



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AGROALIMENTAR  
UNIDADE ACADÊMICA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA AMBIENTAL  
CAMPUS DE POMBAL-PB**

**JOSÉ JOAQUIM DE SOUZA NETO**

**POTENCIAL DA COGERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA POR BIOGÁS NA  
AGROINDÚSTRIA BOLO DAS OLIVEIRAS / PB**

**POMBAL-PB**

**2018**

**JOSÉ JOAQUIM DE SOUZA NETO**

**POTENCIAL DA COGERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA POR BIOGÁS NA  
AGROINDÚSTRIA BOLO DAS OLIVEIRAS / PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador (a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Roberlucia Araújo Candeia

**POMBAL-PB**

**2018**

S729p Souza Neto, José Joaquim de.  
Potencial da cogeração de energia térmica por biogás na agroindústria  
Bolo das Oliveiras / PB / José Joaquim de Souza Neto. – Pombal, 2018.  
46 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia  
Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de  
Ciências e Tecnologia Agroalimentar, 2018.

"Orientação: Profa. Dra. Roberlucia Araújo Candeia".  
Referências.

1. Energia térmica. 2. Biodigestor sertanejo. 3. Biogás. 4. Viabilidade  
econômica. 5. Estudo ambiental. 6. Catolé do Rocha – PB. I. Candeia,  
Roberlucia Araújo. II. Título.

CDU 551.58(043)

**JOSÉ JOAQUIM DE SOUZA NETO**

**POTENCIAL DA COGERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA POR BIOGÁS NA  
AGROINDÚSTRIA BOLO DAS OLIVEIRAS / PB**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental.

Orientador(a): Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Roberlucia Araújo Candeia

Aprovado em \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de \_\_\_\_\_.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof.<sup>a</sup> Dra. Roberlucia Araújo Candeia  
(Orientador(a) – CCTA/UFCG/*Campus* de Pombal-PB)

---

MSc. Emanuel Tarcísio do Rêgo Farias  
(Examinador(a) Interno(a) – CCTA/UFCG/*Campus* de Pombal-PB)

---

Prof. Dr. José Nilton da Silva  
(Examinador(a) Externo(a) – UFCG/*Campus* Campina Grande-PB)

## DEDICATÓRIA

Á meu pai, Augusto Fernandes Neto (*in memorian*) com todo o meu amor e gratidão.

Á minha mãe, Carmem Lucia, esse mulher guerreira da qual tenho muito orgulho.

Aos meus irmãos, Cosmo Gustavo e Damião Augusto, por todo o apoio.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, por conceder-me o dom da vida, a disciplina e a determinação necessária para que eu pudesse chegar ao fim desta importante fase da minha vida.

A minha família, por todo o apoio incondicional para que esse sonho se tornasse realidade. O amor, o carinho e o respeito de vocês me conduziram até aqui.

Agradeço a minha orientadora, Professora Dra. Roberlucia Araújo Candeia, por acreditar e confiar em mim para à realização deste trabalho. Obrigado pelos ensinamentos de toda uma graduação, pelos puxões de orelha nos momentos certos, pela paciência, pela amizade e pelo carinho. Obrigado por ser tão “humana”, afinal de contas esta é uma qualidade que poucos profissionais dominam.

A minha segunda orientadora, Professora Dra. Mônica Tejo Cavalcanti, por abrir tantas portas pra mim. Obrigado pela confiança, pelo respeito, pelo carinho e por ser essa grande mentora na minha vida.

Ao Professor Dr. José Nilton da Silva, pelo apoio e disponibilidade para orientação. Muito obrigado pelos ensinamentos e pela boa amizade que construímos.

Ao meu amigo o técnico Emanuel, que sempre esteve disposto a me ajudar. E que com as suas brincadeiras sempre procura ver o lado positivo dos problemas. Muito obrigado!

Obrigado a todos os irmãos que a graduação me deu: Zaqueu Lopes, Francisco Tarcísio, Edmar Gonçalves, Gabriel Carlos, Álvaro Gustavo e Bruno Fonsêca. Vocês fazem parte dessa conquista, obrigado por toda a orientação, pela paciência e pelo companheirismo de sempre.

Agradeço a minha namorada Wisla Kívia, por toda a ajuda, carinho e paciência. Por ser esse ser humano incrível, determinada e destemida que nunca mediu esforços pra me ajudar. Muito obrigado, meu amor.

Obrigado também a Sebastião e dona Das Neves, pela confiança de sempre e por terem me ajudado a permanecer na cidade de Pombal. A residência universitária foi um divisor de águas na minha vida, afinal de contas foi nela que aprendi a ser um ser humano melhor.

Obrigado às meninas da Agroindústria Bolo das Oliveiras, por todo o carinho para comigo, pela ajuda e pelo empenho nas atividades voltadas ao projeto.

Obrigado a todos os colegas e amigos da Universidade Federal de Campina Grande.

Obrigado a todos os professores do CCTA pelos conhecimentos repassados.

Enfim, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

SOUZA NETO, J. J. **Potencial da cogeração de energia térmica por biogás na agroindústria Bolo das Oliveiras / PB**. 2018. 47p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal-PB, 2018.

## RESUMO

Os resíduos sólidos provenientes de atividades antrópicas, como a bovinocultura, apresentam um grave problema ambiental, devido à elevada concentração de matéria orgânica. Desta forma, faz-se necessário utilizar tecnologias para o seu tratamento, que respeite os três pilares da sustentabilidade (econômico, social e ambiental). Diante desta situação, os biodigestores surgem como uma alternativa capaz de atender essas exigências. Assim sendo, este trabalho buscou investigar o potencial de cogeração de energia térmica, advindo de um biodigestor sertanejo instalado na agroindústria Bolo das Oliveiras, Pombal - PB. A investigação ocorreu entre maio a setembro de 2018, perfazendo 105 dias. O biodigestor foi alimentado diariamente com 100 Kg de dejetos bovinos e diluído na proporção de 1:2. Adotou-se o tempo de retenção hidráulica de 45 dias, após esse período foram realizadas análises quinzenalmente até o 105º dia. As análises do afluente e dos efluentes englobam as físicas e químicas, assim como a qualificação e quantificação do biogás gerado. Os resultados obtidos ao longo do experimento mostram poucas variações, no que concerne aos substratos, que podem estar associadas à incompleta digestão da massa orgânica. Enquanto que, a produção de biogás apresentou chama de boa qualidade e poder calorífico próximo de 7,92 KWh/m<sup>3</sup>. No entanto, a unidade de biodigestão anaeróbica implantada na Agroindústria Bolo das Oliveiras apesar de gerar 1,2m<sup>3</sup> de biogás/dia, pode ser otimizado operacionalmente, em virtude deste possui o potencial energético maior do que esta sendo obtido.

**Palavras-chave:** biodigestor sertanejo; biogás; viabilidade econômica.



SOUZA NETO, J. J. **Potential of the energy thermal cogeneration by biogas at agroindustry Cake of the Oliveiras in Paraiba.** 2018. 47 p. Work of Course Conclusion (Graduation in Environmental Engineering) - Federal University of Campina Grande, Pombal in PB, 2018.

## **ABSTRACT**

The solid residues proceeding from anthropic activities, as the bovine farming, present a serious environmental problem, due to raised concentration of organic substance. In such a way, one becomes necessary to use technologies for its treatment, that respects the three pillars of the sustainability (economic, social and environmental). In light of this situation, the biodigesters appear to be an alternative capable of taking care of these requirements. Then, this work searched to investigate the potential of thermal energy cogeneration happened of the sertanejo biodigester installed in the agribusiness Cake of the Oliveiras, in Pombal - PB. The inquiry occurred between May and September of 2018 totaling 105 days. The biodigester was fed daily with 100 kg of bovine dejections and diluted in the in the proportion of 1:2. The time of hydraulical retention of 45 days was adopted, this period had been carried through biweekly analyses until 105° day. The analytes of the tributary and the effluent ones encompass the physics and chemistries, as well as the qualification and quantification of biogas generated. The results obtained throughout the experiment show a few variations with respect to the substrate, that can be associated with the incomplete digestion of the organic mass. Whereas, the production of biogas presented flame of good quality and 7,92 calorific power next to KWh / m<sup>3</sup>. However, the unit of anaerobic biodigestion implanted in the Agroindustry Cake of the Olive Trees although to generate 1.2m<sup>3</sup> of biogas by day can operationally be optimized in virtue of this possesss the bigger energy potential of what this being gotten.

**Key words:** sertanejo biodigester; biogas; economic viability.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biodigestor modelo canadense .....	17
Figura 2 - Biodigestor modelo indiano .....	17
Figura 3 - Biodigestor modelo chinês .....	18
Figura 4 - Biodigestor modelo sertanejo.....	19
Figura 5 - Localização do município de Pombal - PB.....	26
Figura 6 - Área de implantação do projeto na Agroindústria Bolo das Oliveiras.....	27
Figura 7 - Agroindústria Bolo das Oliveiras .....	28
Figura 8 - Corte longitudinal do biodigestor modelo sertanejo implantado na agroindústria.....	29
Figura 9 - Sistema de purificação de biogás. A) Solução química; B) Filtro de H <sub>2</sub> S; C) Coluna de água; D) Compressor de gás .....	30
Figura 10 - Kit desenvolvido por Kunz e Sulzbach (2007).....	31
Figura 11 - Variação dos valores de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> nos dias de coleta .....	36
Figura 12 - Comportamento das variáveis H <sub>2</sub> S e NH <sub>3</sub> , em ppMV .....	37
Figura 13 - Cor da chama produzida pela queima do biogás .....	38

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Parâmetros físicos referentes ao biodigestor sertanejo .....	32
Tabela 2 - Parâmetros químicos referentes ao biodigestor .....	34
Tabela 3 - Índice de produção de biogás .....	38
Tabela 4 - Quantificação do biogás obtido durante a pesquisa.....	40

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

% - Porcentagem

°C – Graus Celsius.

A – Afluente.

AC – Alcalinidade Total.

C – Carbono

CCTA – Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar

CE – Condutividade Elétrica.

CH<sub>4</sub> – Gás Metano.

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono.

E1 – Efluente 1.

E2 – Efluente 2.

E3 – Efluente 3.

E4 – Efluente 4.

E5 – Efluente 5.

g – Grama

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo.

*GPS – Global Positioning System.*

H – Hidrogênio

H<sub>2</sub>S – Gás Sulfídrico.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

K – Kelvin

Kg – Quilograma.

Km – Quilômetro.

KWh/m<sup>3</sup> – Quilowatts hora por metro cúbico.

L - Litro

m – Metro

m<sup>3</sup> – Metro Cúbico.

mg/L – Miligrama por Litro.

mS/cm – Milisemens por Centímetro.

N – Nitrogênio

n – Número de mols.

NaOH – Hidróxido de Sódio

NH<sub>3</sub> – Gás Amônia.

O – Oxigênio

OD – Oxigênio Dissolvido.

P – 13 – Botijão de gás GLP 13 quilogramas.

pH – Potencial Hidrogeniônico.

ppMV – Partes Por Milhão em Volume.

SF – Sólidos Fixos.

ST – Sólidos Totais.

SV – Sólidos Voláteis.

TRH – Tempo de Retenção Hidráulica.

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande.

UTM – Sistema Universal Transversa de Mercator.

Lb/in<sup>2</sup> = Libras por polegada quadrada.

## SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO.....	13
2.	OBJETIVOS.....	15
2.1	GERAL .....	15
2.2	ESPECÍFICOS.....	15
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
3.1	BIODIGESTORES ANAERÓBICOS.....	16
3.2	RESÍDUOS.....	19
3.3	BIODIGESTÃO ANAERÓBICA.....	20
3.3.1	Fases Microbiológicas do Processo de Biodigestão.....	21
3.3.1.1	Fatores que influenciam no processo de biodegradação anaeróbica.....	21
3.4	BIOGÁS.....	24
3.5	BIOFERTILIZANTE .....	25
4.	MATERIAIS E MÉTODOS .....	26
4.1	LOCAL DO EXPERIMENTO .....	26
4.2	AGROINDÚSTRIA BOLO DAS OLIVEIRAS.....	27
4.3	CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO .....	28
4.4	TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO.....	30
4.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	31
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	32
5.1	ANÁLISES FÍSICAS .....	32
5.2	ANÁLISES QUÍMICAS .....	34
5.3	BIOGÁS OBTIDO NO BIODIGESTOR SERTANEJO.....	35
5.3.1	Qualificação.....	35
5.3.2	Quantificação.....	38
6.	CONCLUSÃO .....	42
	REFERÊNCIAS.....	43

## 1. INTRODUÇÃO

A preocupação com o meio ambiente nas últimas décadas tem produzido muitas discussões entre cientistas e pesquisadores, promovendo considerável alteração no funcionamento de organizações, modificando formas de gestão e a própria administração das empresas de pequeno, médio e grande porte (BARICHELLO, 2010).

A agropecuária brasileira é considerada uma das atividades econômicas que ocupa grandes espaços territoriais, e alavanca o Produto Interno Bruto (PIB) (SCHLESINGER, 2010). No entanto, assume pontos negativos, a exemplo das questões ambientais, em virtude das altas cargas de matéria orgânica de dejetos oriundos da criação de animais, tais como da suinocultura, bovinocultura entre outros (SOUZA, 2010).

O estado do Paraíba se divide em dois grandes e importantes eixos – no que tange a agropecuária, sendo eles: a produção de carne e leite. Segundo o Ministério da Agricultura, Pecuária e de Abastecimento, a população de bovinos na Paraíba em 2017 era 1.254.147 cabeças de gado, o que representa um aumento de 1,6% do rebanho quando comparado ao ano de 2016 (BRASIL, 2018).

A pecuária de grande porte que predomina no estado da Paraíba é a bovinocultura, sendo a atividade agropecuária mais representativa, com um rebanho estimado em 90% do total, estando grande parte desse percentual concentrado na microrregião de Sousa – PB (SOUZA NETO et al., 2016). Ainda, segundo dados de Brasil (2018), o estado continuou a ter o sexto maior rebanho bovino do Nordeste, aumentando o seu percentual representativo nacional em 0,009%.

Com o aumento da atividade agropecuária, faz-se necessário a adoção de alternativas ambientais para reduzir a quantidade de matéria orgânica no meio ambiente, e conseqüentemente, o lançamento de gases poluentes na atmosfera. Segundo Souza Neto et al. (2016), tais materiais provenientes da pecuária, da agricultura e de atividades agroindustriais apresentam elevada concentração de matéria orgânica (C, H, N, O), o que lhes confere um grande potencial para a geração de energia térmica e elétrica.

A implantação de sistemas de geração de energia a partir do biogás proveniente da decomposição da matéria orgânica é essencial para a redução dos custos unitários mensais em propriedades rurais ou em agroindústrias (HORNUNG,

2014). Tendo em vista, a utilização de tecnologias de baixo custo, o investimento poderá gerar resultados aos referidos empreendimentos com aumento do valor do patrimônio por meio da geração de lucro líquido proveniente da melhoria no processo de produção (LIANHUA et al., 2010).

É o caso da agroindústria Bolo das Oliveiras, onde a implantação de um biodigestor sertanejo se fez necessário devido ao consumo elevado de gás GLP, perfazendo 14 botijões de gás de cozinha (P – 13) por mês para atender a demanda da padaria, gerando maiores custos de produção ao empreendimento, segundo os representantes. E, sabendo que a própria comunidade possui criação de bovinos, e esta gera resíduos sólidos suficientes para alimentar o biodigestor, optaram por trabalhar o custo benefício na agroindústria da comunidade.

Para tanto, esse trabalho buscou avaliar o potencial da cogeração de energia térmica advindo do biodigestor sertanejo implantado na agroindústria Bolo das Oliveiras/PB, sendo o mesmo destinado à utilização de forma direta em fornos adaptados para o funcionamento com gás metano.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 GERAL**

Avaliar o potencial energético do biogás na cogeração de energia térmica a ser utilizada na Agroindústria Bolo das Oliveiras, PB.

### **2.2 ESPECÍFICOS**

- Investigar a eficiência do processo da biodigestão anaeróbia através do substrato bovino encontrado na comunidade rural Várzea Comprida dos Oliveiras localizada no Sertão da Paraíba;
- Mensurar a produção e qualidade do biogás obtido no processo de biodigestão anaeróbia;
- Avaliar a eficácia do processo a partir dos parâmetros, produção versus consumo do biogás, nas atividades da Agroindústria Bolo das Oliveiras, PB;
- Investigar a viabilidade econômica do projeto.

### **3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 BIODIGESTORES ANAERÓBICOS**

Os biodigestores são equipamentos utilizados para promover a digestão anaeróbica e o aprisionamento do biogás, os quais apresentam um compartimento isolado que não permite a presença de oxigênio no seu interior (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2011). Os mesmos surgem como uma alternativa para pequenos, médios e grandes produtores rurais, assim como para agroindústrias que necessitam de uma grande quantidade de lenha e/ou gás GLP (ALBUQUERQUE; ARAÚJO, 2016). Atrelado à necessidade de obtenção de uma fonte de energia renovável, barata, abundante e que atenda a demanda energética de empreendimentos rurais, com viabilidade econômica, ambiental e social (CALDEREIRO, 2015).

Essa técnica tem sido utilizada e implantada principalmente devido ao interesse econômico, associado à redução de custos com a compra do gás de cozinha, uma das alternativas que é utilizada para a substituição da lenha em fogões/fornos, a qual proporciona impactos ao meio ambiente (SCHWINGEL et al., 2016).

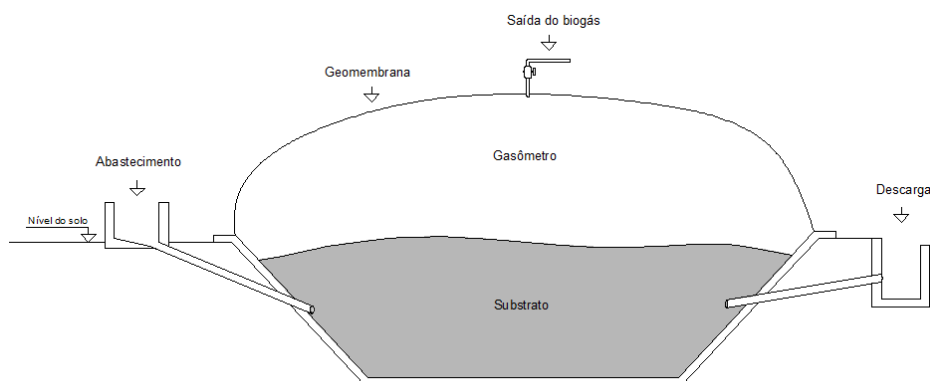
Segundo Abassi, Tauseef e Abassi (2012), os biodigestores produzem biogás e biofertilizante, em quantidade muitas vezes superior a necessidade da propriedade ou da agroindústria, garantindo uma gestão ambientalmente adequada e economicamente lucrativa em pouco tempo de operação. Reduzindo os custos de todo o processo produtivo e contribuindo para a sustentabilidade e desenvolvimento socioeconômico local. De acordo com Dongala (2010), os modelos mais difundidos e conhecidos são o canadense, indiano e o chinês. Além desses há o modelo sertanejo bastante implantado no nordeste brasileiro.

##### **a) Biodigestor Canadense**

O biodigestor canadense (Figura 1) é o mais difundido no território brasileiro (OLIVEIRA, 2012). Tal fato ocorre devido o mesmo ser fabricado em manta de PVC flexível sendo de fácil instalação e apresentando alta durabilidade, mesmo em regiões com temperaturas elevadas durante todo o ano (ORRICO, 2015). Isso corrobora para que seja adotado por pequenas, médias e grandes propriedades

rurais em todo território nacional. Contudo, Oliveira (2009) recomenda a instalação abaixo do nível do solo, para evitar mudanças bruscas de temperatura, o que pode vir a comprometer o processo de biodigestão.

**Figura 1** – Biodigestor modelo canadense

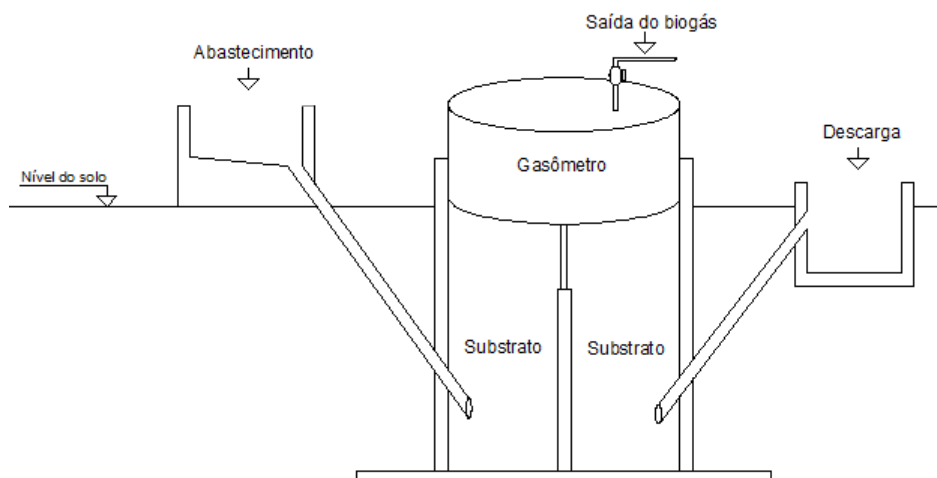


Fonte: Adaptado de Nogueira, 2016.

## **b) Biodigestor Indiano**

O biodigestor indiano (Figura 2) é formado por um tanque de digestão no qual existe uma barreira que o divide ao meio, responsável por promover a circulação da biomassa no interior do tanque, e por um gasômetro flutuante, o qual se movimentava verticalmente quando a geração do biogás é superior ao seu consumo (ALBUQUERQUE; ARAÚJO, 2016). Essa campânula, pode se apresentar mergulhada sobre a biomassa ou em um selo de água, o qual não tem nenhum contato com o material em fermentação, estando separados por uma segunda estrutura de alvenaria (SALES, 2017).

**Figura 2 – Biodigestor modelo indiano**

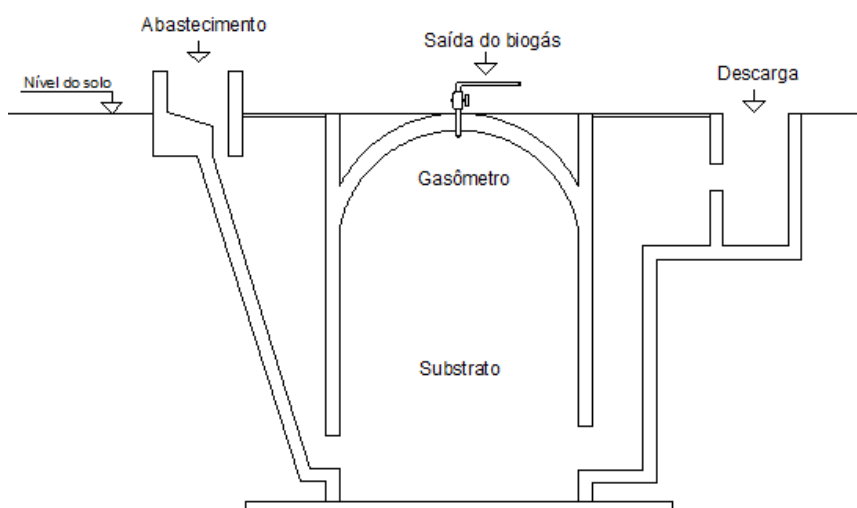


Fonte: Adaptado de Barichello, 2010.

### c) Biodigestor Chinês

O biogestor Chinês (Figura 3) apresenta como característica principal ser totalmente construído em alvenaria, o que significa dizer que não é formado por estruturas móveis, e, pode ser construído parcial ou totalmente abaixo do nível do solo (FRIGO et al., 2015). Porém, devido ao fato do biodigestor chinês ser construído nessas condições, faz-se necessário ter alguns cuidados técnicos durante a sua construção, isso porque ao ser submetido a elevadas pressões pode gerar transtornos, como rachaduras e vazamento do biogás (OLIVEIRA, 2009).

**Figura 3 – Biodigestor modelo chinês**

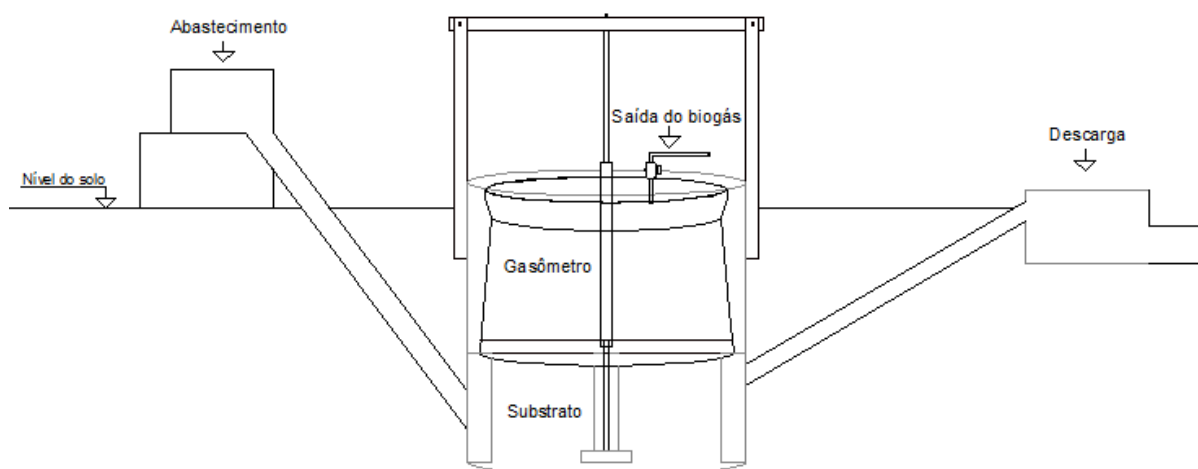


Fonte: Adaptado de Sales, 2017.

#### d) Biodigestor Sertanejo

O biodigestor modelo sertanejo (Figura 4) segue a mesma estrutura do modelo indiano. E, segue adaptado para as condições de pequenas cidades do interior do Brasil, onde em quase todas elas é possível encontrar os materiais necessários para a sua construção (MATTOS; JÚNIOR, 2011).

**Figura 4** – Biodigestor modelo sertanejo



Fonte: Adaptado de Mattos e Júnior, 2011.

### 3.2 RESÍDUOS

A biomassa tem como característica ser uma fonte de energia, que se apresenta de forma diversificada e em abundância no Brasil e no mundo (HOLM-NIELSEN; AL SEADI; OLESKOWICZ-POPIEL, 2009). Sendo considerada como fonte de energia renovável, utilizada para geração de energia térmica, elétrica e mecânica. Além de também ser utilizada como fonte de adubo na agricultura (SUNADA et al., 2014).

As principais fontes orgânicas que são utilizadas como matéria prima no processo de biodigestão para se obter biogás/biofertilizante são resíduos provenientes principalmente de atividades agropecuárias, como a bovinocultura e a suinocultura (HORNUNG, 2014). Estes resíduos são descartados de forma inadequada e sem nenhum tipo de tratamento primário pelos produtores rurais, o

que corrobora de maneira decisiva para poluição/contaminação do ar, do solo e dos corpos hídricos (SCHIRMER et al., 2016).

### 3.3 BIODIGESTÃO ANAERÓBICA

O processo da biodigestão anaeróbia é considerado uma técnica milenar, utilizado por alguns povos como os assírios e os persas nos séculos X e XVI, respectivamente (MUELLER, 2007). Com o aprimoramento dos estudos relacionados à geração do biogás, as técnicas e equipamentos foram aperfeiçoados, a exemplo da utilização de reatores fechados, controle da temperatura e equipamentos específicos para a mistura da biomassa, buscando-se maior eficiência, e substituindo dessa forma as lagoas anaeróbias que eram utilizadas (YENIGUN; DEMIREL, 2013).

A biodigestão anaeróbica é uma tecnologia que depende de microrganismos anaeróbios, para que o processo de geração do biogás possa ocorrer com eficiência e em quantidade suficiente para a sua utilização energética (SOUZA NETO et al., 2016). Tal processo se dá por meio de reações químicas e bioquímicas que são capazes de transformar compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, sendo os seus principais constituintes químicos o gás metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) e o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) (LIANHUA et. al., 2010).

Os reatores anaeróbios seguem um sistema operacional similar ao conduzido de forma natural no trato digestivo dos animais e na decomposição de resíduos orgânicos na natureza (ABASSI; TAUSEEF; ABASSI, 2012). Sendo necessária a utilização de microrganismos, que serão responsáveis pela realização do processo em ambiente fechado, com temperatura adequada, pH controlado e umidade ideal para a geração do biogás e conseqüentemente, uma completa digestão da biomassa (HORNUNG, 2014).

Tal técnica torna-se bastante vistosa, porque agrega valor econômico a propriedade na qual se encontra inserida, além do que todos os produtos obtidos do processo também geram lucros financeiros (LEITE et al., 2015). Entre esses processos se destacam a geração de energia térmica e/ou elétrica, eliminação de patógenos presentes na matéria orgânica, diminuição da quantidade de gases do efeito estufa que deixam de ser lançadas na atmosfera, geração de créditos

equivalentes de carbono, e a obtenção de um composto rico em micro e macronutrientes que pode ser utilizado na agricultura (NGES; LIU, 2010).

### **3.3.1 Fases Microbiológicas do Processo de Biodigestão**

A conversão da matéria orgânica em biogás se processa em quatro fases distintas e fundamentais, a saber: hidrólise, acidogênese, acetogênese e à metanogênese (NOGUEIRA, 2016). Cada fase gera produtos específicos e únicos, os quais serão utilizados nas fases subsequentes do processo de biodegradação dos compostos orgânicos e, conseqüentemente, produção do biogás (SILVA; RABELO; BOLLMANN, 2008).

Os microrganismos que são os responsáveis pela manutenção de cada fase do processo de digestão são específicos, tais microrganismos utilizam enzimas intracelulares ou extracelulares para conseguirem quebrar os compostos presentes na matéria orgânica (NGES; LIU, 2010). Desta forma, os produtos gerados em cada fase do processo contribuem como impulsionadores para os grupos microbianos das fases seguintes, portanto, para que a fase seguinte se processe, é necessário que a fase anterior tenha sido realizada (SOUZA NETO et al., 2016).

Vale salientar a importância das bactérias no processo, onde a existência de certas substâncias provoca a inibição ou diminuição dos grupos em qualquer fase, podendo ter conseqüências sobre a taxa global e a eficiência do processo metabólico da biodigestão (HORNUNG, 2014).

#### **3.3.1.1 Fatores que influenciam no processo de biodegradação anaeróbica**

A biodigestão anaeróbica é bastante exigente e, portanto, necessita do controle de alguns parâmetros físicos e químicos do meio, para que haja um melhor aproveitamento do sistema. Logo, os parâmetros que devem ser analisados e corrigidos quando necessários são: temperatura, pH, nutrientes e umidade (CHERNICHARO, 2007; ORZI et al., 2015).

### **a) Temperatura**

A temperatura é um parâmetro relevante, em virtude de se apresentar no interior do biodigestor em três faixas distintas, a saber: psicrófila com uma temperatura que varia entre 15 e 20 °C, mesófila que se caracteriza por ocorrer com maior eficiência entre 35 e 40 °C e termófila, que se processa próximo aos 55 e 60°C (NGES; LIU, 2010).

A faixa de temperatura termófila quando comparada com as demais apresenta maior valor de estabilização do composto orgânico, contudo, vale ressaltar que a mesma pode apresentar comportamento oscilante ao longo do tempo. Tal fato se processa devido à população microbiana ser mais sensível a mudanças bruscas de temperatura do ambiente (MARIO et al., 2014).

O que ocorre em menor proporção na faixa mesófila, onde os microrganismos são considerados mais tolerantes a mudança de temperatura, apresentando também maior crescimento microbiano quando comparado às demais e uma taxa de degradação da matéria orgânica entre 25 e 50% (LEITE et al., 2015). Contribuindo assim, para que esta seja considerada a faixa de temperatura mais segura no processo de biodigestão (GOMES; FEIJÓ; CHIARI, 2017).

### **b) pH**

O pH é um parâmetro que deve ser controlado quando necessário por meio de substâncias específicas e apropriadas para o processo de biodigestão anaeróbia. A faixa de pH considerada ótima para o processo é entre 6,5 e 7,5 sendo a mesma considerada um ponto de equilíbrio entre as fases acidogênica e a metanogênica, isso porque a população microbiana responsável pela acidogênese é bastante frágil ao pH baixo (CHERNICHARO, 2007).

Desta forma, valores muito baixos de pH, apresentam a possibilidade de paralisação do processo de biodigestão devido a fermentação ácida na fase metanogênica (CALDEREIRO, 2015).

Sendo assim, vale ressaltar a importância de alguns procedimentos que podem ser utilizados para controlar o pH do meio, a exemplo da adição de agentes alcalinos externos, que será o responsável por corrigir o pH baixo do sistema, permitindo a continuação do processo anaeróbio. Dentre as substâncias externas



que podem ser utilizadas para a correção do pH do sistema, destacam-se: carbonato de sódio, bicarbonato de sódio, hidróxido de sódio e bicarbonato de amônia (NOGUEIRA, 2016).

### **c) Nutrientes**

Para que o processo de biodigestão anaeróbia ocorra, é imprescindível à existência de macro e micro nutrientes como o Nitrogênio (N), Fósforo (P), Magnésio (Mg), Ferro (Fe) e o Cobalto (Co) (NOGUEIRA, 2016). Assim como também, nutrientes orgânicos como as vitaminas e aminoácidos em quantidade satisfatória para manter os microrganismos que são essenciais para o perfeito funcionamento do sistema de digestão e geração do metano (SOUZA NETO et al., 2016).

No processo anaeróbico, não há necessidade de introduzir nutrientes visto que o crescimento microbiano não é acentuado, e o que existe é sempre a adição de uma nova carga de biomassa no sistema, suprimindo a demanda do meio microbiano (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2011).

### **d) Umidade**

A alta concentração de sólidos no sistema de biodigestão é muito importante para a eficiência do processo de produção do biogás e estabilização da matéria orgânica. Quando o teor de umidade é elevado pode ocorrer à diminuição do processo de degradação e, conseqüentemente, redução da produção do biogás (ABASSI; TAUSEEF; ABASSI, 2012).

Assim sendo, recomenda-se que a biomassa fresca ao ser introduzida no reator anaeróbico tenha em torno 83,3% de umidade (ARAÚJO, 2017). Caso essa concentração de água presente nos dejetos seja superior, o processo de produção do biogás e a estabilização do biofertilizante estarão comprometidos (ALBUQUERQUE; ARAÚJO, 2016).

### 3.4 BIOGÁS

A mistura gasosa que é obtida do processo de decomposição de compostos orgânicos a partir de microrganismos é chamada de biogás. Sendo o mesmo constituído por vários gases, sendo os mais comuns e em maiores proporções o metano ( $\text{CH}_4$ ), seguido do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e gás amônia ( $\text{NH}_3$ ) (CHERNICHARO, 2007; HORNUNG, 2014). Tais compostos orgânicos que são utilizados para a obtenção do biogás são encontrados no ambiente e em diversas formas, a exemplo do esterco animal, resíduos sólidos urbanos e rural, resíduos de estações de tratamento de esgoto, resíduos agroindustriais, restos de alimentos entre outros (ABASSI; TAUSEEF; ABASSI, 2012; SOUZA NETO et al., 2016; KONZEN; ALVARENGA, 2018).

O biogás obtido do processo de degradação anaeróbia pode e deve ser utilizado como fonte energética térmica e/ou elétrica (SALES, 2017). De acordo com Nogueira (2016) e Sales (2017), quando a concentração do metano no biogás estiver entre 50 e 80%, tal bioenergia possui poder calorífico entre 4,95 e 7,92 kWh.  $\text{m}^{-3}$ . Essa capacidade é devida as características do metano, o qual em estado puro e em condições de pressão e temperatura normais pode ter diversas utilidades como fonte alternativa de energia (SOUZA MARIO et al., 2015).

A biodigestão tem por finalidade a obtenção do biogás e do biofertilizante, sendo tal desempenho acompanhado pela quantidade e qualidade do biogás, bem como pelo biofertilizante obtido no processo (ORZI et al., 2015). Para que tal desempenho seja obtido, faz-se necessário o acompanhamento e caracterização da biomassa utilizada no abastecimento e do biofertilizante resultante do processo de digestão (HORNUNG, 2014).

Quando comparado às demais fontes de energia o biogás apresenta características físicas e químicas diferenciadas, devido ser considerado um combustível limpo quando comparado aos hidrocarbonetos, além de ser obtido a partir de um processo natural e com pouca tecnologia agregada (SILVA et al., 2016). Sendo visto como uma das soluções para comunidades rurais que sofrem com a falta de energia elétrica, além de trazer renda, economia e agregar valor econômico para propriedades rurais (NGES; LIU, 2010).

Outro exemplo quanto à relevância dessa tecnologia é a introdução do biogás na matriz energética, por alguns países europeus, em especial a Alemanha, que já conseguiu substituir boa parte de sua matriz não-renovável por renovável onde 30% da energia gerada em território alemão são de fontes limpas, sendo que desse percentual, 7,7% é oriundo de biomassa (ORZI et al., 2015).

### 3.5 BIOFERTILIZANTE

A biomassa após sofrer o processo de fermentação, se apresenta em forma líquida, com elevada concentração de material orgânico, fundamental para o processo de fertilização do solo (SCHWINGEL et al., 2016). Ao ser utilizado diretamente no solo, o biofertilizante proporciona a melhoria das suas características físicas, químicas e biológicas (SUNADA et al., 2014).

Barichello (2010) ressalta ainda, que na digestão anaeróbia os compostos orgânicos perdem exclusivamente carbono sob a forma de  $\text{CH}_4$  e  $\text{CO}_2$ , contribuindo para o aumento de nitrogênio e outros nutrientes importantes para a agricultura (KONZEN; ALVARENGA 2018). Esse composto, diferentemente dos demais produtos químicos utilizados na produção agrícola convencional, proporciona uma alteração positiva nas características do solo, facilitando o seu manejo e aumentando significativamente a produção por unidade de área (SOUZA MARIO et al., 2015).

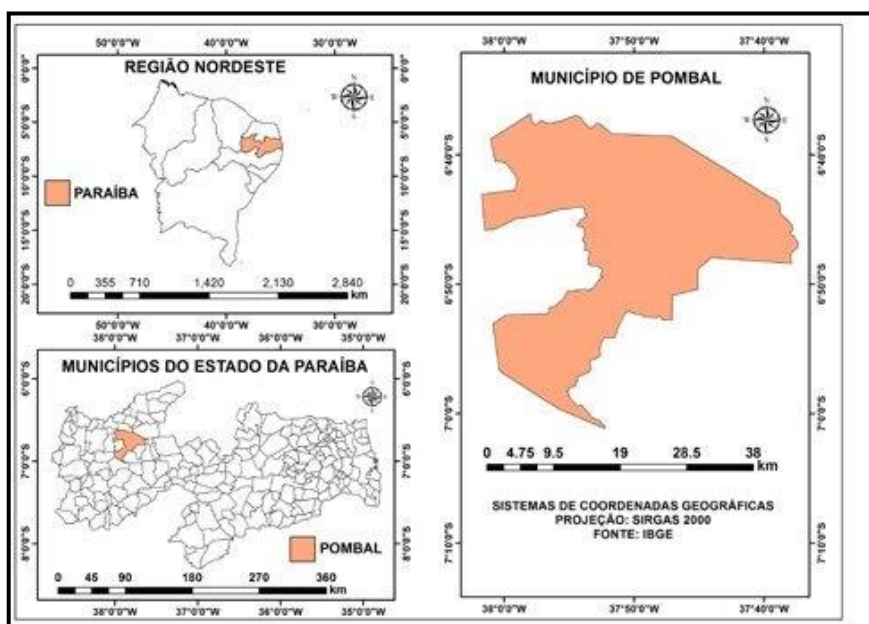
O biofertilizante pode ser utilizado para o cultivo orgânico, na pulverização da superfície foliar e ou junto com a água de irrigação (CALDEREIRO, 2015). Fornecendo macro e micronutrientes vitais para o desenvolvimento agrícola, revitalização de solos e contribuindo no controle de pragas, proporcionando uma resposta economicamente mais barata e ambientalmente adequada (ORRICO et al., 2015).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DO EXPERIMENTO

O município de Pombal está localizado no estado da Paraíba (Figura 5) e possui uma área de 889 km<sup>2</sup>. De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a população estimada para o ano de 2018 é de 32.749 habitantes (IBGE, 2018). Caracteriza-se por ter uma economia que depende do setor agrícola, assim como também do comércio local e de algumas fábricas e agroindústrias instaladas na cidade.

**Figura 5** – Localização do município de Pombal - PB



Fonte: Crispim, 2017.

A pesquisa foi desenvolvida na comunidade rural Várzea Comprida dos Oliveiras, a qual se encontra a 9,81 Km da Universidade Federal de Campina Grande – *Campus* Pombal. Nessa comunidade foi inserido um biodigestor modelo sertanejo na Agroindústria Bolo das Oliveiras em maio de 2018 e seu monitoramento ocorreu entre 28 de maio e 09 de setembro de 2018, totalizando 105 dias. Essa investigação se deu em meio às condições climáticas da região, que de acordo com Pereira et al. (2015), caracteriza-se como sendo de clima semiárido quente e seco, com precipitação média anual de 749,00 mm.

As coordenadas geográficas do local de realização do experimento são dadas em UTM (Sistema Universal Transversa de Mercator), baseadas em coordenadas plano-retangulares: Longitude 625653.00 m Leste e Latitude 9252998.00 m Sul (Figura 6). Estas coordenadas foram obtidas a partir de um dispositivo móvel de navegação via satélite, um GPS (*Global Positioning System*) Garmin Map 64S.

**Figura 6** – Área de implantação do projeto na Agroindústria Bolo das Oliveiras



Fonte: Google Earth Pro, 2018.

## 4.2 AGROINDÚSTRIA BOLO DAS OLIVEIRAS

A agroindústria Bolo das Oliveiras (Figura 7), segundo informações da responsável pelas finanças do empreendimento, utiliza 14 botijões de gás de cozinha por mês na fabricação de pães e bolos. Produtos esses que são comercializados na própria comunidade, em feiras livres na cidade de Pombal - PB e que são fornecidos também para algumas escolas do município por meio de contrato.

**Figura 7** – Agroindústria Bolo das Oliveiras

Fonte: Própria, 2018

Diante desta realidade, o biodigestor sertanejo surge como uma alternativa para a agroindústria Bolo das Oliveiras devido a uma necessidade eminente de redução de custos no empreendimento, associado à disponibilidade em grande quantidade de matéria orgânica de origem bovina, na própria comunidade rural. Desta forma os estudos de viabilidade de implantação do biodigestor na agroindústria para a geração de energia térmica se mostraram satisfatórios.

Assim, na comunidade foi implantado um módulo de biodigestor sertanejo com um volume de  $14,8 \text{ m}^3$ , o qual necessita de uma carga diária de  $0,44 \text{ m}^3$  de biomassa para que seja gerado o equivalente energético a 7,3 botijões de gás de cozinha por mês. Produção essa que perfaz uma economia de mais de 50% com a compra do gás GLP para o empreendimento.

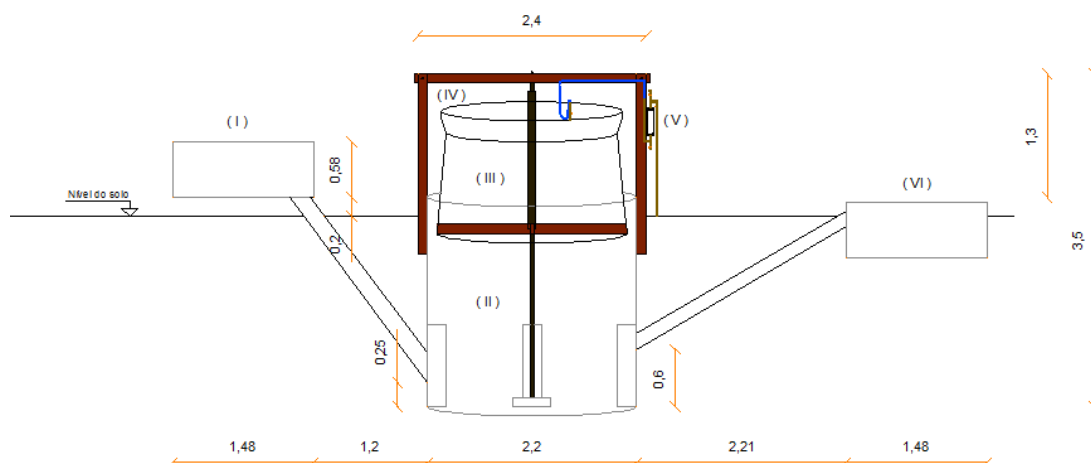
A utilização de fontes alternativas e renováveis de energia, emergi como uma alternativa socioeconômica e ambientalmente adequada, possibilitando reduzir custos associados ao processo produtivo e aumentar a produtividade.

### 4.3 CONDUÇÃO DO EXPERIMENTO

O biodigestor modelo sertanejo (Figura 8), implantado na Agroindústria Bolo das Oliveiras é composto por uma caixa de alimentação (I) de  $0,25 \text{ m}^3$ , um fermentador (II) com capacidade de  $14,8 \text{ m}^3$ , um gasômetro (III) de  $5 \text{ m}^3$ , um

adaptador de pressão (IV), filtro primário de água (V) e um tanque de saída (VI) de 0,38 m<sup>3</sup>.

**Figura 8** - Corte longitudinal do biodigestor modelo sertanejo implantado na agroindústria



Fonte: Própria, 2018

O referido biodigestor foi alimentado com aproximadamente 100 kg de excrementos bovinos, diariamente (quantidade esta obtida na própria comunidade rural). O Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) adotado foi de aproximadamente 45 dias, tendo em vista que o volume do biodigestor é de 14,8 m<sup>3</sup>. Neste caso, a alimentação do biodigestor ocorreu de forma contínua com uma carga diária de 0,3 m<sup>3</sup> de biomassa. A diluição adotada devido a critérios hidráulicos do biodigestor foi de 2:1 (dois litros de água para cada quilograma de esterco bovino).

Ao completar o Tempo de Retenção Hidráulica (TRH) de 45 dias, as coletas do afluente e do efluente foram realizadas a cada 15 dias, até totalizar 105 dias de investigação. A primeira coleta do composto orgânico executada na caixa de alimentação e a resultante do processo de biodigestão, feita na caixa de descarga, ocorreu no 45º dia de abastecimento do biodigestor (1ª coleta), e as demais ocorreram no 60º dia (2ª coleta), 75º dia (3ª coleta), 90º dia (4ª coleta) e no 105º dia (5ª coleta).

Além do biodigestor, o projeto dispunha de uma unidade de purificação de biogás (Figura 9), sendo que a mesma se divide em três colunas de tratamento.

**Figura 9** - Sistema de purificação de biogás. A) Solução química; B) Filtro de H<sub>2</sub>S; C) Coluna de água; D) Compressor de gás



Fonte: Própria, 2018

A primeira coluna (a) contém hidróxido de sódio (NaOH) que tem por finalidade remover o dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>); a segunda coluna (b) apresenta-se empacotada internamente com limalha de ferro finamente dividida, projetada para a remoção do gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) presente na mistura de gases que compõem o biogás; e a terceira coluna (c) contendo água proveniente de um poço artesiano local. Esta última (d) também pode ser empregada para remoção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), sulfeto de hidrogênio (H<sub>2</sub>S) e outros gases, além de funcionar como um selo de segurança, evitando o refluxo da chama até o biodigestor.

O sistema apresenta ainda um compressor para que o gás produzido seja conduzido até o forno adaptado para o funcionamento com biogás (38 m de linha), o qual funcionou a uma pressão de cerca de 110 Lbf/in<sup>2</sup>.

#### 4.4 TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO

As análises físicas e químicas dos substratos foram realizadas nos Laboratórios de Resíduos Sólidos e de Química Analítica, ambos pertencentes ao Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar (CCTA) da Universidade Federal de



Campina Grande (UFCG), *Campus Pombal*, Paraíba. Enquanto que, a mensuração do biogás foi realizada *in loco* no ato da coleta.

As caracterizações físicas e químicas dos substratos seguiram os métodos padrões determinados pelo *Standards Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999). Os parâmetros analisados foram sólidos totais (mg/L), sólidos fixos (mg/L), sólidos voláteis (mg/L), alcalinidade total (mg/L de  $\text{HCO}_3$ ), condutividade elétrica (mS/cm), oxigênio dissolvido (mg/L) e pH.

A quantificação do biogás foi estimada através da lei dos gases  $PV = nRT$ . Enquanto que, a qualidade do biogás foi verificada através do kit desenvolvido por Kunz e Sulzbach (2007) pesquisadores da EMBRAPA Suínos e Aves, (Figura 10). Este kit permitiu analisar de forma simples e rápida a composição dos gases do biogás, tais como Amônia, Gás sulfídrico, Gás carbônico e Metano.

**Figura 10** - Kit desenvolvido por Kunz e Sulzbach (2007)



Fonte: EMBRAPA, 2007

#### 4.5 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

A avaliação estatística dos resultados físicos e químicos do biofertilizante e do biogás foi realizada por meio do Programa Computacional Sisvar, versão 5.4 (Build 80), utilizando o teste de comparação de média Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O biodigestor sertanejo implantado na agroindústria, com 14,8 m<sup>3</sup> de volume foi abastecido com excrementos bovinos provenientes das propriedades pertencentes aos membros da associação que gerenciam o empreendimento rural.

A prospecção de geração de biogás baseado na quantidade de matéria orgânica disponível na região mostrou ser possível que houvesse uma redução de mais de 50 % do consumo de gás GLP na padaria. Gerando uma economia significativa e, conseqüentemente, menor dependência de fontes de energia proveniente de combustíveis fósseis. Além da contribuição ambiental associada a tal projeto, isso porque de acordo com CDM (2018), o CH<sub>4</sub> apresenta um potencial de aquecimento global 28 vezes maior que o CO<sub>2</sub>, gás esse resultante do processo de combustão do metano.

### 5.1 ANÁLISES FÍSICAS

Na Tabela 1, são apresentadas as concentrações de sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF), sólidos voláteis (SV) e condutividade elétrica (CE) do afluente (A) e dos efluentes (E1, E2, E3, E4 e E5).

**Tabela 1** - Parâmetros físicos referentes ao biodigestor sertanejo

Amostras	Parâmetros Físicos			
	ST	SF	SV	CE
A	3540,13 ± 0,039 c	14,41 ± 0,012 d	3525,72 ± 0,004 c	3,60 ± 0,261 d
E1	3265,00 ± 0,022 f	6,96 ± 0,023 f	3258,04 ± 0,001 f	4,01 ± 0,042 a
E2	3407,17 ± 0,023 d	7,98 ± 0,023 e	3399,19 ± 0,007 d	3,95 ± 0,096 b
E3	3281,36 ± 0,036 e	18,63 ± 0,048 a	3262,73 ± 0,015 e	3,28 ± 0,109 f
E4	6778,70 ± 0,045 a	18,22 ± 0,044 b	6760,47 ± 0,004 a	3,63 ± 0,058 c
E5	6238,37 ± 0,065 b	17,55 ± 0,071 c	6220,83 ± 0,015 b	3,49 ± 0,081 e

Sólidos Totais (ST); Sólidos Fixos (SF); Sólidos Voláteis (SV); Condutividade Elétrica (CE). Os resultados estão expressos em médias ± desvio padrão. As letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

A concentração de sólidos totais se mostrou superior no afluente quando comparado aos efluentes E1, E2 e E3, e inferior quando comparado ao E4 e E5 estatisticamente ( $P < 0,05$ ). Souza Neto et al. (2016) em um estudo semelhante utilizando dois biodigestores de batelada, alimentados com diferentes proporções de esterco bovino e resíduos de alimentos, também se deparou com uma razoável alternância nas concentrações de ST em seu estudo. Este associou a variância nas concentrações de ST com a proporção de resíduos alimentares adicionados ao esterco bovino.

Já os sólidos fixos presentes nos efluentes E3, E4 e E5 se mostraram superiores ao afluente, com uma concentração de 18,63, 18,22 e 17,55 mg/L respectivamente. Sendo que o afluente obteve maior concentração de sólidos fixos quando comparado ao E1 e E2 estatisticamente ( $P < 0,05$ ).

Para os sólidos voláteis, a concentração no afluente (A), estatisticamente ( $P < 0,05$ ), assume valor superior aos dos efluentes E1, E2 e E3. Contudo, a concentração de sólidos voláteis nos efluentes E4 e E5 foi superior ao encontrado no afluente, quando comparados pelo teste de Tukey ao nível de 5%. Tais resultados encontrados podem estar relacionados tanto à composição do substrato (nível de nutrientes e a diluição entre a biomassa/ água), quanto ao tempo de retenção hidráulica (TRH) adotado nesse processo de biodigestão anaeróbia, promovendo a incompleta biodegradação da matéria orgânica.

Segundo Rodrigues (2005), este processo pode ocorrer principalmente devido à falta de agitação no tanque de digestão, fazendo com que ocorra a formação de zonas onde a matéria orgânica é completamente degradada e zonas onde a matéria orgânica não é completamente degradada.

Os valores de condutividade elétrica observados nos efluentes se mantiveram inferiores quando comparados ao afluente, exceto nas amostras E1, E2 e E4. Sendo que o efluente com a menor concentração de sais foi E3, com 3,28 mS/cm, e o que apresentou a maior concentração foi o efluente E1, com 4,01 mS/cm. No entanto, todos diferiram estatisticamente ( $P < 0,05$ ) entre si.

Os valores elevados da condutividade elétrica podem estar associados ao tipo de água utilizada na diluição do esterco bovino, antes de ser inserida no biodigestor. Para esse processo, se utilizou água proveniente de um sistema de tratamento de efluentes simples, instalado na própria agroindústria e a água de um poço artesiano local.

De acordo com Sales (2017), a condutividade elétrica indica a concentração de sais contidos no composto orgânico, o que poderá causar prejuízos ao solo e a agricultura que utiliza o biofertilizante proveniente do processo de digestão.

A análise estatística feita com os valores de condutividade elétrica mostra que todos os valores diferem significativamente entre si, quando submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

## 5.2 ANÁLISES QUÍMICAS

Na Tabela 2, são apresentados os valores de oxigênio dissolvido (OD), potencial hidrogeniônico (pH) e alcalinidade total (AT) do afluente (A) e dos efluentes (E1, E2, E3, E4 e E5).

**Tabela 2** - Parâmetros químicos referentes ao biodigestor

Amostras	Parâmetros Químicos		
	OD	pH	AT
A	6,67 ± 0,058 a	6,67 ± 0,118 d	1258,67 ± 0,577 f
E1	4,83 ± 0,058 b	6,89 ± 0,055 c	1533,67 ± 0,577 b
E2	0,23 ± 0,058 f	7,12 ± 0,174 a	1480,33 ± 0,577 d
E3	3,60 ± 0,1 e	6,89 ± 0,020 c	1528,67 ± 0,577 c
E4	4,00 ± 0,1 c	6,89 ± 0,017 c	1610,33 ± 0,577 a
E5	3,77 ± 0,058 d	6,92 ± 0,015 b	1259,67 ± 0,577 e

Oxigênio Dissolvido (OD); Potencial Hidrogeniônico (pH); Alcalinidade Total (AT). Os resultados expressos em médias ± desvio padrão. Letras minúsculas diferentes na mesma coluna diferem pelo teste de Tukey, ao nível de 5% de probabilidade.

Todas as análises de oxigênio dissolvido diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ) entre si, sendo que a amostra que apresentou a maior taxa de oxigênio dissolvido foi o afluente (A), atingindo o valor de 6,67 mg/L de  $O_2$ . Já a menor taxa de oxigênio dissolvido foi obtida na amostra E2, com o valor de 0,23 mg/L de  $O_2$ .

Contudo, as amostras coletadas no tanque de saída do biodigestor apresentam ainda elevadas concentrações de oxigênio dissolvido, o que evidencia a existência de atividade microbiana no composto. Desta forma, faz-se necessário, um

pós-tratamento deste composto para que uma vez utilizado como adubo orgânico, não venha a poluir e contaminar os corpos hídricos, o solo e o ar.

Todos os valores de pH analisados se mantiveram na faixa estipulada pela literatura, como ideal para o processo de digestão anaeróbia (NOGUEIRA, 2016), sendo desnecessário, portanto a correção desse parâmetro.

A análise estatística feita com os valores de pH, mostrou que as amostras E1, E3 e E4 não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade, onde apresentaram o valor de pH igual a 6,89. Porém, as amostras A, E2 e E5 diferem estatisticamente ( $P < 0,05$ ).

Segundo Barichello (2010), o Potencial Hidrogeniônico (pH), é uma das condicionantes mais importantes do processo de digestão anaeróbia, isso porque a mesma é determinante para o perfeito funcionamento biológico do reator. Sendo desta forma, importante manter os valores de pH entre 6,0 e 8,0.

A alcalinidade total correspondente aos efluentes E1, E2, E3, E4 e E5 mostraram valores mais elevados, quando comparados com o afluente (A). Este comportamento de acordo com Nogueira (2016) e Sales (2017) mostrou a elevada capacidade do meio em neutralizar ácidos, o que é ideal para a biodigestão anaeróbia. Sendo que o valor da alcalinidade total da amostra E4 com 1610,33 mg/L de  $\text{HCO}_3$  é superior aos demais, seguido pela amostra E1, E3, E2, E5 e A, respectivamente. Estes diferem significativamente entre si quando submetidos ao teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.

### 5.3 BIOGÁS OBTIDO NO BIODIGESTOR SERTANEJO

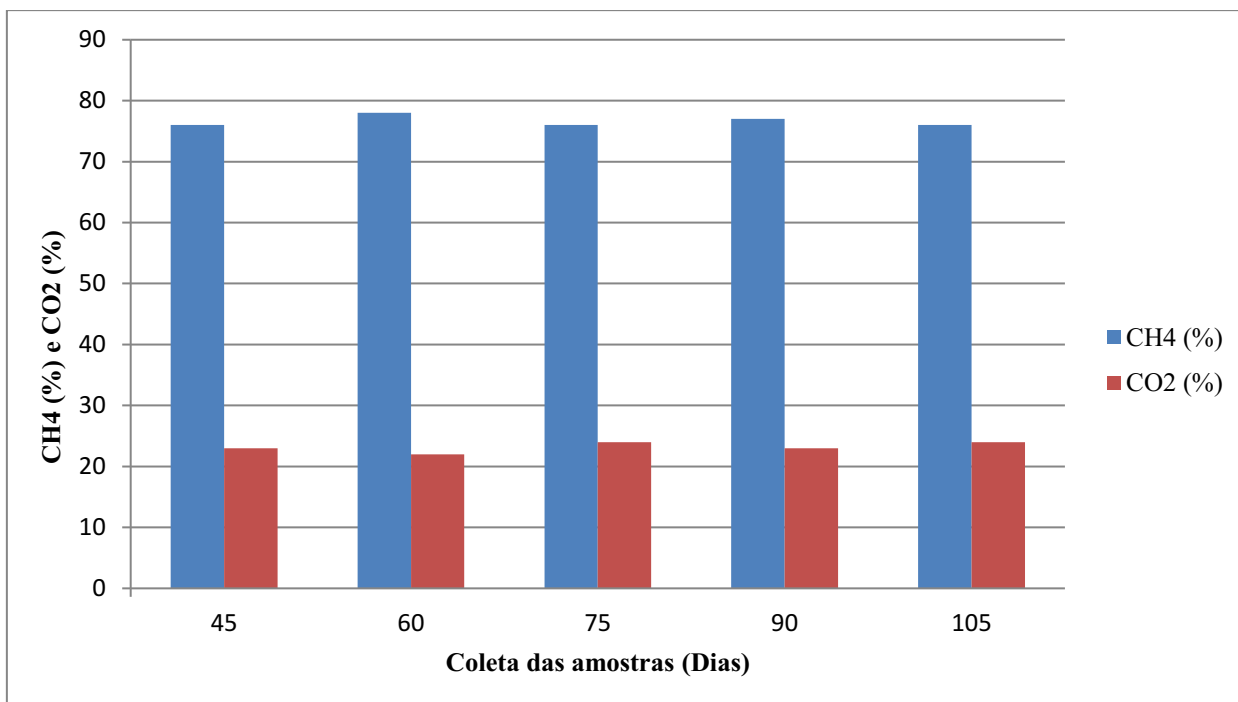
#### 5.3.1 Qualificação

Durante a fase experimental da pesquisa, foi utilizado o kit desenvolvido por Kunz e Sulzbach (2007), ambos pesquisadores da EMBRAPA SUÍNOS E AVES, com o qual foi determinada a concentração de quatro gases, sendo eles: gás metano ( $\text{CH}_4$ ), dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e o gás amônia ( $\text{NH}_3$ ).

Levando-se em consideração os valores de metano ( $\text{CH}_4$ ) e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) obtidos através de um método analítico volumétrico, apresentados na Figura 11, é possível perceber que a porcentagem de metano foi superior, quando

comparado ao dióxido de carbono, durante todo estudo. Corroborando com os resultados encontrados por Hornung (2014) e Mueller (2007), que apresentaram em seus estudos concentrações elevadas de metano na mistura gasosa (biogás) provenientes do processo de biodigestão anaeróbia.

**Figura 11** - Variação dos valores de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub> nos dias de coleta



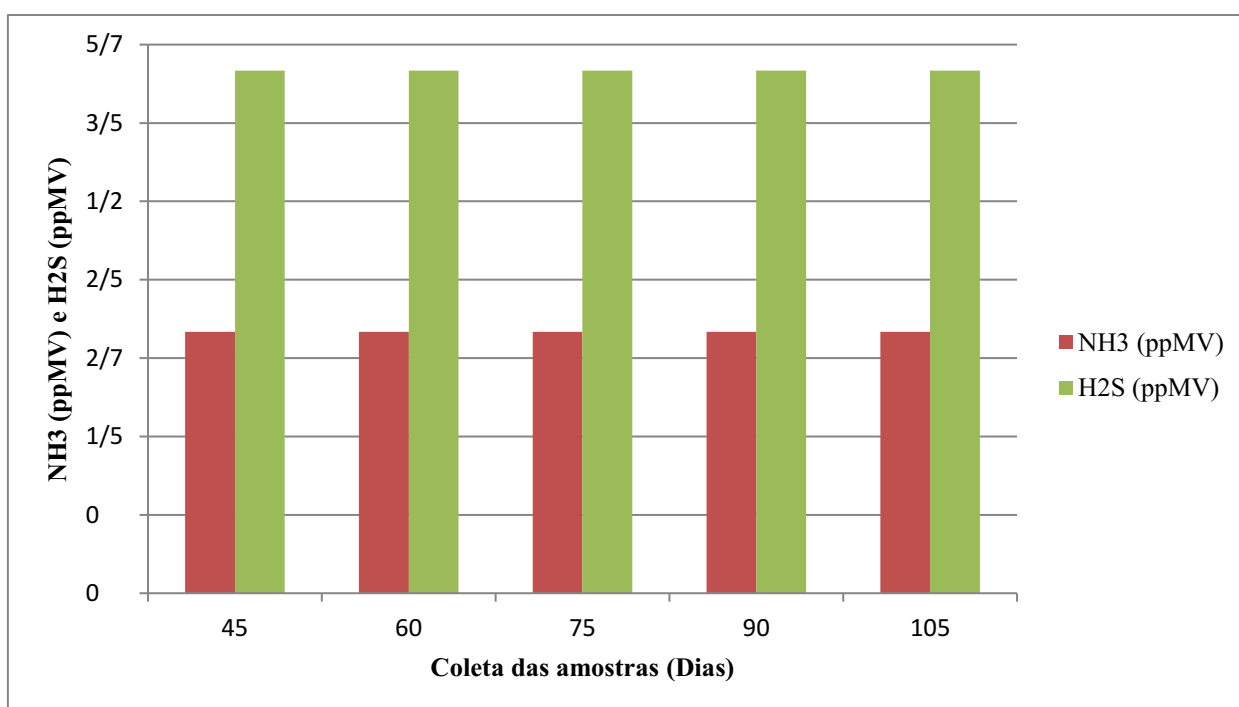
Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

A maior proporção de metano no biogás foi de 78% com 60 dias de estudo e 77% com 90 dias. As demais análises, que foram efetuadas no tempo 45, 75 e 105 dias, mostraram valores iguais de produção de metano com 76%. Essa alternância com relação à quantidade de metano no biogás pode ser explicada pelo fato do biodigestor ter sido alimentado com dejetos bovinos pertencentes a diferentes famílias da comunidade.

A concentração da biomassa (nutrientes) pode ser decisiva no processo de produção do metano, visto que cada família pertencente à comunidade Várzea Comprida dos Oliveiras adota um sistema de manejo e dieta diferenciado para seus animais. Logo, interfere de forma decisiva na relação carbono/nitrogênio, fundamental para o sucesso do processo de digestão.

Já o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) e o gás amônia ( $NH_3$ ) medidos através de um método colorimétrico, mantiveram um comportamento estável durante todas as análises, não apresentando variação da sua concentração (Figura 12). Desta forma, as concentrações do gás sulfídrico e do gás amônia ao longo de todo o processo se mantiveram na faixa mínima de cores da cartilha (KUNZ; SULZBACH, 2007), tida como referência para a comparação com as amostras coletadas após o processo de purificação do biogás. Sendo que esta faixa para o  $H_2S$  é de 2/3 ppMV e para o  $NH_3$  1/3 ppMV.

**Figura 12** - Comportamento das variáveis  $H_2S$  e  $NH_3$ , em ppMV



Fonte: Elaborado pelo autor (2018).

Gomes (2016) e Sales (2017), ao analisar o comportamento do  $NH_3$  e do  $H_2S$  em biodigestores, perceberam que a proporção desses gases variava de acordo com o tipo de matéria orgânica utilizada no processo de biodigestão.

Esse estudo também mostrou com a queima do biogás que a coloração da chama (Figura 13), resultante do processo de combustão do metano, está de acordo com o encontrado por Souza Mario et al. (2015) e Nogueira (2016). Indicando assim, elevada concentração de metano ( $CH_4$ ) na mistura gasosa.

**Figura 13** - Cor da chama produzida pela queima do biogás

Fonte: Própria, 2018.

### 5.3.2 Quantificação

Para estimar a quantidade de biogás gerado no biodigestor sertanejo implantado na agroindústria Bolo das Oliveiras, levaram-se em consideração os dados contidos na Tabela 3. Elaborada de acordo com os dados fornecidos por Kunz e Encarnação (2007), representando a quantidade média de esterco fresco gerado por dia por bovino de diferentes características, assim como a respectiva quantidade de biogás gerado por cada quilo de biomassa.

**Tabela 3** - Índice de produção de biogás

Animal	Dejetos (Kg/animal/dia)	Biogás (m <sup>3</sup> /dia/animal)
Bovinos confinados	40	0,48
Bovinos semiconfinados	15	0,18

Fonte: Manual Técnico de Esterqueiras para Dejetos Bovinos, 2008.

Para a alimentação do biodigestor foi utilizado dejetos de aproximadamente 40 animais, na grande maioria vacas em lactação, o que confere maior quantidade de biomassa gerada por animal por dia. Esses animais pertencem aos membros da própria comunidade, que são criados no sistema de semiconfinamento, técnica utilizada para suplementar animal a pasto, com substituição de sua dieta de 30 até 90% de alimentos concentrados (SCHLESINGER, 2010).

O biodigestor instalado na Agroindústria Bolo das Oliveiras foi alimentado diariamente com apenas 100 kg de dejetos bovinos diluídos em 200 L de água,



proveniente de um sistema de tratamento de efluente e de um poço artesiano, sendo caracterizado desta forma como um sistema contínuo. Ressalta-se que a quantidade inserida na alimentação do biodigestor é inferior a sua real capacidade, visto que os moradores da comunidade, responsáveis pelo abastecimento do biodigestor alegam não conseguirem coletar 220 Kg de esterco fresco por dia.

Utilizando os dados fornecidos na Tabela 3, calculou-se a quantidade de biogás gerado diariamente no processo de biodigestão anaeróbica, para o sistema semiconfinado (15 Kg/animal/dia). De modo que, o volume estimado de geração de biogás no biodigestor por dia utilizando 100 Kg de biomassa provenientes dos animais criados no regime de semiconfinamento é de aproximadamente 1,2 m<sup>3</sup> de biogás/dia ou 36 m<sup>3</sup> de biogás/mês (30 dias).

Para a estimativa da quantidade de metano e gás carbônico em número de mols ou em volume, presente no biogás proveniente do processo, adotou-se a lei do gás ideal (Equação 1). Tal análise é possível porque a lei do gás ideal pode ser utilizada para analisar gases que se encontram sob pressão e temperatura considerada ideal (OLIVEIRA, 2009).

$$PV = n RT \quad \text{(Equação 1)}$$

Onde:

P: pressão do gás (atm);

V: volume do gás gerado (L);

R: constante universal dos gases ideais (determinada experimentalmente);

n: número de mols;

T: temperatura (K).

Segundo Nogueira (2016) e Sales (2017), o biogás se caracteriza por apresentar o seu poder calorífico variando de acordo com a quantidade de metano presente no composto gasoso. Seu poder calorífico inferior é estimado entre 4,95 KWh/m<sup>3</sup> quando a porcentagem de metano na mistura é de 50% e 7,92 KWh/m<sup>3</sup> quando a proporção de metano no biogás é de 80%.

No entanto, ainda de acordo com Nogueira (2016) quando o dióxido de carbono é retirado do biogás, o poder calorífico poderá estar entre o poder calorífico inferior do metano 9,94 KWh/m<sup>3</sup> e o seu poder calorífico superior 11,07 KWh/m<sup>3</sup>.

Para os cálculos de quantificação do metano e do gás carbônico, foi considerada a pressão atmosférica de 1 atm, temperatura de 298 K, constante dos gases sendo  $0,0820578 \text{ L atm K}^{-1} \text{ mol}^{-1}$  e o volume de biogás produzido em média por dia  $1,2 \text{ m}^3$  ou 1200 litros (OLIVEIRA, 2009). A quantificação do gás metano e do gás carbônico é estimada em número de moles e volume (L), respectivamente.

O cálculo do volume de gás metano e de gás carbônico foi realizado de acordo com as concentrações desses respectivos gases obtidos na qualificação do biogás, e ainda foi realizado o mesmo cálculo prevendo uma futura purificação completa dessa mistura gasosa (Tabela 4).

**Tabela 4** - Quantificação do biogás obtido durante a pesquisa

Índices	Quantificação do biogás			
	76% (CH <sub>4</sub> )	77% (CH <sub>4</sub> )	78% (CH <sub>4</sub> )	100% (CH <sub>4</sub> )
n <sub>CH<sub>4</sub></sub> (mol)	37,2956	37,7864	38,2771	49,0732
V <sub>CH<sub>4</sub></sub> (L)	835,4221	846,4153	857,4070	1.099,2397
n <sub>CO<sub>2</sub></sub> (mol)	11,7776	11,2868	10,7961	0,0
V <sub>CO<sub>2</sub></sub> (L)	263,8182	252,8243	241,8326	0,0

n<sub>CH<sub>4</sub></sub>: número de mols do metano; V<sub>CH<sub>4</sub></sub>: volume de metano; n<sub>CO<sub>2</sub></sub>: número de mols do dióxido de carbono; V<sub>CO<sub>2</sub></sub>: volume de dióxido de carbono.

Desta forma, é possível afirmar que o biogás produzido por mês na agroindústria Bolo das Oliveiras, tem a equivalência energética de apenas 1,2 botijões de cozinha de 13 kg por mês. Esse resultado mostra que a reduzida quantidade de biomassa adicionada ao biodigestor, contribuiu de forma significativa para a não geração do biogás prevista inicialmente com a implantação do projeto. Corroborando para a manutenção da dependência quase total da agroindústria Bolo das Oliveiras, por gás Liquefeito de Petróleo (GLP).

O projeto foi instalado com a intenção de gerar o equivalente energético a 7,3 botijões de gás (P-13) por mês, o que traria uma economia mensal de R\$ 496,40 mensais para o empreendimento, haja vista que o preço de comércio do gás GLP na comunidade rural local é de R\$ 68,00 por botijão. Desta forma, o tempo previsto para o auto ressarcimento do investimento feito com a instalação do biodigestor na agroindústria seria de 16,2 meses ou aproximadamente 1 ano e 4

meses, podendo ser considerado com um investimento que traria lucros em um curto período de tempo.

Porém, levando-se em consideração que está sendo produzido apenas o equivalente energético a 1,2 botijões de gás de cozinha por mês e que a economia mensal com a compra do gás GLP após a instalação do projeto é de apenas R\$ 81,60, o tempo necessário para que o mesmo venha a gerar lucros para o empreendimento será de 8 anos e 2 meses.

## 6. CONCLUSÃO

Diante da investigação científica e econômica referente à implantação do biodigestor modelo sertanejo, na Agroindústria Bolo das Oliveiras, na cidade de Pombal – PB foi possível verificar que as taxas de ST, SF e SV apresentaram algumas variações, que pode está associado à incompleta degradação da matéria orgânica no tanque de digestão, mesmo com o elevado Tempo de Retenção Hidráulica.

Os valores de condutividade elétrica foram satisfatórios em todas as amostras coletadas no tanque de saída do biodigestor, quando comparadas a amostra coletada no tanque de abastecimento. Já as taxas de oxigênio dissolvido encontradas nas amostras, evidenciam a existência de atividade microbiana no composto, sendo recomendado o tratamento secundário do biofertilizante antes de ser aplicado como adubo orgânico, evitando a contaminação do solo, do ar e de corpos hídricos.

O pH se manteve estável durante todo o período de análises, próximos da neutralidade. Outro parâmetro que se desenvolveu dentro do desejado foi à alcalinidade, em que todos os valores encontrados nos efluentes foram superiores ao encontrado no afluente.

O biogás, ao ser queimado, apresenta chama de boa qualidade, tendo em vista à sua coloração azulada e poder calorífico próximo de 7,92 KWh/m<sup>3</sup>. No entanto, a conscientização da comunidade, se faz necessária quanto à padronização do abastecimento quantidade de biomassa adequada, bem como a diluição da biomassa/água, agitação do biodigestor pelo menos duas vezes ao dia, a dieta dos animais (mais rica em nutrientes) entre outros, sendo critério fundamental para que o projeto venha a produzir gás suficiente para atender a metade da necessidade por energia térmica da padaria.

Por fim, pode ser comprovado, até o momento, que o biodigestor sertanejo implantado na Agroindústria Bolo das Oliveiras, não está sendo economicamente viável, quando levado em consideração o seu dimensionado com a geração do biogás.

## REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. 2017. 42p. Monografia (Bacharel em Engenharia Química). Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG, 2017.
- ABASSI, T.; TAUSEEF, S. M.; ABASSI, S. A. **Biogás Energy**. New York: Spring, p187, 2012.
- ALBUQUERQUE L. S; ARAÚJO, J. C. S. Produção de biogás por co-digestão utilizando uma mistura de dejetos bovinos e casca de café conilon. **Brazilian Journal of Production Engineering**, São Mateus, v. 2, n. 3, p. 44-54, 2016.
- APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION Standard methods for the examination of water and wastewater. New York, 1999.
- BARICHELLO, R. **O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região noroeste do Rio Grande do Sul**. 2010. 138f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria/RS. 2010.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Plano Agrícola e Pecuário 2018-2019. 2018.
- CALDEREIRO, G. M. B. **Caracterização da digestão de resíduos agroindustriais em biodigestor de fluxo contínuo operado em escala real**. 2015. 90f. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Ambientais), Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- CDM. Clean Development Mechanism. Approved Baseline and Monitoring Methodologies for Large Scale CDM Project Activities. **AMS-III.D – “Recuperação de metano através de sistemas de gestão de dejetos animais” Versão 14**. Disponível em: <<http://cdm.unfccc.int/methodologies/PAMethodologies/approved>>. Acessado em: 12 de abril de 2018.
- CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios**. 2.ed. Belo Horizonte: UFMG, 2007.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: an introduction**. 2° ed. Weinheim: Wiley-Vch, 2011.
- DONGALA, A. M. **Projeto de Biodigestor para Geração de Bioenergia em Sistema de Produção de Suínos: um estudo de caso da Região de Icolo e Bengo - Angola**. 2010. 127 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2010.
- FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E.P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Revista Acta Iguazu**, v.4, n.1, p. 57-65, 2015

GOMES, B. C. **Estudo comparativo do biogás de dejetos suíno utilizando água e vinhaça como diluentes**. 2016. 63f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) - Faculdade de Tecnologia de Piracicaba Dep. Roque Trevisan. Piracicaba/SP. 2016.

GOMES, C. R.; FEIJÓ, G.; CHIARI, L. Evolução e qualidade da pecuária brasileira. **Documentos/Embrapa Gado de Corte, ISSN**, p. 1517-3747, 2017.  
HOLM-NIELSEN, J. B.; AL SEADI, T.; OLESKOWICZ-POPIEL, P. The future of anaerobic digestion and biogas utilization. **Bioresource Technology**. v. 100, p. 5478-5484. 2009.

HORNUNG, A. **Transformation of Biomass; Theory to Practice**. John Wiley, p.371, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em:  
<<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pb/pombal/panorama>> Acesso em: 28/11/2018

KONZEN, E. A.; ALVARENGA, R. C. **Adubação Orgânica**. Disponível em:  
<[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01\\_48\\_168200511159.html](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_48_168200511159.html)>. Acesso em: 26 out. 2018.

KUNZ, A.; SULZBACH, A. **Kit Biogás Portátil: Para análise da concentração de gás metano, dióxido de carbono, amônia e gás sulfídrico em biogás**. 2007, Brasil. Número de protocolo: 012070001117 –DEDF/INPI, instituição de registro: INPI – Instituto Nacional da Propriedade Industrial. Depósito: 09/10/2007.

KUNZ, A.; ENCARNAÇÃO, R. Tratamento de dejetos de animais. **Gestão ambiental na agropecuária. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica**, p. 167-191, 2007.

LEITE, W.; MAFFAZZIOLI, E.; GUIMARÃES, L.; MAGO, A. D.; FILHO, P. B. Análise comparativa dos efeitos da carga orgânica e do tempo de detenção hidráulica na digestão anaeróbica mesofílica de lodo adensado de estação de tratamento de esgoto. **Eng Sanit Ambient**. v. 20, n.4 , p.581 – 588, 2015.

LIANHUA L.; DONG, L.; YONGMING, S.; LONGLONG, M.; ZHENHONG, Y.; XIAOYING. Effect of temperature and solid concentration on anaerobic digestion of rice straw in South China. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, p. 7261-7266, 2010.

MARIO, J. S.; COELHO, M. A. A.; SCHAEFFER, L.; ROSSINI, E. G. Viabilidade técnica de compressão de biogás para comercialização: Preliminary study for compression of biogas in cylinders for domestic consumption. **Revista Espacios**, Caracas, v. 36, n. 6, p.1-11, 2014.

MATTOS, L. C.; JÚNIOR, M. F. **Manual do biodigestor sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Camara, 2011. 55p.: il.

MUELLER, C. **Anaerobic Digestion of Biodegradable Solid Waste in Low and Middle-Income Countries**. Swiss Federal Institute of Aquatic Science (EAWAG), Department of Water and Sanitation in Developing Countries (SANDEC), 2007. Disponível em:

<<https://pdfs.semanticscholar.org/416e/79b67843903cc42557c53883256319aed592.pdf>>. Acesso em: 30 de junho de 2018.

NGES, I. A.; LIU, J. Effects of solid retention time on anaerobic digestion of dewatered-sewage sludge in mesophilic and thermophilic conditions. **Renewable Energy**, v. 35, p. 2200 – 2206, 2010.

NOGUEIRA, A. C. **Avaliação do potencial de produção de biogás a partir da biodigestão de vísceras de frango de corte**. 2016. 63p. Dissertação (Programa de pós-graduação em Engenharia Química) – Centro de ciências e tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande. 2016.

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

OLIVEIRA, R. D. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono**. 2009. 98f. Trabalho de conclusão de curso (Monografia) - Universidade de São Paulo. São Carlos/SP. 2009.

ORRICO, A. C. A.; SUNADA, N. S.; LUCAS JUNIOR, J.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; SCHWINGEL, A. W. Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos e níveis de inclusão de óleo de descarte. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, v. 35, n. 4, 2015.

ORZI, V., SCAGLIA, B., LONATI, S., RIVA, C., BOCCASILE, G., ALBORALI, G. L., ADANI, L. The role of biological processes in reducing both odor impact and pathogen content during mesophilic anaerobic digestion. **Revista Science of the Total Environment**, v. 526, p.116-126, 2015.

PEREIRA, F. P.; DUARTE, J. V. N.; DIAS, J. S.; ARAÚJO FILHO, G. C. **Climatologia Pluviométrica para o município de Pombal-PB**. In: II Workshop Internacional sobre Água no semiárido brasileiro, 2. Anais...Campina Grande, 2015.

SALES, J. C. F. **Digestão anaeróbia de dejetos suínos e resíduos de alimentos em biodigestor canadense**. 2017. 81f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande. Pombal/PB. 2017.

SCHIRMER, W. N.; BARBOSA, F. J. L.; CABRAL, A. R.; CROVADOR, M. I. C.; CAPANEMA, M. A. Geração de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de resíduos sólidos municipais com dejetos suíno. **Revista Ciência & Tecnologia**, Jaboticabal, v. 8, 2016.

SCHLESINGER, S. **O gado bovino no Brasil**. Rio de Janeiro: FASE, 2010.

SCHWINGEL, A. W.; ORRICO, A. C. A.; JUNIOR, M. A. P. O.; SUNADA, N. S.; CENTURION, S R. Desempenho da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com inclusão de glicerina bruta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 778-783, out./dez. 2016.

SILVA, C. L., RABELO, J. M. O., BOLLMANN, H. A. – **Energia no lixo: Uma avaliação da viabilidade do uso do biogás a partir e resíduos sólidos urbanos** – IV Encontro Nacional da Anppas – Brasília, 2008.

SILVA, E. M. C., CAVALCANTI, M. T., ALMEIDA, R. R., SILVA, J. N. **Projeto de unidade rural de geração e distribuição de biogás**. CNEA – Congresso Nacional de Educação Ambiental, Campus I da UFPB, João Pessoa – PB, 2016.

SOUZA NETO, J. J.; OLIVEIRA, A. G.; FIRMINO, L. Q.; CANDEIA, R. A.; FARIAS, E. T. R.; ROLIM, H. O. **BIORREACTORES ANAERÓBICOS ALIMENTADOS COM RESÍDUOS DE ALIMENTOS AOS DEJETOS BOVINOS: ESTUDO PRELIMINAR**. In II ENCONTRO NACIONAL DA AGROINDÚSTRIA, 2., 2016, Bananeiras. *Anais...* Instituto BioEducação, 2016. p. 1139-1143.

SOUZA MARIO, J.; COELHO, M. A. A.; SCHAEFFER, L.; ROSSINI, E.G. Viabilidade técnica de compressão de biogás para comercialização. **Revista ESPACIOS**. Vol. 36 (Nº 06), 2015.

SOUZA, J. **Desenvolvimento de tecnologias para compressão do biogás**. 2010. 83f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre/RS. 2010.

SUNADA, N. S.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO, A. C. A.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; SCHWINGEL, A. W.; SCANFERLA, A. F. L. S. Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos, níveis de inclusão de óleo de descarte e microrganismos lipolíticos redução do impacto ambiental. **Repositório Institucional UNESP**, Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Departamento de Engenharia Rural, Jaboticabal, 2014.

YENIGÜN, O; DEMIREL, B. Ammonia inhibition in anaerobic digestion: a review. **Process Biochem**. v. 48, p. 901–911, 2013.