voláteis é primordial. Uma vez que, a quantidade de sólidos totais está relacionada à eficiência do sistema como um todo, teores muito elevados implicam em maior tempo de retenção do material, e teores muito baixos implicam em consumo excessivo de água, menor produção de biogás por quantidade total de material e consequentemente maior custo. Quanto aos sólidos voláteis, apesar de não corresponder somente à parte orgânica do material, a determinação deste permite realizar uma importante estimativa sobre a quantidade de matéria orgânica disponível e consequentemente a quantidade de material com potencial para ser convertido em biogás (OLIVEIRA, 2012; COSTA, 2012; AIRES, 2009; IPCC, 2006).

### 3.3 A biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é um processo biológico natural em ambientes livres de oxigênio, onde a matéria orgânica passa por um processo de degradação, gerando produtos mais simples, como o gás metano e o dióxido de carbono (COSTA, 2012; FORESTI et al., 1999; CHEN et al., 2008).

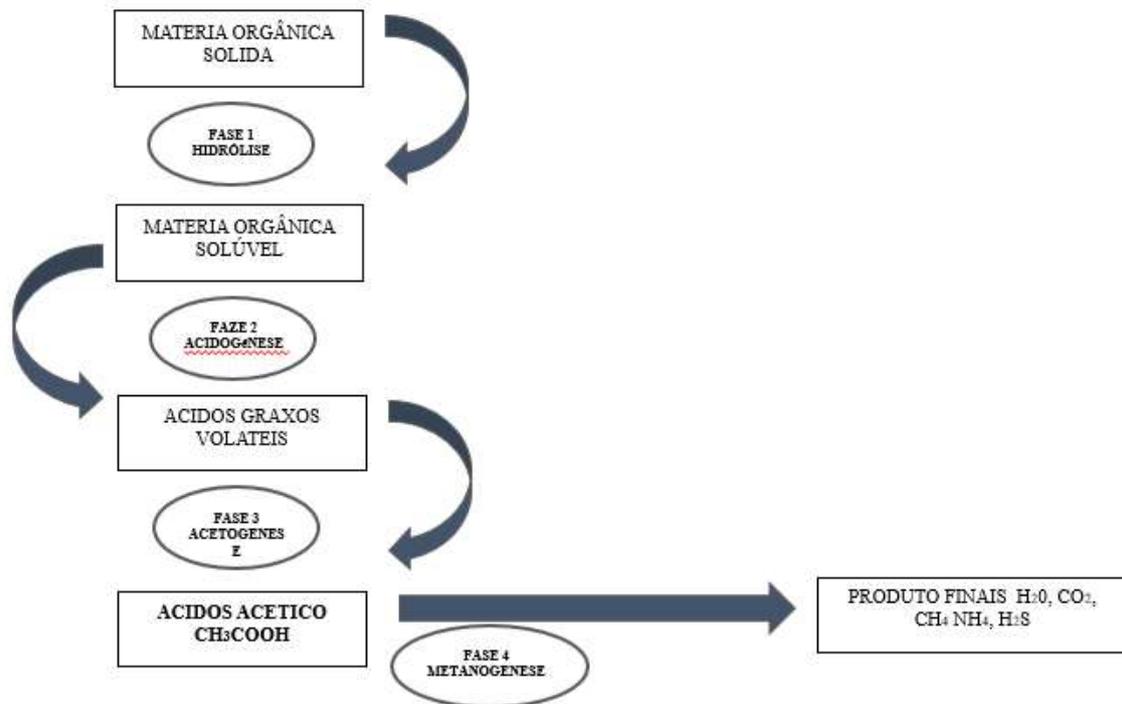
O gás gerado nesse processo é chamado de biogás, ele é composto por um teor de 60 a 70% de metano (CH<sub>4</sub>), de 30 a 40% de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases com concentrações muito baixas, como O<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, dentre outros. O biogás possui um poder calorífico que varia entre 4800 a 6900 kcal/m<sup>3</sup>, enquanto após purificado o metano chega 9100 kcal/m<sup>3</sup>, com inflamabilidade em misturas de 5 a 15% com o ar (PALHARES, 2005).

A equação 1 abaixo demonstra resumidamente o processo de decomposição durante a biodigestão anaeróbia, utilizada por Kelleher (2002), para o tratamento de resíduos agropecuários.



Conforme Kothari (2014), o processo de biodigestão anaeróbica é dividido em quatro etapas metabólicas: a primeira etapa ou hidrólise, ocorre a ação de enzimas extracelulares, as exoenzimas, liberadas por bactérias fermentativas hidrolíticas, que causam a degradação dos compostos orgânicos complexos em compostos mais simples; a segunda etapa ou acidogênese é a ação de bactérias acidogênicas que convertem os compostos gerados na etapa anterior em H<sub>2</sub>, CO<sub>2</sub>, sais e alcoóis; a terceira etapa ou acetogênese é onde as bactérias acetogênicas metabolizam os alcoóis e ácidos voláteis da etapa anterior convertendo-os, principalmente, em metanol e acetato; por fim, a quarta etapa ou metanogênese, corresponde à etapa em que a ação de bactérias acetotróficas e hidrogenotróficas reduz o ácido acético e o CO<sub>2</sub> gerando o CH<sub>4</sub>, conforme Figura 4.

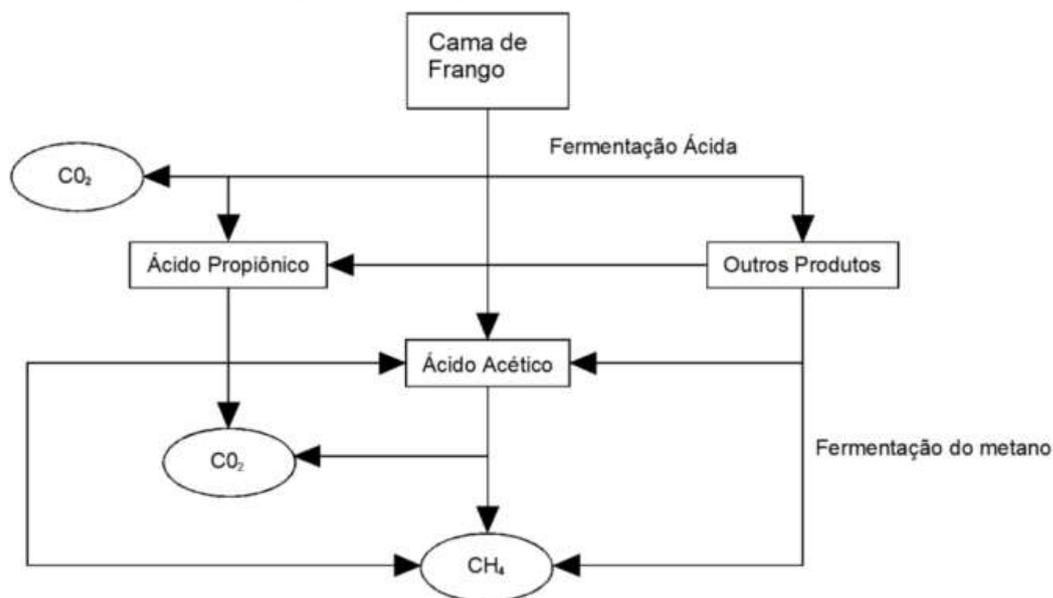
Figura 3 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia



Fonte: Caron et al.(2009); Kothari et al.( 2014), adaptado pelo autor.

Mas, Kelleher et al. (2002) defendeu que o processo de biodigestão anaeróbia da cama de frango pode ser subdividido em dois estágios, estando o primeiro relacionado a hidrólise e a conversão de componentes complexos, incluindo gorduras, proteínas e polissacarídeos, em compostos orgânicos simples, principalmente ácidos orgânicos e alcoóis. E a segunda etapa, relacionada à ação exclusiva de bactérias estritamente anaeróbias, que convertem os produtos obtidos anteriormente em gases, principalmente o CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> (Figura 5).

Figura 4 - Roteiro de degradação no processo de biodigestão anaeróbia.



Fonte: Kelleher et al., (2002)

Para que ocorra o processo de biodigestão anaeróbia e a conseqüente produção do biogás é necessário que o material seja decomposto em câmaras projetadas para inibir a presença de oxigênio livre e que possua dispositivos que possibilite a coleta do gás gerado, equipamentos conhecidos como biodigestores anaeróbicos. Existem diversos modelos de biodigestores, cada qual com características singulares de operação e com indicações que dependem principalmente do tipo de biomassa a ser decomposta.

Nos biodigestores contínuos, o processo de abastecimento e de desabastecimento ocorre simultaneamente, sem necessidade de interromper o processo de produção do biogás. Este modelo é muito indicado para propriedades com produção contínua de biomassa, por exemplo em criação de bovinos, granjas de suínos, esgotos domésticos e outros. Já nos biodigestores do tipo batelada a biomassa é inserida uma única vez por ciclo, sendo este vedado e somente reaberto após conclusão do processo de tratamento do material. Sendo, portanto, indicados para locais com geração de biomassa em tempos mais esparsos, por exemplo, na decomposição da cama de frango (DEGANUTTI et al., 2019).

Outra classificação relevante ao processo de biodigestão anaeróbica está relacionado ao teor de sólidos totais (ST) da biomassa utilizada, podendo ser úmida ( $ST < 10\%$ ), semissólida ( $10\% < ST < 20\%$ ) ou sólida ( $ST > 20\%$ ), sendo que a escolha do perfil utilizado dependerá basicamente de fatores como a quantidade de água disponível, dimensões do biodigestor e a relação com a quantidade e o tipo de biomassa a ser tratada, bem como a relação de custos de implantação e de manutenção (ZAHAN e OTHMAN, 2019; KOTHARI, et al., 2014). Outros

autores, como Li et al. (2011), entendem que processo anaeróbio em fase sólida já pode ser considerado quando o teor de sólidos totais for superior a 15%.

O processo de biodigestão e a geração de biogás é dependente de diversos fatores como a qualidade do resíduo, o tempo de retenção hidráulica e a temperatura. Quanto à temperatura, esta é de suma importância, uma vez que interfere principalmente sobre a velocidade do metabolismo bacteriano, sendo essencial evitar alterações bruscas durante o processo, com uma faixa ideal entre 20 a 40°C. Quanto ao tempo de retenção hidráulica, corresponde ao tempo total que o material permanecerá dentro do biodigestor, dependendo principalmente do tipo e teor de sólidos totais da biomassa (AUGUSTO, 2011).

A cama de frango é um material rico em nutrientes e de grande potencial na geração de biogás. Os componentes orgânicos da cama de frango são classificados em três grandes grupos biológicos: os carboidratos, que representam a maior parte do material biodegradável, incluindo a celulose, o amido e açúcares; as proteínas, que são compostos mais complexos, representada principalmente por grupos de milhões de aminoácidos; e os lipídeos ou gorduras, que são os materiais ricos em ácidos graxos (KELLEHER et al., 2002).

Contudo, uma característica peculiar desse material está relacionada à grande presença de material lignocelulósico, em especial a lignina, que apresenta como característica marcante a degradabilidade lenta em processos anaeróbios, além de possuir a capacidade de associar e proteger a celulose e a hemicelulose, deixando-as mais recalcitrantes, conseqüentemente menos suscetíveis ao processo de hidrólise (CHAUMP et al., 2019)

Outra característica, segundo estudos apontados por Chaump (2019) esse resíduo tem variabilidade, dependendo principalmente do tipo de ração oferecida aos animais, época do ano, localização da granja, tipo de substrato empregado, quantidade de ciclos e densidade populacional que foi utilizada. Esses fatores refletem sobre a composição química do material, demandando maiores conhecimentos técnicos para otimizar o processo de biodigestão e a geração do biogás. Possui ainda sérios problemas quanto à presença de resquícios de vacinas e antibióticos utilizados durante a criação dos animais; estes inibem o crescimento microbiano chegando a inviabilizar o processo anaeróbio (CHAUMP et al., 2019; FUKAYAMA, 2008).

O principal objetivo econômico e ambiental de se utilizar o método de biodigestão anaeróbia para o tratamento da cama de frango é a produção do biogás, de acordo com a literatura, a utilização do biogás não proporciona somente benefícios econômicos devido à redução com gastos de combustíveis, como também benefícios ambientais, por meio da troca de um combustível não renovável por um renovável. O metano apresenta um grande potencial causador de efeito estufa, muito mais poluente que o dióxido de carbono, o seu armazenamento

e posterior queima amenizam os impactos causados à camada de ozônio e geram créditos de carbono, que posteriormente podem ser vendidos tornando mais uma opção de fonte de renda (JEONGSIK et al., 2003).

Alguns valores foram adaptados, sendo que 1 m<sup>3</sup> de biogás foi considerado correspondente a 0,65 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> (PALHARES, 2004). A proporção média de sólidos voláteis sobre o total de sólidos de cama de frango foi fixada em 85% (CHAUMP et al., 2019; KELLEHER et al., 2002) e a densidade do CH<sub>4</sub> em 0,67 kg/m<sup>3</sup> (MITO et al., 2018; IPCC, 2006). Abaixo (Tabela 1) estão relacionados alguns dados de produção de biogás obtidos de diversas fontes de biomassa de cama de frango (PALHARES, 2004).

Tabela 1 - Produção do metano após biodigestão anaeróbia para fontes de biomassa de cama de frango.

Biomassa	Resultados obtidos (m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> / kg de SV)	Fonte
Dejetos de Frangos (Cama de Frango)	0,35 a 0,60	SEADI, 2008
Cama de frango (1 ciclo)	0,26	COSTA, 2009
Cama de frango (1 ciclo)	0,24	KONRAD et al., 2018
Cama de frango (1 ciclo)	0,14 a 0,65	AIRES, 2009
		Continuação
Biomassa	Resultados obtidos (m <sup>3</sup> de CH <sub>4</sub> / kg de SV)	Fonte
Cama de frango (1 ciclo)	0,16	DE BONA et al., 2017
Cama de frango (1 ciclo)	0,26	FUKAYAMA et al., 2009
Cama de frango (1 ciclo)	0,25	SANTOS, 2001
Cama de frango (1 ciclo)	0,20 a 0,29	PALHARES, 2004
Cama de frango (2 ciclo)	0,27 a 0,32	PALHARES, 2004
Cama de frango (3 ciclo)	0,38	COSTA, 2012
Resíduo sólido (20 a 40% de ST)	0,19 a 0,32	LI et al., 2011

Fonte: (adaptado pelo autor) Amaral, (2019).

Devido à alta variabilidade da cama de frango, bem como as condicionantes que interferem no processo de geração do biogás, não existem fórmulas precisas com a capacidade de determinar a quantidade exata de biogás a ser gerado no processo. Contudo, utilizando-se dados obtidos em trabalhos com condições e biomassa similares, bem como identificando algumas características físico-químicas do material, é possível estimar os índices de produção

deste gás em determinada propriedade, o que torna imprescindível e determinante o processo de planejamento e implantação de sistema de geração e aproveitamento do mesmo (KAZMIERCZAK et al., 2016).

O processo de biodigestão anaeróbia resulta no biogás e ainda no biofertilizante, que é um composto rico em nutrientes e em componentes bioativos. Em sua constituição estão presentes células vivas ou latentes de microrganismos de metabolismo anaeróbio e fermentação (bactérias, leveduras, fungos filamentosos), sendo encontrados também metabólitos e quelatos organominerais. As características do biofertilizante produzido, assim como as do biogás, irão depender dos fatores que influenciam o processo estando a sua qualidade em função principalmente do tipo de substrato que constitui a cama de frango. Se aplicados conforme as recomendações, esses biofertilizantes podem apresentar bons resultados, reduzindo os gastos na produção de culturas, uma vez que eles são ricos em minerais essenciais às plantas, tornando uma importante ferramenta para o manejo da fertilidade dos solos e nutrição de plantas (COSTA, 2009).

### **3.4 Produção do biogás**

A produção de biogás inicia-se a partir da biodigestão da cama de frango podendo ser utilizado quando associado à geração de energia elétrica, reduzindo o consumo do aviário, pois essa energia pode atender os equipamentos necessários para manutenção das aves, como: o aquecimento do aviário, a iluminação, aquecimento da água, ventiladores e, etc (PALHARES, 2004). A Figura 5 apresenta o ciclo de produção do biogás.

Figura 5 - Ciclo da produção do biogás, a partir da biodigestão anaeróbia da cama de frango.



Fonte: PALHARES (2004).

Sendo a cama de frango um resíduo produzido em intervalos de tempo, ou seja, a disponibilidade não é contínua devido ao modo de produção e considerando suas características físicas e químicas como alto teor de sólidos, baixa umidade e tamanho das partículas, o tipo de biodigestor ideal, pelas suas características de desenho e performance, para uma perfeita digestão anaeróbia da biomassa é o biodigestor batelada, podendo este ser manejado em forma de bateria ou sequencialmente. A desvantagem do manejo em forma de bateria está relacionada à velocidade de fermentação da cama, que é lenta, dificultando o aproveitamento do biogás. No manejo sequencial, deve-se utilizar inóculos para que este seja viabilizado (PALHARES, 2004).

Segundo Santos (2001), utilizando três tipos de cama de frango em dois lotes de produção, produziu-se no primeiro lote uma quantidade média de biogás de 0,21 m<sup>3</sup>/kg de sólidos totais. Para o segundo lote, validou 0,24 m<sup>3</sup>/kg. No entanto, Ferrarez (2009) apresentou uma produção de biogás de 0,54 m<sup>3</sup>/kg de matéria seca (cama de aviário). A disparidade de valores obtidos na pesquisa de Santos (2001) e Ferrarez (2009) com relação à produção de biogás deve-se aos diferentes métodos de análise utilizados pelos pesquisadores.

Rintala e Salminen (2002) realizaram levantamento sobre os potenciais de geração de metano a partir dos resíduos de abatedouros e da criação de aves e ressaltaram a importância do aproveitamento desses resíduos com potenciais de: 0,20 - 0,25 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de carcaça de aves; 0,10 - 0,15 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de cama de frango; 0,05 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de pena; 0,10 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de sangue, e 0,30 m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub>/kg de vísceras, pés e cabeça.

A composição global do biogás produzido durante a digestão anaeróbia varia de acordo com as condições ambientais atuantes sobre o biodigestor. Esta composição altera-se rapidamente durante o período de partida do sistema e também quando o processo de digestão é inibido. Para biodigestores operando de maneira estável, a proporção de gás carbônico em relação ao metano pode variar substancialmente, dependendo das características do composto orgânico a ser degradado (CHERNICHARO, 1997).

O volume de biogás produzido por unidade de peso de matéria orgânica é variável, e depende de diversos fatores como temperatura, alimentação, manejo, tipo de biodigestor e, fundamentalmente, tipo de material orgânico empregado.

Tabela 2 - Alguns valores de produtividade de biogás

Material	Produtividade (m <sup>3</sup> /kg)
Esterco de Bivino Leiteiro" in natura"	0,08
Camada Frango	0,11
Cama de galinha poedeira	0,35
Esterco de Suino	0,03
Esterco de Caprinos	0,05

Fonte: Adaptado de Augusto (2008), Costa (2009), Miranda (2009) Orri (2005) e Xavier (2005).

O biogás é uma mistura gasosa produzida a partir da decomposição anaeróbia de materiais orgânicos, composta primariamente de metano e dióxido de carbono, com pequenas quantidades de ácido sulfídrico e amônia (ZANETTE, 2009). Na Tabela 3 pode-se observar a composição do biogás em %.

Tabela 3 - Características e composições típicas do biogás.

Parâmetro	Gás Aterros <sup>1</sup>	Biogás - digestão anaeróbia <sup>2</sup>
Poder calorífico inferior (MJ/Nm <sup>3</sup> )	16	23
Metano (%vol)	35-65	53-70
Dióxido de Carbono (%vol)	15-50	30-47
Nitrogenio (%vol)	mai/40	-
Ácido Sulfídrico (ppm)	<100	<1000
Amônia (ppm)	5	<100

<sup>1</sup>Produzido a partir matéria orgânica de resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários.

<sup>2</sup>Produzido a partir da matéria orgânica de resíduos agropecuários em reatores anaeróbios.

Fonte: PERSSON et. al. (2006) apud ZANETTE (2009).

### 3.5 Modelos de Biodigestores

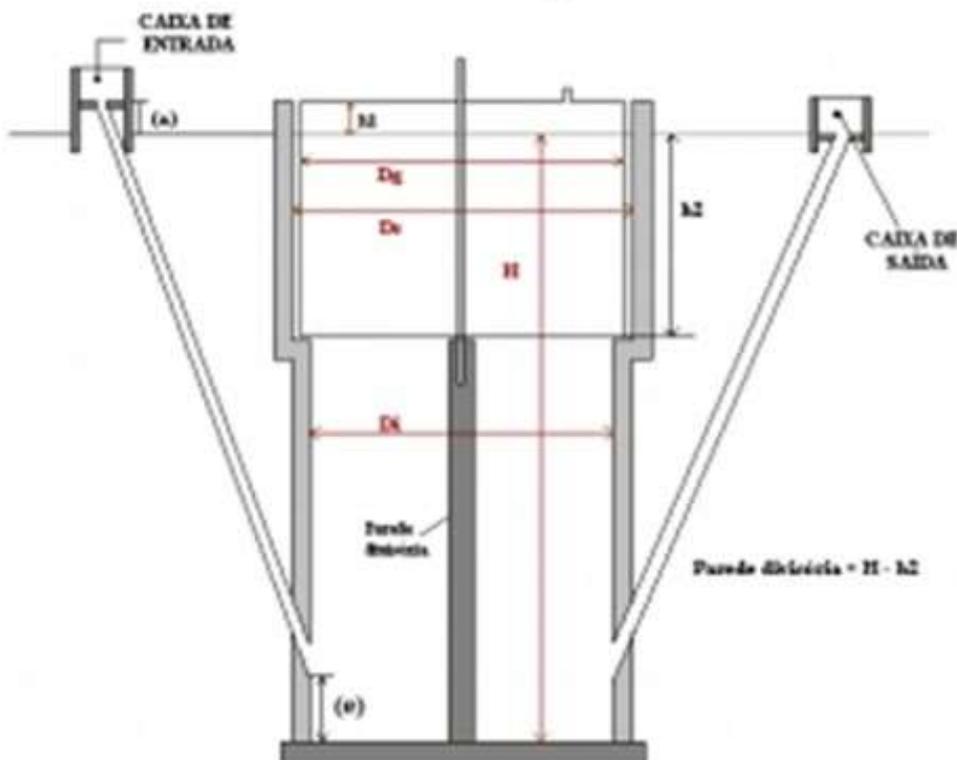
A implantação de técnicas voltadas para a minimização de impactos ambientais e à racionalização do uso da energia através de utilização de biodigestores no meio rural merece destaque, os quais se relacionam aos aspectos ambientais e energéticos. O biodigestor é uma câmara fechada onde é colocada a biomassa (cama de frango: fezes, urina e excrementos), em solução aquosa, onde sofre decomposição, gerando o biogás. Atualmente já existem mais de dois mil biodigestores implantados no Brasil, mas este número ainda é pequeno, se comparado com a grandiosidade que é a avicultura do país (APS, 2010).

O modelo indiano de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O modelo indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante (ORTOLANI, BENINCASA e LUCAS JUNIOR, 1991).

O fato de o gasômetro estar disposto ou sobre o substrato ou sobre o selo d'água reduz as perdas durante o processo de produção do gás. O resíduo a ser utilizado para alimentar o biodigestor indiano, deverá apresentar uma concentração de sólidos totais (ST) não superior a 8%, para facilitar a circulação do resíduo pelo interior da câmara de fermentação e evitar entupimentos dos canos de entrada e saída do material. O abastecimento também deverá ser contínuo, ou seja, geralmente é alimentado por dejetos bovinos e/ou suínos, que apresentam certa regularidade no fornecimento de dejetos (ORTOLANI, BENINCASA E LUCAS JUNIOR, 1991).

Apesar de ser de fácil construção o gasômetro de metal pode encarecer o custo final, assim como a distância da propriedade pode dificultar e encarecer o transporte dos resíduos inviabilizando a implantação deste modelo de biodigestor. A Figura 6 mostra representação tridimensional em corte mostrando todo o interior do biodigestor, segundo Ortolani, Benincasa e Lucas Junior (1991).

Figura 6 - Biodigestor modelo Indiano



Fonte: ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 3p.

Onde,

H - é a altura do nível do substrato;

Di - é o diâmetro interno do biodigestor;

Dg - é o diâmetro do gasômetro;

Ds - é o diâmetro interno da parede superior;

h1 - é a altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - é a altura útil do gasômetro;

a - é a altura da caixa de entrada;

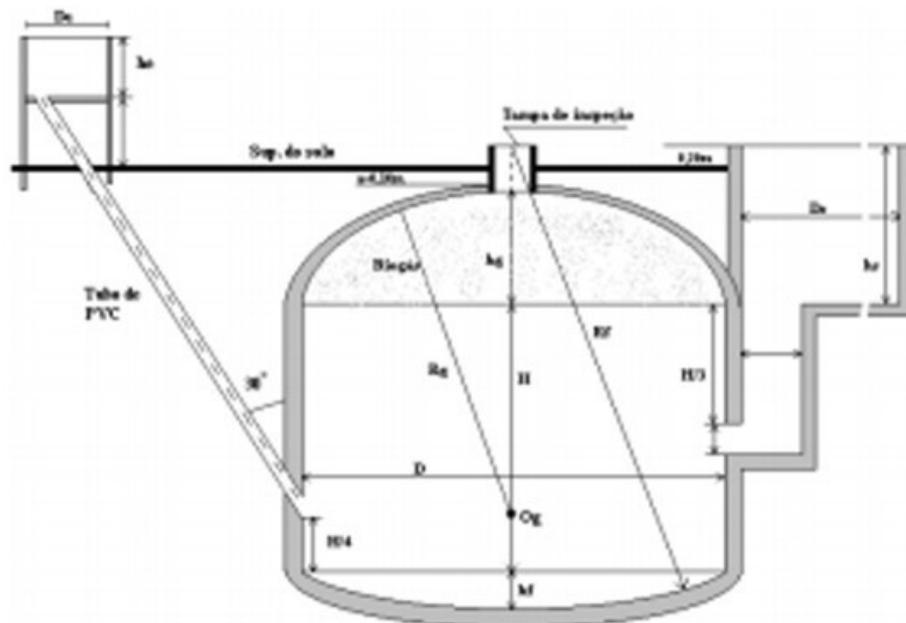
e - é a altura de entrada do cano com o afluente.

É formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria (tijolo) para a fermentação, com teto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás. Este biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica, de modo que aumentos de pressão em seu interior resultantes do acúmulo de biogás resultarão em deslocamentos do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão.

O modelo Chinês de biodigestor é constituído quase que totalmente em alvenaria, dispensando o uso de gasômetro em chapa de aço, reduzindo os custos. Contudo pode ocorrer problemas com vazamento do biogás caso a estrutura não seja bem vedada e impermeabilizada. Neste tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é libertada para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte, segundo Ortolani, Benincasa e Lucas Junior (1991).

Semelhante ao modelo indiano, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material. A Figura 8 mostra a vista frontal em corte do biodigestor, realçando os elementos fundamentais para sua construção.

Figura 7 - Biodigestor Modelo Chinês



Fonte: ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 3p.

Onde:

D - é o diâmetro do corpo cilíndrico;

H - é a altura do corpo cilíndrico;

Hg - é a altura da calota do gasômetro;

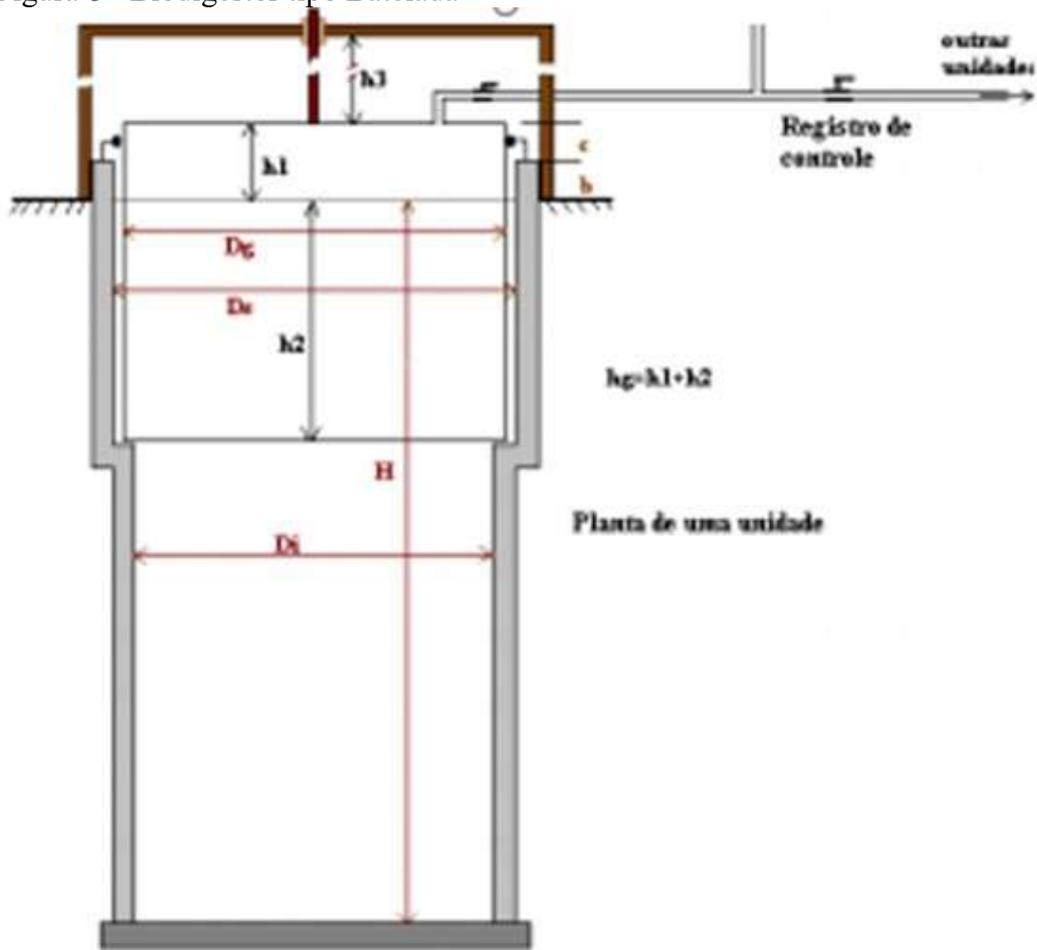
hf - é a altura da calota do fundo;

- Of - é o centro da calota esférica do fundo;  
Og - é o centro da calota esférica do gasômetro;  
he - é a altura da caixa de entrada;  
De - é o diâmetro da caixa de entrada;  
hs - é a altura da caixa de saída;  
Ds - é o diâmetro da caixa de saída;  
A - é o afundamento do gasômetro;

Biodigestor modelo batelada trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás (ORTOLANI, BENINCASA e LUCAS JUNIOR, 1991).

Enquanto, os modelos chinês e indiano prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, como exemplo aquelas que recolhem o gado duas vezes ao dia para ordenha, permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor, o modelo em batelada adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja a biomassa fica à disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão. A Figura 8, mostra a vista frontal em corte do biodigestor, realçando os elementos fundamentais para sua construção (ORTOLANI, BENINCASA e LUCAS JUNIOR, 1991).

Figura 8 - Biodigestor tipo Batelada



Fonte: ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestores rurais: modelos Indiano, Chinês e Batelada. Jaboticabal, FUNEP, 1991. 3p.

Onde:

$D_i$  é o diâmetro interno do biodigestor;

$D_s$  é o diâmetro interno da parede superior;

$D_g$  é o diâmetro do gasômetro;

$H$  é a altura do nível do substrato;

$h_1$  é a altura ociosa do gasômetro;

$h_2$  é a altura útil do gasômetro;

$h_3$  é a altura útil para deslocamento do gasômetro;

$b$  é a altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;

$c$  é a altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

### 3.6 Manejo dos lotes para produção de cama de frango

O manejo em lotes de frango de corte é a maneira como será conduzida a alimentação, a climatização e a iluminação das aves até a saída do lote. O manejo das aves de corte é definido por linhagem, sexo e clima da região e pela empresa que estará comercializando as aves, pois cada empresa utiliza um programa de manejo específico para manter seu padrão de produto (COBB, 2009).

O sistema de iluminação varia em função da idade e do peso das aves para que se garanta a melhor eficiência do lote. Para Rutz e Bermudez (2004), os programas de luz podem ser classificados em três tipos: luz constante, intermitente e crescente.

No programa de luz constante, utiliza-se a mesma iluminação em todo o ciclo de crescimento das aves. Já no programa intermitente, aplicam-se ciclos repetidos de luz e escuro dentro do período de 24 horas. No programa de luz crescente aumenta-se a luminosidade do aviário conforme o frango avança sua idade.

O programa de luz é um dos fatores que contribuem para a eficiência do lote de produção, porque quando é aplicado de forma correta, o ciclo de crescimento da ave é menor, pois se acelera o metabolismo da ave com a simulação dos dias com menos horas. Se houver um ciclo de produção menor, pode-se alojar um novo lote antes do tempo previsto e, dessa forma, a longo prazo (um ano, por exemplo), a diminuição no ciclo de alojamento poderá influenciar na produção da cama de aviário, pois o número de lotes alojados será maior que o habitual.

Outro fator que deve ser levado em conta na produção dos lotes é o clima da região, pois a dificuldade de dissipar calor das aves é maior em função do aumento do peso delas; nesses casos, o calor liberado pelas aves deve ser retirado para o exterior dos galpões (NASCIMENTO, 2011). Quando o calor não é retirado, o estresse elevado das aves poderá ocasionar o óbito das mesmas.

Os sistemas de climatização surgiram para manter parâmetros ideais de alojamento para as aves. Nesse sentido, a climatização torna-se fator estratégico para a avicultura, pois, para a produção da cama de aviário, quanto maior o calor e estresse das aves, menor deverá ser a densidade por m<sup>2</sup> e tal densidade está diretamente relacionada com a produção da cama de aviário (ALBUQUERQUE et al., 2006).

Com os equipamentos de ventilação busca-se, na estação de menor temperatura (inverno), a ventilação mínima dos aviários, ou seja, aplica-se a taxa mínima de troca de ar nos galpões para garantir os níveis mínimos de oxigênio e remoção de amônia e outros gases presentes no aviário devido à decomposição das fezes das aves. Para o verão, busca-se uma ventilação

máxima nos galpões com sistemas tipo túnel de ventilação. Com isso, amenizam-se as flutuações de temperatura e se mantém os níveis de conforto ambiental para as aves dentro de padrões aceitáveis. Em associação com a ventilação máxima, utilizam-se sistemas de resfriamento evaporativo e nebulizadores nos dias de maior temperatura. Essa ventilação máxima pode atingir a velocidades de até 2,5 m/s no aviário, removendo o calor e poluentes (NASCIMENTO et al., 2011).

Ainda, segundo Nascimento (2011), o consumo de água de um lote de frango de corte varia durante as estações do ano. No verão, em função das temperaturas serem altas, as aves consomem mais água para manterem o corpo hidratado. Sua alimentação também deve ser feita pela combinação de rações balanceadas de acordo com o seu crescimento e as aves devem ser assistidas pelos operadores dos aviários e pela equipe técnica responsável pela eficiência dos lotes. A alimentação e o fornecimento de água, quando feitos de forma correta, diminuem o ciclo de alojamento das aves. Nesse caso, a produção da cama de aviário em um determinado período aumenta em função de haver um número maior de lotes alojados e tal fator é determinante para quantificar a produção de cama de aviário.

### **3.7 Galpões de confinamento de aves**

Para a criação de aves de corte, utilizam-se algumas configurações de galpões para melhorar o desempenho das mesmas, são definidos por fatores de ordem econômica e climática da região onde está sendo implantado, então, define-se, padrão de galpões utilizado pela empresa com a qual o avicultor irá comercializar as aves (NASCIMENTO, 2011).

Nas instalações totalmente climatizadas, os controles de temperatura e iluminação interna são controlados por equipamentos eletrônicos. Nesses aviários, as cortinas laterais são fixas e a ventilação é feita por um sistema de ventilação tipo túnel. Nessas instalações também se utilizam nebulizadores e resfriadores adiabáticos para a redução da temperatura interna e para a obtenção do conforto térmico nos dias quentes (NASCIMENTO, 2011).

No que se refere à quantidade da produção de cama de frango de corte, ela varia tanto pelo tipo de sistema quanto em função da quantidade de aves por m<sup>2</sup> e a quantidade de aves por m<sup>2</sup> depende do tipo de controle de ambiência existente. Em aviários com exaustão manual, a quantidade é baixa, aproximadamente 12 aves/m<sup>2</sup> (SANTOS, 2001), enquanto que em aviários automatizados (Dark House), o número aumenta para até 40 aves/m<sup>2</sup> (NASCIMENTO, 2011).

### 3.8 Biomassa e seu processo de conversão

A biomassa é qualquer matéria orgânica que possa ser convertida em energia mecânica, térmica ou elétrica. De acordo com a sua origem, pode ser: florestal, agrícola ou rejeitos urbanos e industriais, seus derivados dependem tanto da matéria-prima utilizada quanto da tecnologia de processamento para sua obtenção (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008).

A biomassa mais utilizada em regiões menos desenvolvidas é a de origem florestal, além disso, os processos para a obtenção desta energia são determinados pela baixa eficiência ou necessidade de grande volume de matéria-prima para produção de pequenas quantidades. Uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos é a biomassa, tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Segundo o Atlas de Energia Elétrica do Brasil (2008):

No Brasil, em 2007, a biomassa, com participação de 31,1% na matriz energética, foi a segunda principal fonte de energia, superada apenas por petróleo e derivados. Ela ocupou a mesma posição entre as fontes de energia elétrica de origem interna, ao responder por 3,7% da oferta. Só foi superada pela hidreletricidade, que foi responsável pela produção de 77,4% da oferta total, segundo dados do Balanço Energético Nacional (BEN) de 2008 (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, ANEEL, 2008).

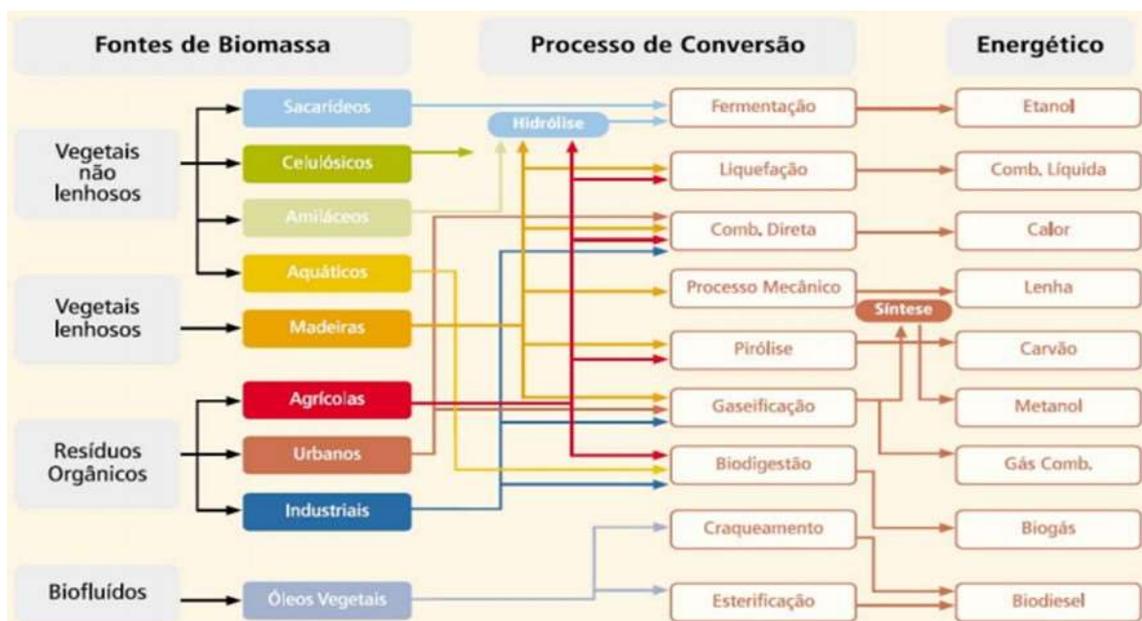
Esta fonte de energia pode ser considerada como uma forma indireta de energia solar, pois é responsável pela fotossíntese, que permite a liberação de oxigênio e a captura de dióxido de carbono, principal agente do efeito estufa, portanto, contribui para a contenção do aquecimento global (ATLAS DE ENERGIA ELÉTRICA DO BRASIL, 2008).

Já os aspectos negativos são a interferência no tipo natural do solo e a possibilidade da formação de monoculturas em grande extensão de terras, estas variáveis têm sido contornadas por técnicas e processos que aumentam a produtividade da biomassa reduzindo, portanto, a necessidade de crescimento de áreas plantadas (ANEEL, 2008).

No panorama social, a geração de empregos tem sido reconhecida como um dos principais benefícios da biomassa, embora a maior parte da mão-de-obra não seja qualificada, ela promove um ciclo virtuoso nas regiões da produção agrícola, caracterizado pelo aumento dos níveis de consumo e qualidade de vida, inclusão social, geração de novas atividades econômicas, fortalecimento da indústria local, promoção do desenvolvimento regional e redução do êxodo rural (ANEEL, 2008).

Com o objetivo de se aproveitar a energia presente em tais fontes foram desenvolvidos diversos processos de conversão, que são classificados, segundo a natureza dos processamentos primários aplicados à biomassa em: termoquímicos, bio-químicos e físico-químicos, (ANEEL, 2008), conforme demonstrado na Figura 10 abaixo.

Figura 9 - Diagrama esquemático dos processos de conversão da biomassa



Fonte: Atlas de Energia Elétrica do Brasil, ANEEL, 2008.

### 3.9 Gerador de energia movido à biogás e esquemas de ligações

Uma alternativa utilizada em motores de combustão interna que operam com biogás é o sistema de cogeração, que é definido como o processo de transformação da energia térmica em energia útil (COLDEBELLA, 2006).

De acordo com Suleyman, Kaan e Emel (2014), dos gases que compõem o biogás, o gás carbônico (35 a 45%) e o gás sulfídrico (0 a 1%) devem receber atenção especial. São considerados como principais problemas na viabilização de seu armazenamento e na produção de energia, interferindo principalmente na qualidade do biogás, acarretando problemas de corrosão no sistema de condução do biogás até sua transformação como fonte de energia elétrica ou térmica, necessitando de processos de tratamento.

Visto que a composição do biogás “*in natura*” é constituída de vapor de água, gás carbônico e gases corrosivos, sua utilização compromete a durabilidade dos motores de combustão interna, devido à degradação prematura a que o motor é submetido. A remoção ou minimização das porções de H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S e outros compostos, através de filtros e dispositivos

de resfriamento, condensação e lavagem, são imprescindíveis para a confiabilidade e emprego do biogás em motores de combustão interna (OLIVEIRA, 2004). Salienta-se que os efeitos corrosivos do biogás não serão tratados neste trabalho.

Para a aquisição de um sistema de geração de eletricidade com motor gerador à biogás, algumas informações devem constar no documento de especificação do sistema, além do projeto elétrico, que deve estar de acordo com as normas da concessionária local de energia elétrica. Os motores geradores deverão ser adequados para operar nas seguintes condições ambientais:

- Altitude: até (completar com a altitude desejável);
- Temperatura máxima anual: 55 °C;
- Temperatura mínima anual: 0 °C;
- Temperatura ambiente média em 24 h: (completar com o valor desejável) °C;
- Umidade relativa: até 95 %, sem condensação;
- Considerar o clima, quanto ao favorecimento na formação de corrosão e fungos.

Os motores geradores são equipamentos destinados a suprir com energia elétrica as instalações, utilizando como combustível o biogás. São compostos basicamente de um motor ciclo otto e um alternador síncrono-trifásico, acoplados por um sistema monobloco e um Sistema de Monitoramento, Controle e Proteção (SMCP), como mostra a Figura 10.

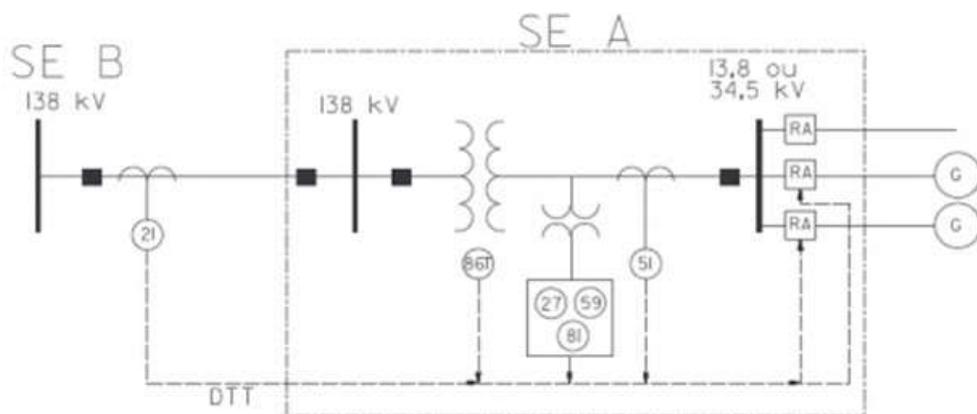
Figura 10 - Motor Gerador à Biogás abrigado



Fonte: Autor (2019)

Nos sistemas de redes de distribuição à baixa tensão (BT), as tensões primárias de entrada podem ser de 34,5 kV ou 13,8 kV com saída de 380/220/127 V e, devem contar com a proteção adequada para que os motores geradores sejam conectados à rede de energia elétrica com segurança. A Figura 11 abaixo, mostra o diagrama do sistema de distribuição com as proteções.

Figura 11 - Sistema de distribuição com proteções

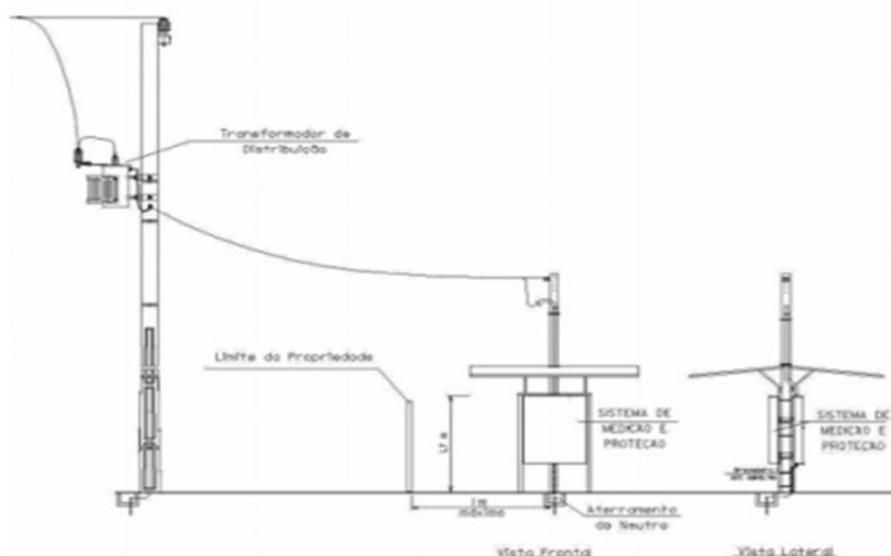


Fonte: COPEL (2018)

Aquele que pretende gerar energia elétrica deve apresentar um projeto à concessionária de energia, para devida análise e liberação da mesma. O projeto deve ser realizado por um profissional habilitado e atender às premissas exigidas pela concessionária local (ANEEL, 2009).

No projeto elétrico devem ser contemplados aspectos técnicos e de segurança de acordo com os requisitos da rede. Além disso, deve ser composto de diagrama unifilar da instalação (Figura 12) e descrição dos sistemas de medição e proteção, quadro de distribuição, aterramento e proteção do gerador, seguindo as normas da ABNT, NBR 14039:2003 e NBR 5410:2004 e normas de acesso de geração distribuída da concessionária de energia ou similar.

Figura 12 - Detalhe do sistema de medição e proteção



Fonte: COPEL (2018)

### 3.10 Avicultura no Tocantins

No Tocantins a avicultura está em franco desenvolvimento, segundo Agência de Defesa Agropecuária do Tocantins (ADAPEC, 2020). De acordo com informações da Secretaria de Desenvolvimento da Agricultura, Pecuária e Abastecimento do Tocantins (SEAGRO, 2019), o setor teve um aumento de 42,55%, em 2015: saltou de 6,8 milhões de aves, em 2014, para aproximadamente 10 milhões em 2015.

O setor de avicultura conta também com dois frigoríficos para o abate de frango. Um no município de Paraíso do Tocantins, com capacidade total de abater 43.200 aves/dia, que além de abastecer o mercado interno comercializa para o Maranhão, Goiás, Bahia e São Paulo. Além

disso, a empresa vende produtos acabados para o Tocantins, Maranhão e Pará. O outro abatedouro, que entrou em operação em 2015, está instalado no município de Aguiarnópolis - TO (ASCOM/SEAGRO, 2019).

A geração do biogás usando cama de frango traz aos produtores uma opção energética renovável de ótimo rendimento, custeando os gastos com energia elétrica externa. No processo produtivo da Fazenda Bom Tempo (FBT), são empregados diversos equipamentos elétricos, podendo citar os climatizadores, aquecedores térmicos, alimentadores de ração, sistema de iluminação, sistema de nebulização e fornecimento de água.

De acordo com informações fornecidas pelo proprietário, após a implantação dos reatores anaeróbios na Fazenda, o sistema atingiu a autossuficiência energética, sendo que a produção de energia em cada mês superou a demanda mensal da mesma. Seu uso nas propriedades caracteriza-se num grande potencial energético no que diz respeito a pequenas e médias propriedades rurais (SILVA, 2019).

### **3.11 Matriz energética brasileira (NÃO TEM MOTIVO PARA TER ESSE ITEM NESTA DISSERTAÇÃO)**

Há vários estudos desenvolvidos no Brasil que visam, principalmente, analisar o consumo de energia. Por exemplo, Silveira (2017) por meio de pesquisa bibliográfica verificou a insustentabilidade da matriz energética brasileira por ter fontes não renováveis como maior provedora de energia. Neste mesmo sentido, Bondarik, Pilatti e Horst (2018) concluíram que é necessário para o país o fortalecimento de programas de geração de energia elétrica a partir de fontes alternativas, como a biomassa. Nesta perspectiva, este estudo poderá contribuir para fazer previsões de produções de fontes renováveis e não renováveis de energia.

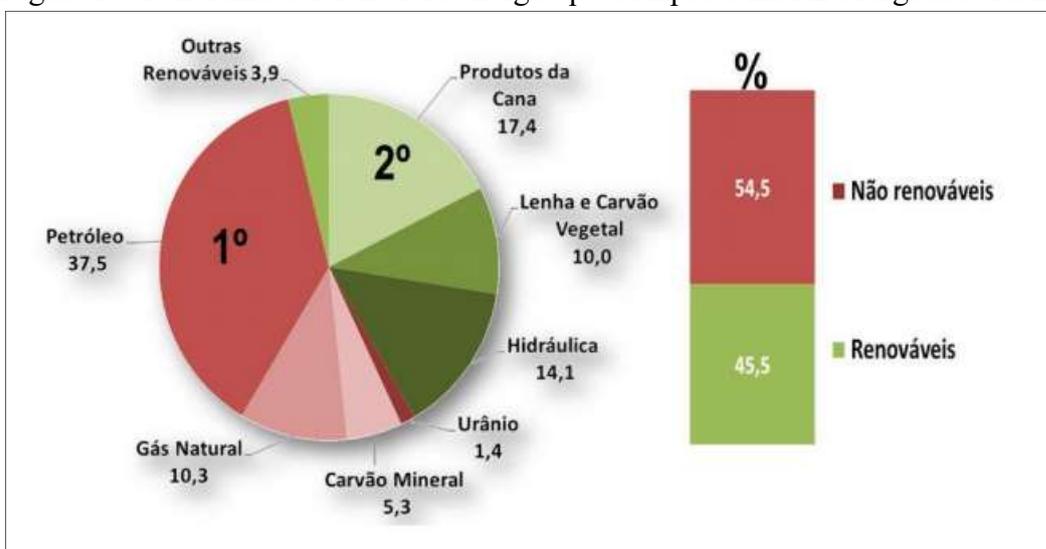
O Brasil possui um dos únicos sistemas de energia elétrica do mundo. É constituído por quatro subsistemas: Sul, Sudeste/Centro-Oeste, Nordeste e a maior parte da região Norte. A interconexão dos sistemas elétricos, por meio da malha de transmissão, propicia a transferência de energia entre subsistemas, permite a obtenção de ganhos sinérgicos e explora a diversidade entre os regimes hidrológicos das bacias. A integração dos recursos de geração e transmissão permite o atendimento ao mercado com segurança e economicidade (ONS, 2019).

De acordo com o Balanço Energético Nacional (2017), o total de energia disponibilizada no Brasil alcançou 291 Mtep (Megateps - unidade de medida de energia que equivale a x106 toneladas de petróleo), se comparado ao ano anterior, houve um aumento de 1,3%, e este

crescimento foi motivado pelo incremento nas ofertas de gás natural e energia eólica, e ainda contribuiu para a retomada da atividade econômica em 2017. Neste ano o PIB brasileiro cresceu 1% em relação ao ano anterior. Outro destaque de 2017 foi a elevação da participação de energias alternativas na matriz energética brasileira. Assim manteve o Brasil como um dos maiores produtores de energias renováveis (EPE, 2018a).

Com base nos dados da Figura 14, os tipos de energias predominantes na matriz energética brasileira são: petróleo, biomassa, hidráulica, gás natural e lenha; considerando suas vantagens e desvantagens para o meio ambiente e para a sociedade, afim de promover uma comparação entre as mesmas e verificar uma nova alternativa de energia para o país.

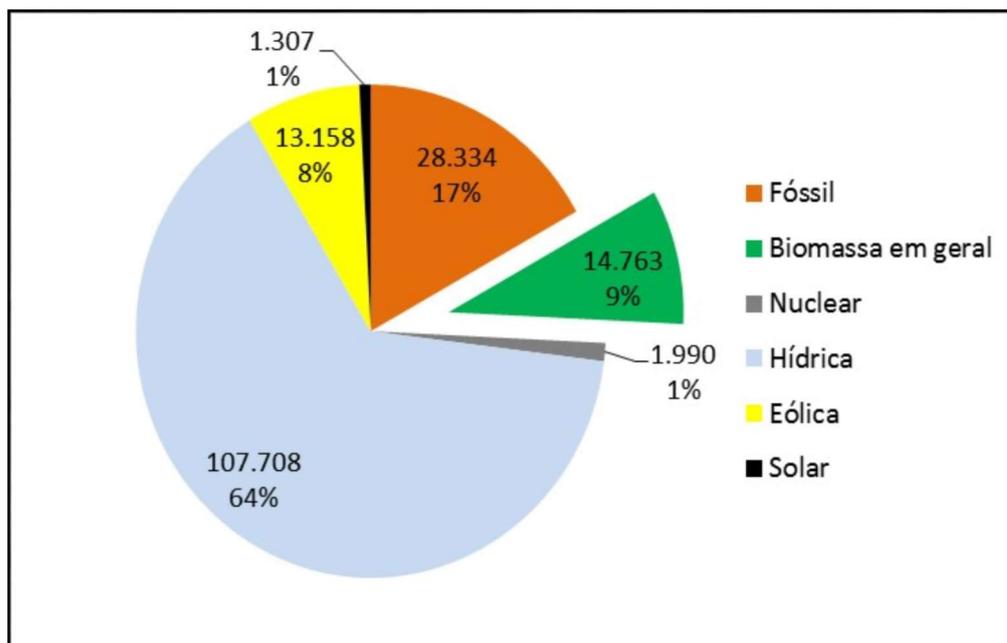
Figura 13- Panorama das fontes de energia que compõe a matriz energética brasileira



Fonte: Revista Interdisciplinar de Ensino, Pesquisa e Extensão vol. 4 n°1 (em 6/01/2020)

A produção de energia proveniente do setor agrícola no Brasil representa cerca de 32% do total de energia ofertada; isto torna o país líder mundial na produção de agroenergia. A explicação para esta liderança é decorrente de sua grande extensão territorial e por uma série de recursos naturais que tornam possíveis a produção de insumos necessários à geração de biomassa. Desta forma, o Brasil é modelo para outras nações na produção de energias alternativas aos combustíveis fósseis, como pode ser visto na potência outorgada na Figura 15 (BRASIL, 2018).

Figura 14 - Potência outorgada por fonte – em operação (MW e %)



Fonte: ANEEL (2019). Levantamento realizado em 06.11.2019.

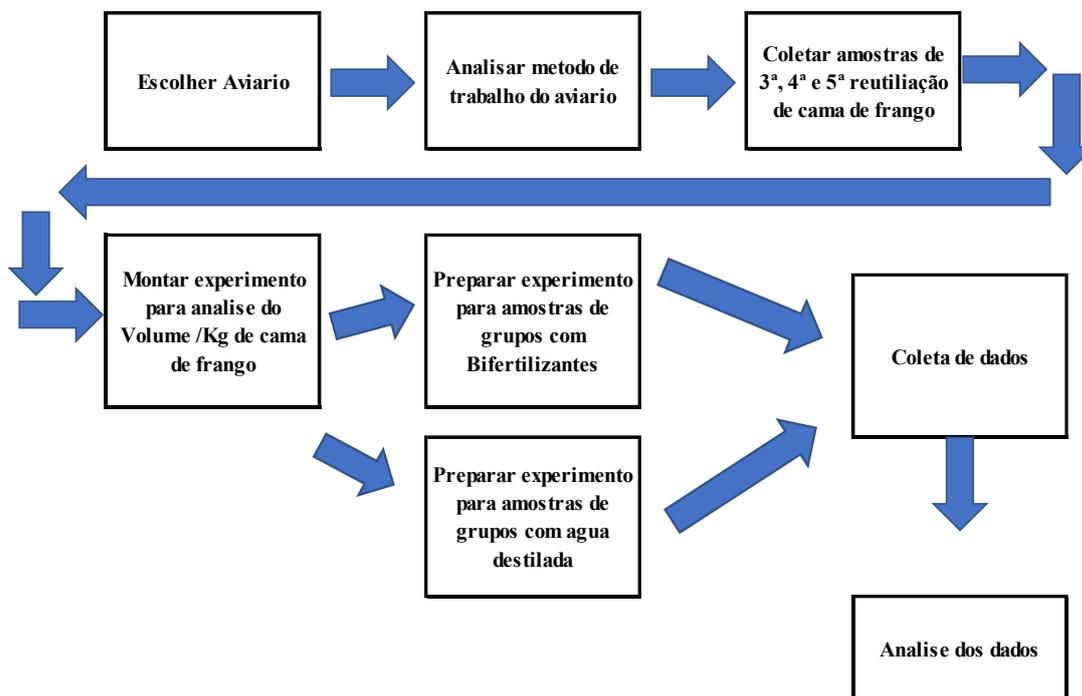
#### 4 MATERIAIS E METODOS

O experimento foi conduzido em um aviário na região norte do Estado do Tocantins, localizado no município de Nazaré - TO. A granja de produção de frango de corte está se preparando para implantar o sistema de biodigestão para posterior instalação de gerador elétrico para uso do biogás.

A geração do biogás usando cama de frango traz aos produtores uma opção energética renovável de ótimo rendimento, custeando os gastos do aviário onde são empregados diversos equipamentos elétricos, como os climatizadores, aquecedores térmicos, alimentadores de ração, sistema de iluminação, sistema de nebulização e fornecimento de água (SILVA, 2019).

Para desenvolvimento da pesquisa, foi elaborado o organograma de trabalho mostrado na Figura 16.

Figura 15 - Organograma de trabalho



Fonte: Autor (2019)

#### 4.1 Coleta das amostras

A granja utiliza casca de arroz como base para montagem da cama de frango, sendo aquela, trocada a cada ciclo. Este inclui o tempo de manutenção dos animais na granja, que é de 45 dias, acrescido de mais 15 dias de vazio sanitário e limpeza do galpão. A granja funciona com uma lotação máxima de 20.000 frangos. Segundo o Sr. José, o proprietário, são retirados seis lotes por ano. Como resultado deste manejo, tem-se a produção média de 98 ton de cama de frango por lote, sendo esta comercializada como fertilizante natural sem passar por qualquer tipo de tratamento, ação está não permitida pela legislação brasileira (Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (Mapa) publicou a Instrução Normativa nº 8).

Para esse estudo, foram coletadas, ao longo do ano de 2019, amostras de cama de frango com três, quatro e cinco reutilizações. As amostras foram coletadas do único galpão existente, nos meses de julho/19, setembro/19 e novembro/19.

## **4.2 Separação das amostras secas**

Nesta etapa foram separadas as amostras em recipientes com 5 kg de cama de frango e processadas em uma peneira de 9 mm para retirada das partículas maiores, uniformizando os resíduos para posterior inserção no processo de biodigestão. Apesar da presente pesquisa estar associada ao estudo realizado por Portela (2014), o principal objetivo é otimizar a qualidade deste material para consequente produção de biogás.

As amostras foram separadas em grupos, sendo o primeiro grupo – G1 de cama de frango com três meses de reuso, o segundo grupo – G2, com quatro meses de reuso e o terceiro grupo – G3, com cinco meses de reuso. Totalizando assim seis garrafas, com duas amostras para cada tempo de reuso da cama de frango.

## **4.3 Separação das amostras líquidas**

Para fração das amostras, foram utilizados como reagentes líquidos, água destilada e biofertilizante.

O teste realizado por Rocha (2013) foi adaptado, onde ao deslocar uma quantidade equivalente de NaOH, que corresponde ao CH<sub>4</sub> produzido (mL), pôde-se medi-lo indiretamente, por gravimetria. Assim o volume de hidróxido de sódio - NaOH é deslocado e medido com o auxílio de uma proveta graduada de 250 mL, conforme descrito na metodologia de Aquino et al. (2007). Ressalta-se que as medições do metano gerado foram realizadas no intervalo de três em três dias.

## **4.4 Tratamentos dos ensaios de biodigestão da cama de frango.**

Considerando as características que limitam a disseminação do uso do tratamento anaeróbio para a cama de frango, em especial o elevado investimento inicial com equipamentos, optou-se por realizar o experimento com um método que se assemelhe a um biodigestor do tipo batelada.

Para essa análise, foram utilizadas garrafas PET, de 2 litros cada, devidamente higienizadas, sendo duas para cada período de reutilização de cama de frango. Nas tampas das garrafas foram feitos furos de 6,5 mm de diâmetros para instalar um tubo flexível de PVC transparente de 15 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento. Esse tubo foi unido à tampa da

garrafa com cola de PVC para não haver vazamento de gás durante o processo de biodigestão (PORTELA, 2014).

Figura 16 - Experimento para identificar a quantidade de metros cúbicos de biogás/Kg da cama de frango



Fonte: Autor, 2020

#### 4.5 Delineamento experimental das amostras

Utilizando estatística inferencial para análise das variáveis, as amostras foram divididas em três grupos, com duas amostras cada, com critérios diferentes, sendo que o primeiro grupo – G1 de cama de frango com três meses de reuso, o segundo grupo – G2 com quatro meses de reuso e o terceiro grupo – G3 com cinco meses de reuso. Totalizando assim 6 garrafas com 2 amostras para cada tempo de reuso da cama de frango.

Para identificar a quantidade de metros cúbicos de biogás por quilograma de cama de frango e a possibilidade de reduzir o tempo de seu reuso na geração de bioenergia, foi adicionada água destilada junto à massa de cama de frango, de modo que em cada grupo com 2 garrafas de amostras, uma amostra recebeu 50 g de substratos mais 900 mL de água destilada, e a outra 80 g de substrato com mais 900 mL de água destilada (PORTELA, 2014)

Após inserir as massas e a água destilada, as garrafas foram fechadas e revestidas com papel alumínio para o controle de temperatura e luminosidade. Os recipientes foram identificados com auxílio de etiquetas, conforme figura 17 abaixo.

Figura 17 - Experimento para identificar a quantidade de metros cúbicos de biogás/Kg da cama de frango



Fonte: Autor, 2020

O processo descrito acima foi repetido, porém adicionando biofertilizante às amostras de cama de frango (CF+BIO), com finalidade de acelerar o processo de biodigestão e verificar se a eficiência, utilizando a mesma proporção da CF+AD.

A cada garrafa PET foi interligado um recipiente contendo 150 mL de solução alcalina de hidróxido de sódio NaOH a 15%, através de um tubo de PVC e todas as amostras foram armazenadas em uma estufa com temperatura à 35°C, e monitoradas por um período de 15 dias.

A solução NaOH a 15% tem a função de realizar a lavagem, com isso, ocorre a absorção de metano, e o CO<sub>2</sub> contido no biogás foi absorvido por meio básico e transformado em carbonato de sódio, assim como o metano é pouco solúvel em água, este ocupou o espaço livre do recipiente de medição. Para análise dos resultados foi utilizado gravimetria, segundo Rocha (2013).

#### 4.6 Coleta dos dados

A quantidade de metros cúbicos de biogás gerado por quilograma de biomassa, nas amostras propostas no trabalho, é apresentada nas Tabelas 4 e 5 abaixo.

Tabela 4 - Amostra com solução em água destilada. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$  de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+AD)

Substrato	Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)	
	3 meses de reuso		4 meses de reuso		5 meses de reuso	
	G1 a 50 g substrato + 900 mL de água destilada	G1 a 80 g substrato + 900 mL de água destilada	G2 a 50 g substrato + 900 mL de água destilada	G2 a 80 g substrato + 900 mL de água destilada	G3 a 50 g substrato + 900 mL de água destilada	G3 a 80 g substrato + 900 mL de água destilada
Casca de arroz	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Leitura - dia	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$
0	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0090	0.00100	0.02400	0.02472	0.01710	0.01818
6	0.00120	0.00190	0.000340	0.00354	0.08310	0.08689
9	0.01710	0.01810	0.019880	0.02089	0.12300	0.12927
12	0.01970	0.02020	0.02250	0.02385	0.18920	0.20434
15	0.02130	0.02250	0.02610	0.02495	0.19210	0.24958

Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 4 verificam-se os resultados para substrato (com solução de água destilada), que foram coletados a cada três dias para medir o volume de biogás gerado. As leituras foram feitas nas amostras de três, quatro e cinco meses de reutilização. Essas amostras foram elaboradas para as quantidades de 50 g e 80 g de CF (cama de frango) mais 900 mL de água destilada (AD), isso repetido no 3º, 4º e 5º meses de reutilização.

Tabela 5 - Amostra com solução em biodigestor. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$  de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+BIO)

Substrato	Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)	
	3 meses de reuso		4 meses de reuso		5 meses de reuso	
	G1 a 50 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G1 a 80 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G2 a 50 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G2 a 80 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G3 a 50 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G3 a 80 g substrato + 900 mL de Biofertilizante
Casca de arroz	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Leitura - dia	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$
0	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0282	0.0242	0.1380	0.1462	0.1985	0.2095
6	0.0901	0.0945	0.1963	0.2015	0.2140	0.2591
9	0.1481	0.1679	0.2023	0.2126	0.2369	0.2689
12	0.2171	0.2239	0.2648	0.2964	0.3013	0.3548
15	0.3032	0.3532	0.3892	0.3984	0.3990	0.4030

Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 5, estão os resultados obtidos para substrato de cama de frango (com solução de biofertilizante), seguindo o mesmo procedimento realizado para as amostras contendo CF+AD (cama de frango + água destilada). Neste caso, as amostras também foram elaboradas para as quantidades de 50 g e 80 g de CF com mais 900 mL de biofertilizante (BIO), isso repetido no 3º, 4º e 5º meses de reutilização.

Os dados coletados foram analisados estatisticamente, através do programa SISVAR, para avaliar os níveis de significância, construindo e avaliando a interação significativa e estabelecendo o melhor tratamento para atingir o maior potencial de biogás, medido em volume por quilograma de cama de frango e o melhor número de reuso da cama de aviário.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O trabalho teve como objetivo, avaliar a melhor forma de utilizar a cama de frango como fonte de geração de biogás com o menor número de reutilização da mesma. Como fonte de pesquisa, foi utilizado um aviário localizado no município de Nazaré, o qual comporta em média 20.000 frangos para engorda, em um galpão de 2.500 m<sup>2</sup> (125x20). Para tanto, primeiramente, foram analisadas amostras de cama de frango de 3ª, 4ª e 5ª reutilizações, as quais foram adicionadas água destilada para realizar os testes de geração biogás.

Após as análises, verificamos um baixo nível de geração de biogás, o que acreditamos estar relacionado ao tempo da reação anaeróbia do material em contato com a água destilada para fermentação, o que pode ser comprovado, a partir da utilização do bico de Bunsen, após observar a queima do gás metano, indicando pouco gás na amostra.

Na busca de alternativas que possam comprovar a ideia inicial de que a cama de frango pode ser uma alternativa para geração de energia a partir da produção de gás, verificou-se em pesquisas bibliográficas, como a apresentada por Silva (2019), que o biofertilizante é uma fonte rica em bactérias oriundas da degradação (ou fermentação) da biomassa, que possibilita a aceleração anaeróbia, o que pode possibilitar o aumento da produção de biogás utilizando como matéria prima, a cama de frango.

Assim, baseado nos estudos realizados por Silva (2019), foram preparadas amostras compostas de uma mistura de cama de frango + biofertilizante (CF+BIO), em que foram repetidos os mesmos testes realizados com a água destilada, obedecendo os mesmos períodos. Diante disso, foram obtidos melhores resultados quando comparado com os resultados

encontrados com as amostras cama de frango + água destilada (CF+AD), evidenciando uma maior presença de metano na amostra a partir do nono dia.

A quantidade de metros cúbicos de biogás gerado por quilograma de biomassa, tanto para as amostras (CF+AD) e (CF+BIO), estão apresentadas nas Tabelas 6 e 7.

Tabela 6- Amostra com solução em água destilada. Leitura a cada 3 dias (m<sup>3</sup>/kg de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+AD)

Substrato	Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)	
	3 meses de reuso		4 meses de reuso		5 meses de reuso	
	G1 a 50 g substrato + 900 mL de água destilada	G1 a 80 g substrato + 900 mL de água destilada	G2 a 50 g substrato + 900 mL de água destilada	G2 a 80 g substrato + 900 mL de água destilada	G3 a 50 g substrato + 900 mL de água destilada	G3 a 80 g substrato + 900 mL de água destilada
Casca de arroz	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Leitura - dia	m <sup>3</sup> /Kg					
0	0.00000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0090	0.00100	0.02400	0.02472	0.01710	0.01818
6	0.00120	0.00190	0.000340	0.00354	0.08310	0.08689
9	0.01710	0.01810	0.019880	0.02089	0.12300	0.12927
12	0.01970	0.02020	0.02250	0.02385	0.18920	0.20434
15	0.02130	0.02250	0.02610	0.02495	0.19210	0.24958

Fonte: Autor (2020)

Na Tabela 6 verificam-se os resultados para substrato (CF+AD), que foram coletados a cada três dias para medir o volume de biogás gerado. As leituras foram feitas nas amostras de três, quatro e cinco meses de reutilização. Essas amostras foram elaboradas para as quantidades de 50 g e 80 g de CF (cama de frango) com adição de 900 mL de água destilada (AD), isso repetido no 3º, 4º e 5º meses de reutilização.

Na Tabela 7, estão os resultados obtidos para substrato de (CF+BIO), seguindo o mesmo procedimento realizado para as amostras contendo CF+AD (cama de frango + água destilada). Neste caso, as amostras também foram elaboradas para as quantidades de 50 g e 80 g de CF com mais 900 mL de biofertilizante (BIO), isso repetido no 3º, 4º e 5º meses de reutilização.

Os dados coletados foram analisados estatisticamente para avaliar os níveis de significância, construindo e avaliando a interação significativa e estabelecendo o melhor tratamento para atingir o maior potencial de biogás, medido em volume por quilograma de cama de frango e o melhor número de reuso da cama de aviário.

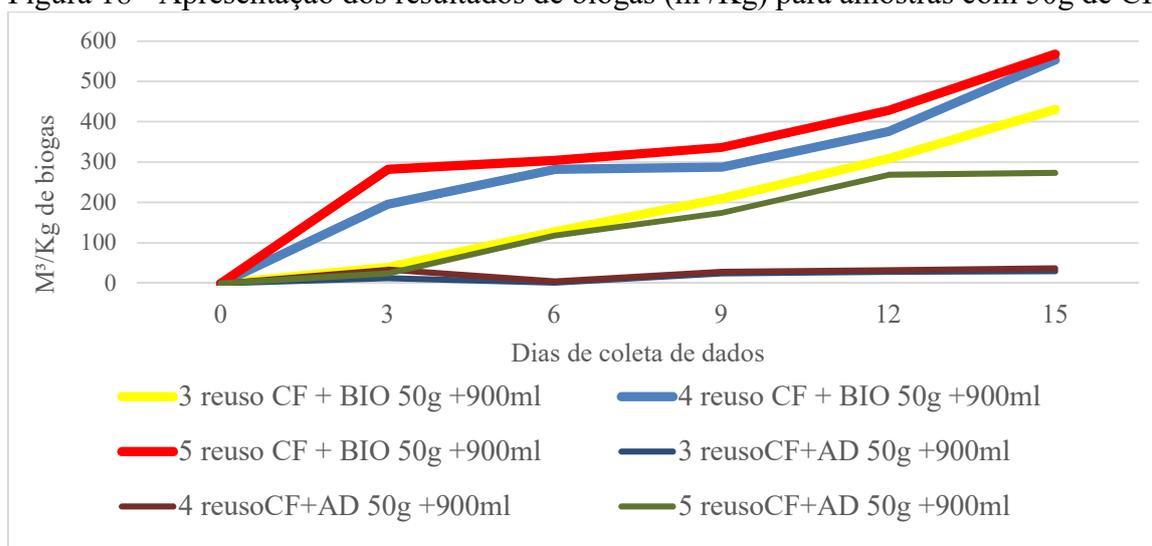
Tabela 7 - Amostra com solução em biodigestor. Leitura a cada 3 dias ( $m^3/kg$  de biomassa) de biogás para o biodigestor de cama de frango e acrescido de água (CF+Bio)

	Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)		Massas de substrato (g)	
	3 meses de reuso		4 meses de reuso		5 meses de reuso	
Substrato	G1 a 50 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G1 a 80 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G2 a 50 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G2 a 80 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G3 a 50 g substrato + 900 mL de Biofertilizante	G3 a 80 g substrato + 900 mL de Biofertilizante
Casca de arroz	T1	T2	T3	T4	T5	T6
Leitura - dia	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$	$m^3/Kg$
0	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000	0.00000
3	0.0282	0.0242	0.1380	0.1462	0.1985	0.2095
6	0.0901	0.0945	0.1963	0.2015	0.2140	0.2591
9	0.1481	0.1679	0.2023	0.2126	0.2369	0.2689
12	0.2171	0.2239	0.2648	0.2964	0.3013	0.3548
15	0.3032	0.3532	0.3892	0.3984	0.3990	0.4030

Fonte: Autor (2020)

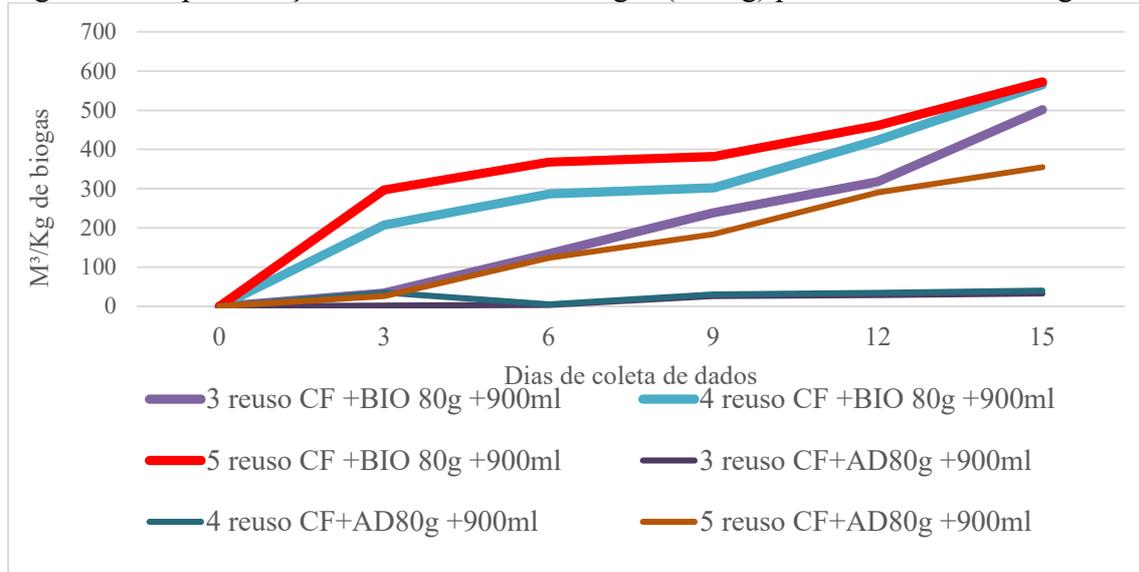
Os resultados obtidos mostraram que os dois grupos de amostras apresentaram biodigestão para o experimento realizado, o que pode ser observado nos gráficos contidos nas Figuras 18 e 19, que apontam para geração de biogás em todas as amostras, ou seja, amostras com 50 g e 80 g de substrato CF (cama de frango), com adição de 900 mL de substância líquida de AD e Bio.

Figura 18 - Apresentação dos resultados de biogás ( $m^3/Kg$ ) para amostras com 50g de CF



Fonte: Autor (2020)

Figura 19 - Apresentação dos resultados de biogás ( $m^3/Kg$ ) para amostras com 80g de CF



Fonte: Autor (2020)

Os dados representados nas Figuras 18 e 19, evidenciam que quanto maior a reutilização da cama de frango, maior a concentração de esterco e dejetos orgânicos, e conseqüentemente maior o incremento na geração de biogás. A partir destes resultados, é possível verificar que a variável tempo é um fator importante na produção de biogás, tanto para a concentração CF+AD como para CF+BIO, pois os volumes de biogás produzidos foram aumentando no decorrer dos tempos analisados, com uma maior produção para a concentração CF+BIO. Este fato pode estar relacionado à quantidade de bactérias existentes no biofertilizante, proporcionando uma aceleração no processo anaeróbio. O conhecimento da faixa de maior produção de biogás em um determinado tempo é fundamental para o dimensionamento do aproveitamento do biogás gerado pela biomassa.

Antes de aplicar os testes estatísticos ANOVA e Tukey aos dados, fez-se necessário verificar a normalidade de distribuição dos mesmos. De acordo com os resultados apresentados, a ANOVA serve para comparar todo e qualquer contraste entre as médias de tratamentos, diante disso, foi possível observar interação entre os resultados obtidos nas análises das amostras.

Analisando a ANOVA (Tabela 8) e os dados apresentados na Tabela 9, referentes à análise do teste Tukey à 5% de significância para as amostras CF + AD, foi possível observar que não houve diferença significativa para as amostras de 3ª e 4ª reutilizações (0,0055) com relação ao DMS (0,0910903054). Já em relação às amostras de 3ª e 5ª reutilizações (0,10724) e 4ª e 5ª reutilizações (0,10174) com relação ao DMS, observou-se diferença significativa entre elas. Isso ocorre devido ao material em teste não realizar fermentação anaeróbia suficiente para

iniciar a produção de biogás, necessitando de mais tempo para que ocorra reação bioquímica dos materiais. Este fato repetiu-se para as amostras de tratamento de 80g de CF + AD.

Tabela 8 - ANOVA para amostras com água destilada

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,08509279	2	0,042546393	17,8328218	1,79408E-05	3,40283
Colunas	0,00023691	1	0,00023691	0,099298181	0,755397019	4,25968
Interações	0,00046938	2	0,000234688	0,098366612	0,906680061	3,40283
Dentro	0,05726034	24	0,002385847			
Total	0,14305941	29				

Fonte: Autor, 2020. (SISVAR)

Tabela 9 - Teste de Tukey para amostras com água destilada

QMR	0,00238585			
Tratamentos	2		DMS	0,091090354
Graus de Liberdade	24			
Repetições	5			
q	4,17			
Concentração 50g + 900mL	Média 01	Média 02	Módulo da diferença da média	Resultado
03 meses - 04 meses	0,01366	0,01916	0,0055	Não tem diferença significativa
03 meses - 05 meses	0,01366	0,1209	0,10724	São diferentes
04 meses - 05 meses	0,01916	0,1209	0,10174	São diferentes
Concentração 80g + 900mL	Média 01	Média 02	Módulo da média	Resultado
03 meses - 04 meses	0,01274	0,02018962	0,00744962	Não tem diferença significativa
03 meses - 05 meses	0,01274	0,13765135	0,124911352	São diferentes
04 meses - 05 meses	0,02018962	0,13765135	0,117461732	São diferentes

Fonte: Autor, 2020. (SISVAR)

Diante dos resultados da ANOVA (Tabela 10) e utilizando o teste Tukey à 5% de significância para as amostras CF + BIO (Tabela 11), tanto para concentrações de 50 g e 80 g de CF+BIO, observou-se que a geração de biogás foi maior, em relação às mesmas análises realizadas para as amostras CF + AD. Isso devido à maior quantidade de dejetos oriundos do biofertilizante que é mais rico em microrganismos vivos, permitindo maior fermentação para a reação anaeróbia. Os resultados evidenciam ainda que as amostras de 3ª e 4ª reutilizações apresentaram uma média de (0,081184), para a 3ª e 5ª reutilizações (0,12032) de média e, para 4ª e 5ª reutilizações (0,031414) de média, quando comparadas com o DMS (0,18399)

respectivamente, evidencia que entre essas amostras, conforme o teste Tukey à 5%, não houve diferenças significativa. Este fato repetiu-se também para os testes com a amostra com 80 g de substrato (CF+BIO).

Tabela 10 - ANOVA para amostras com biofertilizantes

Fonte da variação	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Amostra	0,07095	2	0,03547631	3,64478	0,04147	3,40283
Colunas	0,0022	1	0,00220266	0,2263	0,63858	4,25968
Interações	0,00014	2	7,1093E-05	0,0073	0,99272	3,40283
Dentro	0,2336	24	0,00973346			
Total	0,3069	29				

Fonte: Autor, 2020 (SISVAR)

Tabela 11 - Teste de Tukey para amostras com biofertilizantes

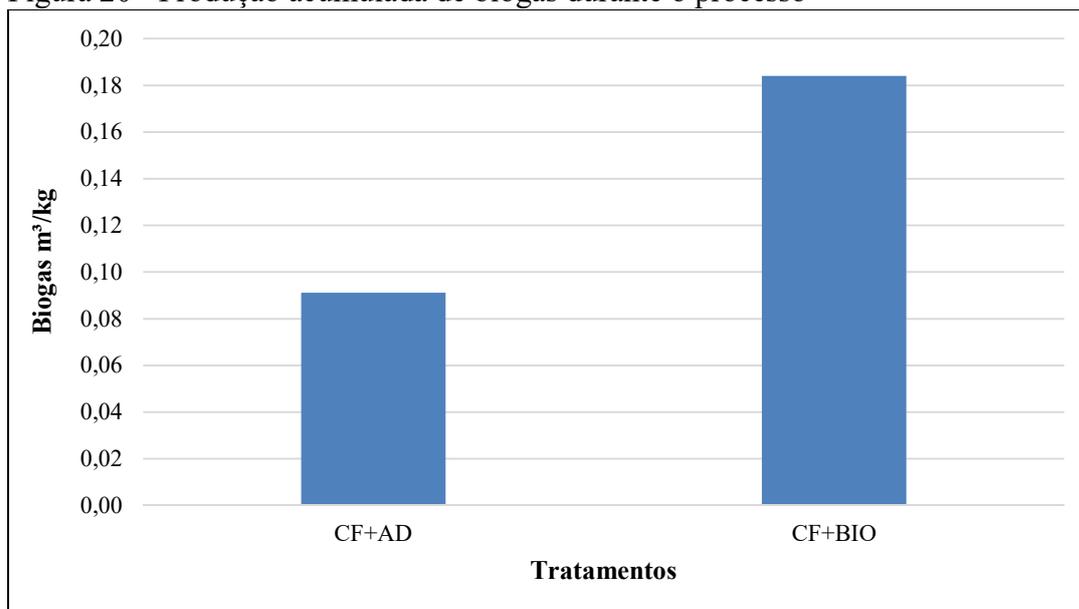
QMR	0,00973			
Tratamentos	2		DMS	0,18399
Graus de Liberdade	24			
Repetições	5			
q	4,17			
Concentração 50g + 900mL	Média 01	Média 02	Módulo da média	Resultado
03 meses - 04 meses	0,15734	0,23852	0,081184	Não tem diferença significativa
03 meses - 05 meses	0,15734	0,26994	0,112598	Não tem diferença significativa
04 meses - 05 meses	0,23852	0,26994	0,031414	Não tem diferença significativa
Concentração 80g + 900mL	Média 01	Média 02	Módulo da média	Resultado
03 meses - 04 meses	0,17274	0,25141	0,078674	Não tem diferença significativa
03 meses - 05 meses	0,17274	0,29306	0,12032	Não tem diferença significativa
04 meses - 05 meses	0,25141	0,29306	0,041646	Não tem diferença significativa

Fonte: Autor, 2020 (SISVAR)

Em todos os resultados observados para amostra de CF + BIO, verificou-se que não houve diferença significativa entre as diferentes diluições. Contudo, apesar de não significativa, nota-se que houve um padrão na variação na geração do biogás a medida que o tempo passava. Quanto aos efeitos do tratamento anaeróbia, observam-se variações distintas entre as amostras de CF + AD e CF + BIO, sendo esse último mais eficiente para os testes propostos. Esses resultados não implicam em insucesso no tratamento anaeróbia realizado, contudo, sugerem que os potenciais máximos esperados não foram alcançados. Esta situação é algo previsto quando relacionado à biomassa de CF, uma vez que possui como característica marcante a elevada concentração de matérias orgânicas podendo ter bom aproveitamento em geração de biogás.

Os resultados indicaram a influência do período nos potenciais de produção de biogás encontrados neste experimento e mostram-se semelhantes aos estudos de Ortolani, Benincasa e Lucas Junior (1991), em que não encontraram diferenças notórias para as médias dos potenciais de produção de biogás entre três ensaios, de diferentes reutilizações de cama de frango, como podemos verificar na Figura 20.

Figura 20 - Produção acumulada de biogás durante o processo



Fonte: Autor (2020)

Segundo Suzuki et al. (2012), uma das explicações que justifica a produção lenta de biogás inicialmente, nas amostras, pode ser devido à cama de aviário ser heterogênea e possuir seus componentes agrupados em substâncias de rápida e lenta degradação. Os componentes de lenta degradação são de madeira, como lignina, celulose e hemicelulose.

Em uma análise geral, referente aos valores totais de produção de biogás, percebe-se que a utilização do biofertilizante como reagente para os resíduos de cama de frango, apontou melhor solução, pois sua produção foi mais eficiente para todos tratamentos realizados nas análises devidos seus altos teores de nutrientes.

Deve-se observar também o início de queima do biogás, parâmetro que pode ser útil para a escolha do número de vezes de reutilização da cama de frango como substrato para fermentação, pois está relacionado com quantidade de metano suficiente para realização da combustão ativa. É possível fazer a programação dos sistemas de biodigestão anaeróbia para o fornecimento contínuo de biogás, sem que haja intervalos de produção do mesmo. Observa-se que os tratamentos com cama de frango de 3<sup>o</sup> a 5<sup>o</sup> reutilizações, em que foram inseridos o

biofertilizante, apresentaram menor tempo para início de geração de biogás, se comparado com a amostra com adição de água destilada.

Para Suzuki et al. (2012), o tempo é fundamental na concentração de CO<sub>2</sub>, e que essa tende a reduzir. O mesmo não ocorre com a concentração de metano que apresentou um aumento, melhorando significativamente o teor de combustão do processo.

Na Figura 20, na qual está evidenciado o volume total de biogás produzido em cada experimento, é possível verificar que o tratamento com CF+AD produziu aproximadamente 50% a menos o volume de biogás do que o tratamento com CF+BIO, reforçando que a utilização do biofertilizante é um fator importante, contribuindo para uma alta reação anaeróbica, em razão à concentração de bactérias, contribuindo para produção de gás metano.

Comparando com o estudo de Sagula (2012), que identificou melhora na produção de biogás para reutilização da cama de frango entre 8 e 12 ciclos e verificou uma média de produção de 0,21 m<sup>3</sup>/kg, para substratos de cama de frango, com os resultados obtidos no presente estudo, verificamos que a produção de biogás mostrou-se eficiente para o tratamento CF+BIO a partir de três reutilizações, que produziu em média 0,18 m<sup>3</sup>/Kg, conforme evidenciado na Figura 20, para somente a 3<sup>a</sup> reutilização de cama de frango.

Após identificar a produção de biogás para cada kg de biomassa de CF+BIO, obteve-se 262 m<sup>3</sup> de biogás gerado. Assim, podemos sugerir que para uma maior produção de biogás com cama de frango, seria necessário acrescentar o biofertilizante, favorecendo o processo anaeróbio e conseqüentemente uma maior produção de gás metano. Para comprovar a produção de gás metano, realizamos um teste utilizando um Bico de Bunsen, acoplado à mangueira de saída, onde foi aceso uma chama e verificou-se que a mesma permanecia acesa para confirmar a queima do gás no processo.

Com relação à geração de energia elétrica para o aviário, segundo Berny (2010), com 1 m<sup>3</sup> de biogás obtido no melhor tratamento, pode-se gerar 169,99 kWh de energia. Assim, conforme estudos da AMSOP (2015), cada cabeça de ave no aviário produz 0,5 kg de cama de frango para compor a matéria sólida. Diante disso, pode-se dizer segundo Deganutti (2002), que o principal componente do biogás é o gás metano e o poder calorífico deste pode variar de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico e esse tem poder calorífico que pode chegar a 12.000 kcal por metro cúbico, se eliminado todo o gás carbônico da mistura.

Ainda segundo Aires (2009) o biogás produzido pela cama de frango pode atingir concentrações de 70 a 80% de metano. Já Persson (2006) apresenta em seus estudos uma variância de 53 a 70%, onde ambos os autores relatam que a produção de gás depende da

eficiência do processo e sofre influência de fatores como pressão e fermentação durante a fermentação.

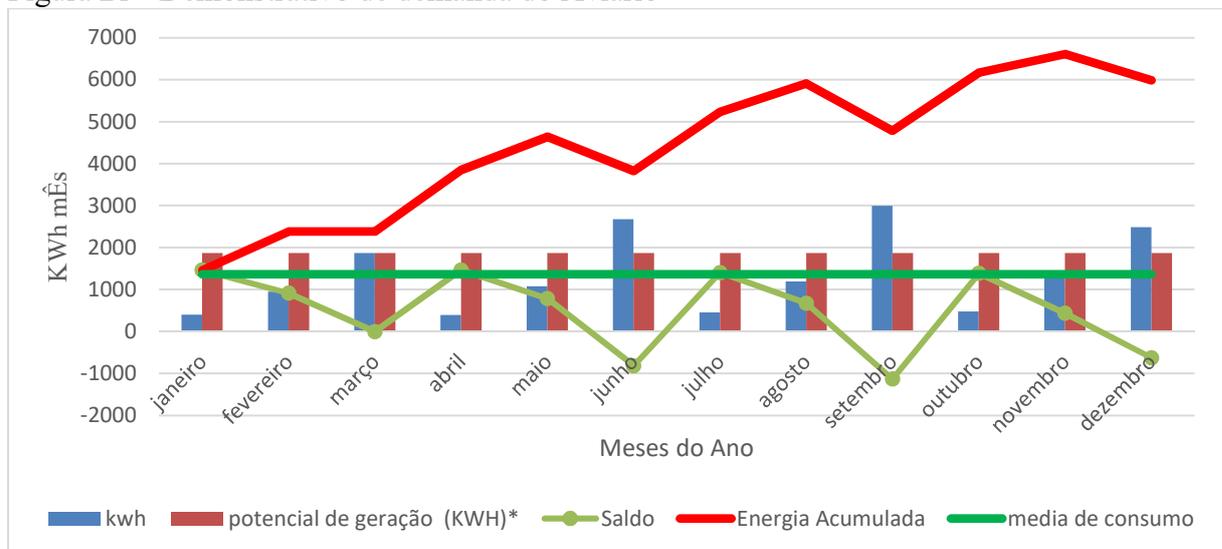
Diante disso, no aviário em estudo, que contempla 20.000 mil cabeças de frango, tem-se 10.000 kg de produção de resíduos de cama de frango por reutilização. Com esta produção, conforme estudos contidos no anuário do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (2015), prospecta-se uma geração de 2.492,96 m<sup>3</sup> de biogás em média, que convertendo em energia elétrica, produz 1.619,71kWh/ano para uso no aviário.

Conforme Miele et al. (2010) os custos de energia nos aviários representam impacto significativo na avicultura e estão diretamente relacionados com os equipamentos para climatização (aquecimento e ventilação) dos galpões, sendo aproximadamente 23% dos custos totais de produção de frango para o avicultor. O autor ainda ressalta, que o consumo de eletricidade em um aviário convencional por lote tem média 1400 kWh/mês em energia. Desse modo, considerando o total de 6 lotes por ano, atinge um total de 8.400 KWh/ano.

O consumo de energia do aviário avaliado para um galpão de 20.000 cabeças, conforme conta de energia da granja, gira em torno de 1.860 kWh (segundo histórico de consumo no período de 2018/2019), considerando a sazonalidade e os vazios que ocorre durante o processo de criação e engorda dos lotes de frangos.

Como pode-se verificar, a demanda do aviário (Figura 21) é facilmente suprida e o mesmo pode ser conectado ao sistema de energia, conforme REN nº482 da ANEEL (2018), reduzindo assim os custos com energia.

Figura 21 - Demonstrativo de demanda do Aviário



Fonte: Autor (2019)

O aviário como pode ser observado na Figura 21, acima, tem uma sazonalidade ao longo de um ano, onde observa-se o acúmulo de energia elétrica não utilizada em alguns meses, gerando um saldo acumulado de 5.988 kWh/ano, esse, podendo ser utilizado como compensação dos meses de pouca geração em um prazo de 5 anos, REN nº482 da ANEEL (2018).

A geração do metano ( $\text{CH}_4$ ) produzido nos experimentos está ligado diretamente a produção da geração de energia elétrica, e neste estudo foi utilizado como base os ensaios realizados por Lopes et al. (2012), que verificou que mesmo após 30 dias a produção metano continuava ativa, reforçando os estudos relatados por Persson (2006), que estimou que o volume de metano pode variar entre 53% a 70% do volume de biogás e o dióxido de carbono entre 30% a 47%. Conforme estudo de Persson (2006), os valores encontrados foram estimados.

O biodigestor consegue em toda sua simplicidade não ter a função de produzir biogás, mas sim as condições para que as bactérias metanogênicas possam agir no material orgânico liberando gás metano.

Tabela 12 - Quantidade de metano e dióxido de carbono na média das amostras de Biogás ( $\text{m}^3/\text{kg}$ )

Amostras	Biogás	$\text{CH}_4$ (53%)	$\text{CO}_2$ (47%)
CF+AD	0,184	0,098	0,086
CF+BIO	0,091	0,048	0,043

Fonte: Autor (2019)

Como demonstrado na Tabela 12 acima o biogás tem potencial significativo na geração de metano, e o mesmo pode ser convertido em outros combustíveis utilizados no dia a dia do campo como energia elétrica. Diante disto, como trabalhos futuros, o uso de diferentes substratos de camas de frango pode ser analisado com o uso da metodologia proposta neste trabalho. Também podem ser realizados trabalhos específicos voltados à eficiência no uso combustíveis para veículos da propriedade rural e uso como gás de cozinha.

## 6 CONCLUSÃO

O processo de biodigestão anaeróbia foi eficiente para produção de biogás no ensaio com tratamentos da cama de frango associada à biofertilizante (CF+ BIO). Como foi visto, o poder de produção de biogás pode chegar a valores próximos aos encontrados nas literaturas utilizando cama de frango com mais de 5 reutilizações.

Com os valores positivos obtidos nos ensaios com CF+ BIO, para geração de biogás nas condições de 3<sup>a</sup> a 5<sup>a</sup> reutilizações, o aviário pode realizar logística de programação para melhor aproveitamento dos resíduos de cama de frango. Conclui-se que é possível a utilização da cama de frango para gerar biogás a partir da 3<sup>a</sup> reutilização quando inserido o biofertilizante para catalisar a reação química, o que traz benefícios econômicos e ambientais.

No caso da avicultura de corte, estudada neste trabalho, este ciclo pode ser criado a partir do tratamento de seu principal resíduo, com o aproveitamento dos subprodutos deste tratamento, portanto proporciona-se uma sustentabilidade na geração do biogás.

Ao utilizar o processo anaeróbio, o biogás produzido no biodigestor poderá ser o combustível para a geração de energia, deixando o aviário autossustentável, com energia elétrica atendendo os diversos equipamentos do aviário. A unidade consumidora que atende o mesmo poderá ser conectada à rede da Concessionária de energia, podendo entrar no rol de gerador de energia distribuída, ou seja, o aviário pode gerar sua própria energia e ainda devolver o excedente à Concessionária de energia para ser compensando futuramente (prazo máximo de 5 anos).

A geração de energia elétrica a partir do biogás, no presente estudo, chega a 87% da demanda necessária no aviário nos meses de maior consumo. Valor que gera sobra de energia nos meses em que ocorre o vazio sanitário, podendo viabilizar outros investimentos no aviário para melhorar a eficiência da engorda dos frangos de corte.

A biodigestão anaeróbia da cama de frango do aviário demonstrou ser eficiente para geração de biogás, em especial para utilização na geração de energia elétrica para o próprio aviário e para o melhor aproveitamento dos resíduos oriundos da cama de frango, podendo o avicultor melhorar seus ganhos, reduzindo seu custo de produção.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA - ANEEL, 2011. Disponível em: <http://www.aneel.gov.br>, acesso em 14/02/2019.

ALVES, S. M.; MELO, C.F.M.; WISNIEWISKI, A. **Biogás: uma alternativa de energia no meio rural**. Belém, EMBRAPA/CPATU. (Miscelânea, 4), 1980.

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

AMARAL, Fábio Adão. **Tratamento anaeróbico da fração sólida da cama de frango, após diluição, para obtenção de biogás e biofertilizante**. Bambuí, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12614: Águas - Determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) - Método de incubação (20°C, cinco dias)**. Rio de Janeiro, p. 5. 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – **ABPA**. Relatório Anual 2018. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br>>. Acesso em: 10 de março de 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – **ABPA**. Relatório Anual 2017. Disponível em: < <http://abpa-br.com.br>>. Acesso em: 12 de maio de 2018.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - **ANDA**. Anuário do setor de fertilizantes 2016. São Paulo, 176p, 2017.

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

AVEWORLD: **Portal da Avicultura Brasileira**. Disponível em: <http://aveworld.com.br/relatorios/post/usda-brazil-poultry-and-products-semi-annual-report> 2011, acesso em 11/05/2019.

AVILA, V.S. DE; JAENISH, F.R.F.; PIENIZ, L.C.; LEDUR, M.C.; ALBINO, L.F.T.; OLIVEIRA, P.A.V. DE. **Produção e manejo de frangos de corte**. EMBRAPA SUÍNOS E AVES. Documentos, Número 28. 1992. p.11.

AVISITE: **Portal da avicultura brasileira na Internet**. Disponível em: <http://www.avisite.com.br/economia/estatistica.asp?acao=producao pintos>, acesso em 11/05/2019.

AZEVEDO, C. V. J. C. **Atuação do Estado no domínio econômico e seus reflexos na política ambiental: análise da proposta brasileira de fomento à inserção do Biodiesel na matriz energética brasileira.** 2008. 131 f. Dissertação (Mestrado em Direito Ambiental) - Universidade Católica de Santos, UniSantos, Santos, 2008.

BRATTI, F.C.; SARTOR, L.; WIELEWSKI, P.; EINSFERD, S.M.; WOLF, J. **Estimativa da quantidade e destino de resíduos orgânicos de aviários produzidos na região sudoeste do Paraná.** In: II Congresso de Ciência e Tecnologia Da UTFPR – Campus Dois Vizinhos. Paraná, Brasil, 15 e 16 de outubro de 2012.

CHAUMP, K.; PREISSER, M.; SHANMUGAM, S. R.; PRASAD, R.; ADHIKARI, S.; HIGGINS, B. T. **Leaching and anaerobic digestion of poultry litter for biogas production and nutrient transformation.** Waste Management, Volume 84, Pages 413-422, 2019.

CHEN, Y.; CHENG, J. J.; CREAMER, K. S. **Inhibition of anaerobic digestion process: a review.** Bioresource Technology, v. 99, 2008, p. 4044-4064.

CORRÊA, J.C.; MIELE, M. **A cama de aves e os aspectos agrônômicos, ambientais e econômicos.** In: PALHARES, J.C.P.; KUNZ, A. (Ed.). Manejo ambiental na avicultura, 2011. (Embrapa Suínos e Aves. Documentos, 149). p. 125-152. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2011.

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

DE BONA, E. A. M.; STEINMETZ, R.; SOMER, J. G.; LINS, L. P.; VIANCELLI, A.; KUNZ, A. **Cama de frango como substrato para a produção de biogás após diferentes períodos de estocagem.** V Simpósio internacional sobre gerenciamento de resíduos agropecuários e agroindustriais, Foz do Iguaçu, PR, 09 a 11 de maio de 2017.

DAGANUTTI, R.; PALHACI, M. DO C.J.P.; ROSSI, M. **Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada.**In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4., 2002, Campinas. Anais eletrônicos.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA - **Balço Energético Brasileiro.** Ano Base 2013. Rio de Janeiro, 2014

FASOLIN, L. B. et al. **Relação entre o Índice de Sustentabilidade e os Indicadores Econômico-financeiros das empresas de energia brasileiras.** Revista em Gestão, Educação e Tecnologia, (REGET). Issn 2236 1170, v. 18, n. 2. Mai-Ago, pp. 955-981, 2014.

FERRAREZ, A. H. **Análise da Viabilidade do Uso de Biogás Como Fonte Energética na Cadeia Produtiva de Frango de Corte na Zona da Mata de Minas Gerais.** 2009,

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, Brasil, 2009.

FREITAS, L.W., A. C. A. ORRICO, R. G.; GARCIA, A. W.; SCHWINGEL, and F. R. C. 2009. **Volatilização de amônia em diferentes tipos de cama de frango**. Pages 1–4 in Proc. Anais... 27<sup>a</sup> Conferência FACTA de Ciência e Tecnologia Avícola, Porto Alegre, Brasil.

FUKAYAMA, E. H. **Características quantitativas e qualitativas da cama de frango sob diferentes reutilizações: efeitos na produção de biogás e biofertilizante**. Tese (Doutorado em Zootecnia), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

GARCIA, R.G. et al. **Effect of the Litter Material on Drinking Water Quality in Broiler Production**. Revista Brasileira de Ciência Avícola / Brazilian Journal of Poultry Science, v. 12, p. 165-169, 2010.

GIROTTI, A. F.; ÁVILA, V. S. **Cama de aviário: análise econômica de materiais alternativos**. Concórdia: Embrapa. Suínos e Aves, 2003. 4p. (Embrapa Suínos e Aves. Comunicado Técnico, 326).

GUERRA, J. B. S. O. A. **Future scenarios and trends in energy generation in brazil: supply and demand and mitigation forecasts**. Journal of Cleaner Production. v. 103, n.15, p. 197–210, set. 2015.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Relatório: **Consumo e produção de cana-de - açúcar**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em 2019

IPCC - Climate Change 2014: **Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. 2014

IPCC - THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Chapter 10: **Emissions from Livestock and Manure Management**. Volume 4: Agriculture, Forestry and Other Land Use, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Published: IGES, Japan, 2006.

JEONGSIK, K.; PARK, C.; KIM, T.H.; LEE, M.; KIM, S.; KIM, S.W.; LEE, J. **Effects of various pretreatments for enhanced anaerobic digestion with waste activated sludge**. Journal of Bioscience and Bioengineering, v. 95, n. 03, p. 271-275, 2003.

KAZMIERCZAK, T.; HOSSA, C. L.; MACCAGNAN, B. E.; COLLET, E. B. **Estimativa teórica da produção de biogás a partir de efluente procedente de abatedouro de suínos e aves no município de Videira - SC (estudo de caso)**. Ignis, v. 5, n. 1, p. 05-17, Caçador, jan./dez. 2016.

KELLEHER, B. P.; LEAHY, J. J.; HENIHAN, A. M.; O'DWYER, T. F.; SUTTON, D.; LEAHY, M. J. **Advances in poultry litter disposal technology – a review**. *Bioresource Technology*, v. 83, p. 27-36, 2002.

KOTHARI, R.; PANDEY, A. K.; KUMAR, S.; TYAGI, V. V.; TYAGI, S. K. **Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: An overview**. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Volume 39, Pages 174-195, 2014.

MELO, C. A. **Desenvolvimento de sistema polimérico a base de turfas e Substâncias Húmicas para a liberação lenta de nutrientes para plantas**. 2014. Tese (Doutorado em Química). Instituto de Química de Araraquara, Universidade Estadual Paulista, 2014.

MITO, J. Y. L.; KERKHOFF, S.; SILVA, J. L. G.; VENDRAME, M. G.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Metodologia para estimar o potencial de biogás e biometano a partir de plantéis suínos e bovinos no Brasil**. Documentos 196, Embrapa Suínos e Aves, ed. 1, 52 p., Concórdia, SC, 2018.

MIELE, M.; SANTOS FILHO, J.; MARTINS, F.; SANDI, A. **Consolidação do custo do avicultor para a produção de frango de corte em Santa Catarina**. Embrapa, Concórdia, 2010.

MONDARDO, D.; BANDEIRA, K.; OHLAND, T.; ZOZ, A.; GERHARDT, I. F. S. **Características estruturais da aveia preta comum sob doses crescentes de cama de frango**. I COLASSA, Congresso latino-americano de suinocultura e sustentabilidade ambiental, v. 01, Foz do Iguaçu, 2011. Disponível em: . Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.

OLIVEIRA, F. C.; RODRIGUES, F. L. M. **Economia Circular “uma abordagem para os fertilizantes orgânicos e condicionadores de solo”**. Anuário Brasileiro de Tecnologia em Nutrição Vegetal – 2018. Associação Brasileira das Indústrias de Tecnologia em Nutrição Vegetal – ABISOLO, ed. 4, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, M. M. **Estudo da inclusão de compartimentos em biodigestores modelo canadense**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos), Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Processos, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria-RS, 2012.

PALHARES, J. C. P. **Uso de biodigestores para o tratamento da cama de frango: conceitos importantes para a produção de biogás**. Embrapa Suínos e Aves, 2005. Disponível em: Acesso em: 10 de fevereiro de 2019.

PAULA JR., S. E. M. **Avaliação das alternativas de disposição final do resíduo da produção de frango de corte: cama de frango**. Tese de conclusão de curso (Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Periodicidade: semestral, ISSN 1678-3867. 2006. Disponível em: 2019<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/floresta11\\_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/floresta11_000gapwcajw02wx5ok04xjloyxd3fpu2.pdf)> Acesso em: 16 de junho de 2019.

PERSSON, Margareta, JÖNSSON, Owe, WELLINGER, Arthur. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**. 2006. IEA Bioenergy, Task 37 – Energy from biogas and landfill gas. Portal Exame.2006. Disponível em:<  
[http://biogasmax.eu/media/1\\_biogas\\_upgrading\\_\\_075624200\\_1207\\_19042007.pdf](http://biogasmax.eu/media/1_biogas_upgrading__075624200_1207_19042007.pdf)> Acesso em: 16 de junho de 2018.

PORTELA, Renan B. **Análise do potencial energético da cama de frango através da quantificação do metano pelo método da Atividade Metanogênica Específica**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Paraná: Campo Mourão, 2014.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. J. **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.

RICHARD, A. K. **Global Warming Is Changing the Word**. 2007, publicação: SCIENCE AAAS, Vlo 316, 2007.

ROCHA, Maria Aparecida G.; FLORENCIO, Lourdinha; KATO, Mário T.; SILVA, Ana Maria R.B. **Avaliação e comparação entre a Atividade Metanogênica Específica de lodos de esgotos doméstico e industriais**. In: 210 CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2013, Pernambuco.

SAGULA, A. L.; COSTA, L. V. C.; JÚNIOR, J.L. **Diferentes diluições e uso de reciclo na biodigestão anaeróbia de cama de frango triturada e peneirada: ensaio batelada**. Brazilian Journal of Biosystems Engineering, v. 11(4), p. 373-384, Brasil, 2017.

SEADI A. T.; RUTZ, D.; PRASSL, H.; KÖTTNER, M.; FINSTERWALDER, T.; VOLK, S.; JANSSEN, R. **Biogas Handbook**. Published by University of Southern Denmark Esbjerg, Niels Bohrs Vej 9-10, DK-6700 Esbjerg, Denmark.

SILVA, E.M.; VIEIRA, E.T.V.; TASHIMA, L.C.N.; GUILHERME, D.O. **Uma releitura da sustentabilidade dos sistemas agrários de produção**. Revista Interações, v. 38, p. 330-340. Campo Grande, Brasil, 2017.

SOARES, Thelma S.; CARNEIRO, Angélica de Cássia O.; GONÇALVES, Elzimar de O.; LELLES, José Gabriel. **Uso Da Biomassa Florestal Na Geração De Energia**, Garça, Revista Científica Eletrônica De Engenharia Florestal, ano IV, n. 08.

SULEYMAN, S.; KAAAN, Y.; EMEL, KOCAK. **Araerobic Digestion Technology In Poultry And Livestock Waste Treatment**. A Literature Review. Wast Management & Research, 2014.

TESSARO, A. A. **Potencial Energético da Cama de Aviário Produzida na Região Sudoeste do Paraná Utilizada Como Substrato Para a Produção de Biogás**. Curitiba, 2011. Tese (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologia) Instituto de Engenharia do Paraná.p.13-18.

UBABEF - **Brazilian Poultry Association, Annual Report 2010/2011**, Brazil, 2011. Em <http://www.avisite.com.br/economia/estatistica.asp?acao=producaopintos>, acesso em 10/04/2019.

UNITED NATIONS. **Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017)**. World Population Prospects: The 2017 Revision, Volume I: Comprehensive Tables (ST/ESA/SER.A/399). New York, United States Of America, 2017.

VIEIRA, M. DE F. A. **Caracterização e análise da qualidade sanitária de camas de frango de diferentes materiais reutilizados sequencialmente**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Viçosa, MG. 81 p. 2011.

VUKOBRATOVIC, M., SLJIVAC, D., NIKOLOVSKI, S. **Energy Potential and so Far Course of Action of Using Biomass and Biogas in Croatia, Faculty of Electrical Engineering in Osijek**, Croácia, 20<sup>o</sup> International Conference on Eletricity Distribution 2009.

WORLD METEOROLOGICAL ORGANIZATION - WMO (2014). **Greenhouse gas bulletin: the state of greenhouse gases in the atmosphere based on observations through 2013**. Disponível em: [http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw\\_ho](http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/gaw_ho). Acesso em: 29 mar. 2020.

XAVIER, C. de A. N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite: obtenção de parâmetros e dimensionamento**. 2005. 103 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.

ZAHAN, Z.; OTHMAN, M. Z. **Effect of pre-treatment on sequential anaerobic co-digestion of chicken litter with agricultural and food wastes under semi-solid conditions and comparison with wet anaerobic digestion**. Bioresource Technology, Volume 281, Pgs 286- 295, 2019.

ZILOTTI, Hécio Alexandre Rodrigues. **Potencial de produção de biogás em uma estação de tratamento de esgoto de Cascavel para a geração de energia elétrica**. Cascavel, PR: UNIOESTE, 2012. 52 p.