



UNILAB

**Universidade da Integração Internacional
da Lusofonia Afro-Brasileira**

UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA AFRO-
BRASILEIRA

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ENERGIAS
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

JEREMIAS DOS SANTOS

**CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTOR ARTESANAL PARA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM ZONAS RURAIS NO BRASIL E
PARA SER APLICADO EM TIMOR- LESTE.**

ACARAPE – CEARÁ

2018

JEREMIAS DOS SANTOS

**CONSTRUCÃO DE BIODIGESTOR ARTESANAL PARA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM ZONAS RURAIS NO BRASIL E
PARA SER APLICADO EM TIMOR- LESTE.**

Trabalho de Conclusão de Curso de graduação, apresentado à Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer.

ACARAPE- CEARÁ

2018

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Santos, Jeremias dos.

S233c

Construção de biodigestor artesanal para produção de biogás na geração de energia em zonas rurais no brasil e para ser aplicado em timor- leste / Jeremias dos Santos. - Acarape, 2018.
59 f: il.

Monografia - Curso de Engenharia de Energias, Instituto de Engenharias e Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2018.

Orientador: Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer.

1. Sustentabilidade. 2. Energias - Fontes alternativas. 3. Digestão anaerobia. 4. Reaproveitamento (sobras, dejetos, etc). I. Título

CE/UF/BSP

CDD 333.79

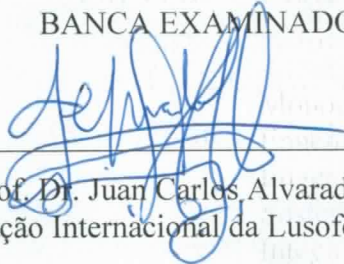
JEREMIAS DOS SANTOS

**CONSTRUÇÃO DE BIODIGESTOR ARTESANAL PARA PRODUÇÃO DE
BIOGÁS NA GERAÇÃO DE ENERGIA EM ZONAS RURAIS NO BRASIL E
EM TIMOR-LESTE**

Monografia apresentada ao curso de Engenharia de Energias do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia de Energias.

Aprovado em 30/10/2018.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Profa. Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Profa. Dra. Maria Cristiane Martins de Souza
Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)



Prof. Dr. Ari Clecius Alves de Lima
Fundação Núcleo de Tecnologia do Ceará (NUTEC)

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar queria agradecer a Deus por tudo que me tenha dado, pelo dom da vida, pela coragem e força, por amor, pela inteligência, saúde e acompanhamento durante meu estudo.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Juan Carlos Alvarado Alcócer e minha co-orientadora Dra. Olienaide Ribeiro de Oliveira Pinto, pela orientação, disponibilidade, paciência, e confiança durante a elaboração do presente trabalho.

Agradeço ao pessoal da NUTEC (Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará) pela ajuda na realização do trabalho.

Agradeço todas as pessoas que contribuíram na realização desse trabalho, principalmente o Izaque Gil Sá e Jangirglédia de Oliveira para a realização do trabalho.

Agradeço especialmente a minha família que sempre torcer por mim e para sucesso do meu estudo, mesmo ficar longe, mas não falta o apoio moral e oração.

A todos os professores e servidores da UNILAB especialmente aos professores do Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável (IEDS), pela paciência e dedicação ao transmitir seus conhecimentos.

Ao Governo Timor Leste em nome do Ministério da Educação do Timor Leste pela confiança de investir em mim, e por beneficiar a minha estadia aqui no Brasil.

Ao Governo Federal do Brasil pela cooperação em nome da Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB), pela oportunidade e acolhimento.

O meu profundo agradecimento por todos os amigos da UNILAB, especialmente aos amigos timorenses que de modo diretamente ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho e por minha formação.

Àqueles que, embora não citados, estiveram presentes, ou de forma casual, ou esporadicamente, muito obrigado.

EPIGRAFE

you have to fight to reach your dream, you have to sacrifice and work hard for it.

Lionel Messi

RESUMO

O objetivo do trabalho foi construir um biodigestor artesanal para produção de biogás para gerar energia em zonas rurais no Brasil e para ser aplicado em Timor-Leste. O biodigestor artesanal ou batelada é um modelo simples, próprio para pequenas produções de biogás. Trata-se de um tanque que pode ser de alvenaria, metal ou fibra de vidro, ou garrafão pet, o qual é carregado, fechado e, depois de 15 a 20 dias de fermentação, começa a produzir biogás. A produção continua durante 20 dias ou mais. Quando cessa a fermentação, o biodigestor é descarregado, limpo e carrega de novo, reiniciado o processo. No Brasil e, principalmente em Timor Leste possuem diversas populações vivendo em zona rural, são agricultores que dependem da agricultura e pecuária. Nas áreas rurais os dejetos de animais são descartados constantemente e muitas vezes não são destinados adequadamente, à construção de biodigestor para tratamentos desses dejetos é importante, transformando em produção de biogás e biofertilizante. A produção de biogás pode ser utilizada para cozinhar (substituir a lenha), pois em Timor Leste e outros países do mundo principalmente nas áreas rurais as pessoas ainda utilizam a lenha para cozinhar, e isso pode acabar com o desflorestamento, além disso, também pode ser utilizado para o funcionamento dos motores e geradores, para produzir a energia elétrica. Já o biofertilizante pode ser usado como adubo orgânico nas lavouras. O trabalho foi realizado na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) no Campus das Auroras, no laboratório de Biomassa, com a idealização do biodigestor desenvolvido em escala artesanal a fim de viabilizar seu uso, principalmente nas áreas rurais. O biodigestor foi construído com material reciclável e alimentado com dejetos de bovino. Como resultado, observou-se que o biodigestor artesanal tipo batelada com filtro de palha de aço começou a produzir biogás aos 14 dias, após alimentação e 21 dias depois, o biodigestor sem filtro, começou a produzir biogás. Portanto, considera-se viável a instalação de biodigestores artesanal em áreas rurais para produção de biogás e biofertilizante, onde o biogás pode ser usado para cozinhar e o biofertilizante para adubar as plantações, proporcionando melhoria na qualidade de vidas das famílias que utilizam essa tecnologia tanto na parte social como econômica.

Palavras-chave: Tecnologia sustentável. Energia renovável. Biofertilizante. Digestão anaerobia. Aproveitamento de dejetos.

ABSTRACT

The objective of this work was to build a biodigester for the production of biogas to generate energy in rural areas in Brazil and to be applied in Timor-Leste. The artisanal or batch biodigester is a simple model, suitable for small biogas production. It is a tank that can be masonry, metal or fiberglass, or pet bottle, which is charged, closed and, after 15 to 20 days of fermentation, begins to produce biogas. Production continues for 20 days or more. When the fermentation ceases, the biodigester is discharged, cleaned and loaded again, the process restarted. In Brazil, and especially in East Timor, and mainly in East Timor, the majority of the population is living in rural areas, they are farmers who depend on agriculture and livestock. In rural areas, animal waste is constantly discarded and often not properly disposed of, the construction of a biodigester for treatment of these wastes is important, transforming into biogas and biofertilizer production. Biogas production can be used for cooking (replacing firewood), since in East Timor and other countries around the world, mainly in rural areas, people still use wood for cooking, and this can end with deforestation. Beside that can be used for the operation of the motors and generators, to produce electricity. Biofertilizer can be used as an organic fertilizer in crops. The work was carried out at the University of International Integration of Afro-Brazilian Lusophony (UNILAB) at the Auroras Campus, in the Biomass Laboratory, with the idealization of the biodigester developed in artisanal scale in order to make feasible its use, mainly in rural areas. The biodigester was constructed with recyclable material and fed with bovine milk waste. As a result, it was observed that the artisanal biodigester with a steel straw filter began to produce biogas at 14 days after feeding and 21 days later the unfiltered biodigester began to produce biogas. Therefore, it is considered feasible the installation of artesian biodigesters in rural areas for the production of biogas and biofertilizer, where biogas can be used for cooking and the biofertilizer to fertilize the plantations, providing improvement in the quality of lives of families that use this technology in the social part as economic.

Keywords: Sustainable technology. Renewable energy. Biofertilizer. Anaerobic digestion. Waste disposal.

LISTAS DE SIGLAS

UNILAB: Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira

IEDS: Instituto de Engenharia e Desenvolvimento Sustentável

MASTS: Mestrado Acadêmico em Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis

RDTL: República Democrática do Timor Leste

INPE: Instituto Nacional de Pesquisa Espacial

H₂: Hidrogênio

CO₂: Dióxido de Carbono

CO: Monóxido de carbono

CH₄: Metano

H₂S: Sulfeto de Hidrogênio

PVC: Poli cloreto de Vinil

NUTEC: Fundação Núcleo de Tecnologia Industrial do Ceará

SO₄²⁻: Sulfato

SO₃²⁻: Sulfito

N₂: Nitrogênio

H₂: Hidrogênio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Mapa do Timor Leste.	14
Figura 2 - Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia	16
Figura 3 - Esquema Biodigestor modelo indiano	23
Figura 4 - Esquema Biodigestor modelo chinês	24
Figura 5 - Modelo canadense de biodigestor	24
Figura 6 - esquema de montagem do biodigestor	29
Figura 7 - Corte de tubo PVC	31
Figura 8 - Abertura na parte de cima do galão	31
Figura 9 - Abertura na lateral do galão	32
Figura 10 - Fixar os tubos e evitar a entrada de ar no biodigestor	32
Figura 11 - Abertura lateral no gargalo do galão	33
Figura 12 - Corte a tubulação maleável e montar o tee	33
Figura 13 - Fechar o bico do galão	34
Figura 14 - Montagem final do mini biodigestor	34
Figura 15 - Biodigestor pintado	34
Figura 16 - Balançar esterco e misturar com água	35
Figura 17 - Alimentar biodigestor e fechar tubulação com cap	36
Figura 18 - Biodigestores alimentados	36
Figura 19 - A câmara de ar foi preenchida totalmente	37
Figura 20 - Mediação e análise do biogás	37
Figura 21 - Medidor portátil digital (Landtec GEM™ 5000 Portable Gas Analyzer)	38
Figura 22. A produção de biogás, quando a câmaras de ar ficaram cheios	40
Figura 23. A queima do biogás produzido	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição do biogás	26
Tabela 2 - Comparação entre o biogás e outros combustíveis	26
Tabela 3 - Capacidade de geração de 1m ³ de biogás	27
Tabela 4 - Lista dos materiais utilizados e a quantidade necessária para construção dos biodigestores e o preço de cada material	30
Tabela 5 - Proporção do material usado na biodigestão	35
Tabela 6 - Análise química do biogás produzido	41

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	11
2. REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1 Timor-Leste.....	14
2.2 Digestão Anaeróbia.....	16
2.2.1 Fundamentos sobre digestão anaeróbia.....	16
2.3 Biodigestor	21
2.4 Biogás.....	25
2.5 Biofertilizante.....	27
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Materiais.....	30
3.2 Métodos.....	31
3.2.1 Procedimentos de construção	31
3.2.2 Operação do Biodigestor	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	39
5. CONCLUSÕES.....	44
REFERÊNCIAS	45

1. INTRODUÇÃO

As energias renováveis são fontes de energia que são geradas a partir de processos e recursos naturais que são continuamente reabastecidos em uma escala de tempo. Isso, inclui a energia solar, calor geotérmica, energia eólica, energia das marés, energia hídrica (água), e várias formas de bioenergia (biomassa).

A biomassa tem sido uma importante fonte de energia renovável desde que as primeiras pessoas começaram a utilizar a lenha para cozinhar alimentos e aquecer-se contra o frio do inverno. A madeira ainda é a fonte mais comum de energia de biomassa, mas outra fonte de energia da biomassa também tem sido cada vez mais utilizada, como resíduos agrícolas e florestais, componentes orgânicos de resíduos urbanos e industriais, gás metano dos aterros e outros.

A biomassa pode ser usada para produzir eletricidade ou como combustível para o transporte e para fabricar produtos que normalmente exigiriam o uso de combustíveis fósseis não renováveis (SOLAR, 2018).

A pesquisa sobre fontes alternativas de energias tem se intensificado em todo planeta, a busca constante de alternativas para diminuir a poluição ambiental utilizando-se de fontes poluidoras tais como: os dejetos de animais e vegetais que são fartos nas propriedades rurais têm se tornado um norte para as pesquisas no intuito proteger o meio ambiente das poluições e melhorar a qualidade de vida dos camponeses com os benefícios obtidos pelo o beneficiamento dos dejetos (GONÇALVES et al., 2009).

A utilização do biogás como tecnologia da biodigestão anaeróbia tem sido comprovada como uma das mais eficientes no tratamento dos dejetos de animais.

Os dejetos que os animais deixam nas pequenas e médias propriedades rurais são extremamente prejudiciais ao meio ambiente, lançam um gás que provoca o efeito estufa que afeta a ozônio e o solo, através de infiltração no lençol freático, por meio das chuvas que chegam aos igarapés contaminando também as águas (GONÇALVES et al., 2009).

Por isso, é importante a construção de um biodigestor para os tratamentos dos dejetos de animais que muitas vezes são colocados em lugares inadequados em propriedades rurais sem nenhum tratamento, podendo prejudicar o meio ambiente. Nesse sentido, é de suma importância o tratamento de dejetos de animais principalmente em áreas rurais encontradas tanto no Brasil como em Timor-Leste.

A produção de biogás e biofertilizante através biodigestor nas áreas rurais é muito importante, por que com a produção de biogás pode se utilizar para cozinhar (substituir a lenha e gás da cozinha), pois em Timor Leste e em outros países do mundo principalmente nas áreas rurais as pessoas ainda utilizam a lenha para cozinhar, e isso pode acabar com a desflorestamento, além disso o biogás também pode ser utilizado para o funcionamento dos motores e geradores, que podem produzir a energia elétrica. Por outro lado, podem se aproveitar também a fertilizante produzido como adubo.

2. OBJETIVOS

Este trabalho teve como objetivo, construir biodigestor artesanal para produção de biogás para gerar energia em zonas rurais no Brasil e para ser aplicado em Timor-Leste, construir biodigestores com material reciclável e utiliza-lo em áreas rurais com aproveitamento do biogás para cocção, e aproveitamento do biofertilizante para as plantas.

Os objetivos específicos são: i) dimensionar biodigestor artesanal para ser utilizados em áreas rurais; ii) levantar materiais, calcular custos e analisar a viabilidade da instalação de biodigestor; iii) produzir biogás e analisar o biogás; e iv) verificar a eficiência de filtro para o H₂S.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 Timor-Leste

Conhecido no passado como Timor Português, foi uma colônia portuguesa até 1975, altura em que se tornou independente, tendo sido invadido pela Indonésia três dias depois. Permaneceu considerado oficialmente pelas Nações Unidas como território português por descolonizar até 1999. Foi, porém, considerado pela Indonésia como a sua 27.^a província com o nome de "Timor-Timur" (Blogspot.com).

Timor Leste é um dos países mais novos no mundo, o país proclamou a sua independência no dia 20 de maio de 2002, e que a partir daí é conhecido como a República Democrática do Timor Leste (RDTL), antes de ser independente o Timor Leste foi colonizado por Portugal durante 365 anos (1512 até 1975) e foi invadido pela Indonésia por 24 anos (1975 até 1999) (GLOBO.COM, 2018).

Timor Leste está situado no sudeste do continente asiático e faz fronteira terrestre com a Indonésia e situa-se cerca de 550 km ao norte da Austrália, com as seguintes coordenadas geográficas, latitude 8°50' S e longitude 125°55'E (TIMOR BLOGSPOT, 2015). O país tem uma área total aproximada de 15.007 km², o que é consideravelmente, menor que o menor dos estados brasileiros, Sergipe com aproximadamente, 21.915 km². É único país da continente asiático cuja língua oficial é o português, além de outra língua oficial que é o "Tétum". Além de 36 dialetos falados em 13 municípios (Figura 1).



Figura 1. Mapa do Timor Leste

Fonte: TIMOR BLOGSPOT (2015).

O clima do Timor Leste é, em geral, quente e úmido, o que lhe confere a classificação de clima tropical, com duas estações no ano (seca e chuvosa). Diferentemente, do que ocorre na região nordestina brasileira, onde a maior parte desta região possui clima conhecido como semiárido, se caracterizando por temperaturas médias elevadas acima de 26 °C, e com duas estações bem distintas: seca e chuvosa, na qual chove muito pouco.

Em Timor Leste, as temperaturas sofrem pequenas variações sazonais, onde as máximas anuais variam entre 30 °C a 32 °C, enquanto que, as temperaturas mínimas anuais variam entre 22 °C a 25 °C nos lugares mais baixos do país, isto porque, no centro e na parte ocidental do país, observam-se temperaturas inferiores a 20 °C, devido, principalmente à altitude, onde o clima é mais temperado e, na montanha o clima é mais úmido e fresco (TIMOR BLOGSPOT, 2015). Exceto nas regiões montanhosas do Timor Leste, o clima é semelhante ao encontrado em estados do norte e nordeste brasileiro onde a temperatura mínima varia em torno de 22 °C, e a máxima variando entre 30 °C e 32 °C (INPE, 2016).

Em Timor Leste, principalmente nas áreas rurais toda a população tem a criação dos animais e isso é culturalmente, em Timor Leste existe uma cultura que se chama “DOTE” essa cultura é sobre casamento de duas pessoas, quando houver um casamento tradicional, a parte do homem tem que pagar uma quantia de búfalos, cavalos para a família da mulher e a família da mulher dar pano em troca que se chama “TAIS” (Tais é um pano tradicional muito importante nas cerimônias tradicionais do Timor). Quando um homem quer casar com uma mulher tem que pagar uma quantia de búfalos e cavalos, esses búfalos e cavalos que a família do homem tem que pagar variando a quantidade de cada município, o município que cobra mais é o município de Lospalos que são 77 búfalos e outros municípios variando dependendo da cultura de cada município.

Com a existência dessa cultura, isso obriga as pessoas a criarem os búfalos, cavalos e outros animais pois tem que preparar os animais para que um dia um filho da família quer se casar terá que pagar.

Por fim, em Timor Leste principalmente nas áreas rurais existem a potencial matéria prima para construção do biodigestor que pode ajudar a melhorar a qualidade da vida e também ajudar a minimizar a poluição do ambiente.

2.2 Digestão Anaeróbia

A digestão anaeróbia é o processo de degradação biológica da matéria orgânica em condições de ausência de oxigênio que, dentre outros subprodutos, gera o biogás. A digestão anaeróbia ocorre em etapas sequenciais, sendo cada uma delas caracterizadas pela atividade de grupos específicos de microrganismos. Somente na última etapa, chamada metanogênese, é formado o biogás (SILVEIRA et al., 2015).

2.2.1 Fundamentos sobre digestão anaeróbia

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um ecossistema em que diversos grupos de microrganismos (pertencentes aos domínios de Bactérias e de *Archaeas*) trabalham interativamente na conversão da matéria orgânica complexa em metano, dióxido de carbono, água, gás sulfídrico e amônia (Figura 2), recuperando, assim, a energia para o próprio crescimento, ou seja, formando o lodo anaeróbio.

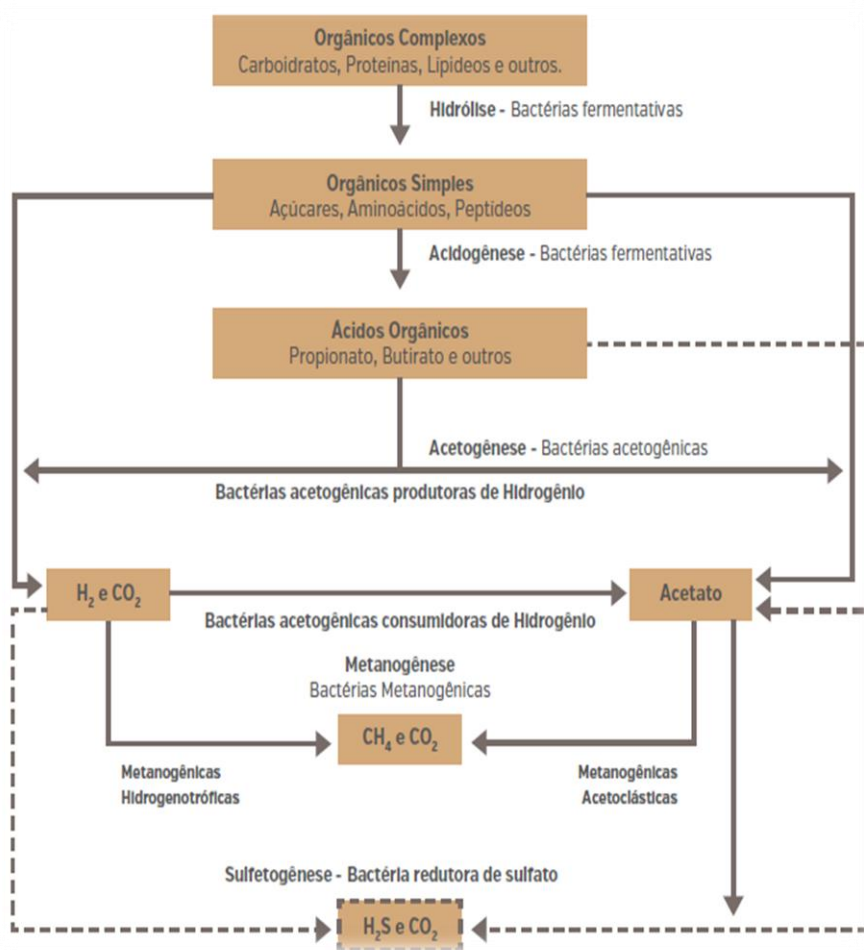


Figura 2: Rotas metabólicas e grupos microbianos envolvidos na digestão anaeróbia. Fonte: Silveira et al. (2015)

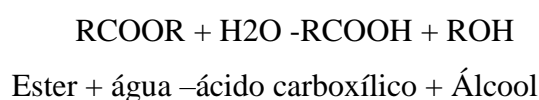
Conforme ilustrado na Figura 2, o processo de digestão anaeróbia é subdividido em 5 etapas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese, Metanogênese e Sulfetogênese. A Hidrólise e Acidogênese são realizadas pelas mesmas bactérias e consideradas como uma fase. A Sulfetogênese ocorre somente na presença dos sulfatos, e, nessa situação, compete com a Metanogênese, diminuindo a produção do metano (SILVEIRA et al., 2015).

A conversão de substrato em biogás ocorre com a participação de três grupos principais de microrganismos: (i) bactérias fermentativas, acidogênicas; (ii) bactérias sintróficas, acetogênicas; e (iii) arqueias metanogênicas. Há, ainda, um grupo opcional de bactérias e arqueias sulforedutoras. Conforme será explicado em seguida, cada grupo tem comportamento fisiológico diferente e funções específicas na cadeia da degradação.

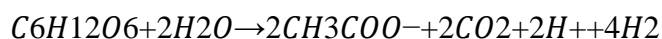
a) Hidrólise e Acidogênese

Na primeira fase, ocorre a solubilização da matéria orgânica, ou seja, a quebra de bio-polímeros, que são os compostos orgânicos complexos presentes nos substratos. Para a hidrólise, as bactérias liberam enzimas que convertem os carboidratos complexos em monômeros e açúcares; e as proteínas em aminoácidos e os lipídeos (gorduras), depois de sua emulsificação, em ácidos graxos. Em paralelo, as mesmas bactérias atuam na fermentação, ou seja, na acidogênese dos produtos obtidos, formando moléculas menores. As bactérias fermentativas ocorrem em ambiente natural em grande quantidade e são as primeiras a atuar na etapa sequencial da degradação do substrato e, conseqüentemente, podem se beneficiar energeticamente mais que os microrganismos nas etapas seguintes. O processo da acidificação pode começar já na rede coletora ou quando o lodo com alto teor de material orgânico permanece certo tempo em condições anaeróbias. Como todos os processos biológicos, o processo de acidificação é acelerado em temperaturas elevadas (SILVEIRA et al., 2015).

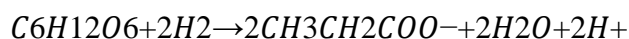
Na fase da Hidrólise, as bactérias liberam enzimas extracelulares, que transformam as moléculas maiores (polissacarídeos) em compostos orgânicos simples (monômeros). Durante a fase Metanogênese, as bactérias atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma em metano (RIZZONI et al., 2012).



Durante a fase da Acidogênese, as bactérias que produzem os ácidos transformam as substâncias resultantes da hidrólise. As moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos são convertidas em moléculas de ácidos orgânicos, etanol, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, dentre outros compostos. Para a realização do processo de fermentação, é necessário dispor de condições adequadas, especialmente de hidrogênio, pois este poderá afetar negativamente a eficiência do processo (RIZZONI et al., 2012).



Glicose Acetato



Glicose Propionato



Glicose Butirato

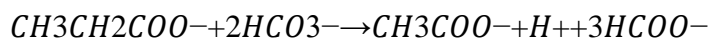
b) Acetogênese

Essa fase depende da atividade de dois grupos de bactérias acetogênicas: os produtores de hidrogênio, que convertem os compostos orgânicos anteriormente gerados em acetato, liberando hidrogênio (H₂) e dióxido de carbono (CO₂); e os consumidores de hidrogênio (Figura 2) que produzem o acetato a partir de H₂ e CO₂. Segundo Chernicharo (2007), a coexistência de bactérias produtoras e consumidoras de hidrogênio exige a manutenção de baixas concentrações de hidrogênio e, além disso, sua produção poderá ser inibida pelo acúmulo do produto acetato.

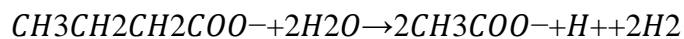
A fase Acetogênese caracteriza-se por transformar o material resultante da acidogênese em ácido etanóico, hidrogênio e gás carbônico. Essa fase exige que a quantidade de hidrogênio gerado seja consumida pelas bactérias, mantendo o equilíbrio interno do biodigestor (RIZZONI et al., 2012).



Propionato Acetato



Propionato Acetato



Butirato Acetato

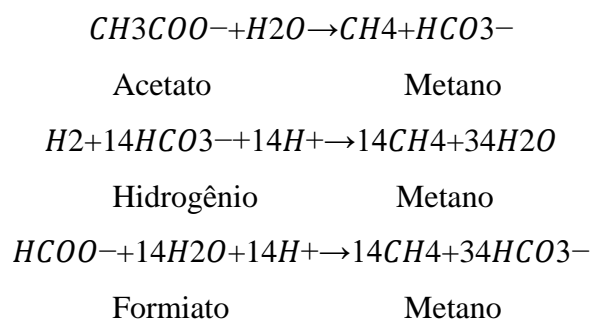
Vale ressaltar que as bactérias acetogênicas, quando comparadas às outras na cadeia, têm uma taxa de crescimento muito baixa e pouco rendimento celular. Segundo Bischofsberger et al. (2005), sua recuperação em reatores de lodo, em condições mesofílicas, demora mais que 5 dias (SILVEIRA et al., 2015).

c) Metanogênese

A etapa seguinte, a metanogênese, consome o hidrogênio e o acetato, porém o excesso de acidez também inibe este processo. Assim como a produção de metano normalmente indica o bom funcionamento da acetogênese, a diminuição na produção (causada, por exemplo, pela competição com as bactérias sulforedutoras) tem como resultado, necessariamente, o acúmulo elevado de hidrogênio (talvez também de acetato) e a inibição da acetogênese.

No final da cadeia de degradação anaeróbia nos reatores, desenvolvem-se duas funções primordiais: a produção do biogás, possibilitando, assim, a remoção do carbono orgânico da fase líquida; e, ao mesmo tempo, a manutenção das condições necessárias para a produção dos próprios substratos, promovendo baixa pressão parcial do hidrogênio e acetato no meio líquido, e resultando em metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Esses microrganismos são altamente sensíveis a inibições (SILVEIRA et al., 2015).

Durante a fase Metanogênese, as bactérias atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma em metano (biogás). Durante as reações químicas ocorre a formação de microbolhas de metano e dióxido de carbono em torno das bactérias metanogênicas, isolando-a de um contato direto com a mistura, sendo aconselhável uma agitação no biodigestor (RIZZONI et al., 2012). Abaixo, as reações que caracterizam esta fase:



Na primeira reação, ocorre a geração de metano e gás carbônico derivados do ácido acético. Na segunda o Hidrogênio e o gás carbônico dão origem ao metano e a água.

Até a Fase Metanogênica e conseqüentemente o início da produção do biogás, o tempo de transição destes processos, geralmente é de 15 dias. O tempo que o biodigestor pode levar produzindo biogás varia de 18 a 40 dias, sendo que o biofertilizante só poderá ser retirado no final do processo, ou seja, após 40 a 55 dias.

d) Sulfetogênese

Esse processo tem importância quando os substratos, contêm certas quantidades de sulfato (SO_4^{2-}), sulfito (SO_3^{2-}) ou outros compostos sulfurados. As sulforedutoras (grupo versátil de bactérias e archaeas) utilizam compostos sulfurados, principalmente sulfato, para oxidar, bioquimicamente, compostos orgânicos (ácidos orgânicos, açúcares, glicerol, etanol, aminoácidos e acetato), produzindo os gases sulfeto de hidrogênio (H_2S) e CO_2 , ou, no caso da degradação incompleta, H_2S e compostos orgânicos de menor complexidade. Na presença de compostos sulfurados, entretanto, as bactérias sulforedutoras competem com todos os compostos orgânicos formados na cadeia (Figura 2) e reduzem o rendimento da formação de biogás. Adicionalmente, o H_2S inibe as arqueias metanogênicas (SILVEIRA et al., 2015).

e) Formação de H_2S no biogás

A formação de sulfeto de hidrogênio no biogás acontece durante a digestão anaeróbia, a concentração de enxofre presente na biomassa utilizada influencia diretamente a quantidade de H_2S que estará presente no biogás (CARVALHO, 2016). A formação do sulfeto de hidrogênio ocorre pela ação das bactérias sulfato-redutoras. Em condições anaeróbias o sulfato é um aceptor de elétron e por isso se reduz a sulfeto (MANIER; VIOLA, 2007). Essas bactérias utilizam acetato e hidrogênio e competem com as metanogênicas pelos mesmos substratos (CRISTIANO, 2015).

O sulfeto de hidrogênio é um gás extremamente tóxico de cheiro desagradável e mais denso que o ar. Esse gás condensa em forma líquida a temperatura de -62°C , é parcialmente solúvel em água e em compostos orgânicos. Esse composto pode ter origem na natureza, jazidas de petróleo por exemplo, ou em seguimentos industriais, como processos de remoção química (MAINIER; VIOLA, 2005).

Este composto não é responsável somente por causar problemas relacionados a saúde, também é nocivo as instalações de produção de biogás e ao meio ambiente. Durante a combustão do H_2S é formado o dióxido de enxofre (SO_2), esse composto combinado com vapor d'água produz o gás sulfídrico que é responsável pela corrosão dos

equipamentos; reduzindo assim a vida útil de motores e compressores por exemplo (ABATZOGLOU; BOINVIN, 2009).

f) Remoção do H₂S do biogás

A remoção do H₂S pode acontecer de diversas maneiras, por via biológica ou química e, em diferentes etapas do processo de produção do biogás. Um dos métodos que tem elevada eficiência e baixo custo é a remoção por óxidos de ferro, realizada após a digestão anaeróbia (CRISTIANO, 2015). O princípio da adsorção por óxidos de ferro é um dos métodos mais antigos utilizados para remoção do sulfeto de hidrogênio. Esponjas de aço podem ser empregadas como preenchimento de filtros em que, o biogás passa e as reações de remoção de H₂S ocorrem (ZICARI, 2003). O H₂S reage com óxidos de ferro formando sulfetos insolúveis, o material adsorvente é regenerado com contato com ar (CRISTIANO, 2015; LAURENT et al., 2008).

A eficiência de remoção do H₂S do biogás da fermentação anaeróbica de dejetos de bovinos, por meio de processo químico biológico ocorrem em concentração média de 3542 ppm de H₂S na entrada do filtro o tempo de retenção do biogás foi de 288 segundos e a eficiência de remoção foi de 95% (LIN et al., 2013). A avaliação econômica do uso de biogás para produção de eletricidade com e sem sistema de remoção de H₂S, por meio de carvão ativado impregnado com 2% de iodeto de potássio, em pequenas explorações suínícolas na Tailândia, foi eficiência na remoção de H₂S que pode chegar a 100% com adsorção de 0,062 kg de H₂S kg⁻¹ do adsorvente (PIPATMANOMAI et al., 2009).

2.3 Biodigestor

O biodigestor, como toda grande ideia, é genial por sua simplicidade. Trata-se, basicamente, de uma câmara fechada onde a biomassa é fermentada anaerobicamente, e o biogás resultante é canalizado para ser empregado nos mais diversos fins.

O biogás é produzido no interior da câmara pelo processo chamado fermentação. A fermentação é o mesmo método utilizado para fabricar vinho, vinagre, cerveja e diversas outras substâncias. Ela está ocorrendo a todo momento na natureza, pelas bactérias que decompõem o amido e as demais substâncias das plantas. Alguns tipos de bactérias, como as que produzem cerveja e vinagre, por exemplo, precisam do oxigênio do ar para realizar seu trabalho. São chamadas bactérias aeróbias. Outras, as chamadas anaeróbias, só trabalham na ausência de oxigênio. São estas as que sobrevivem nos

intestinos dos animais e as responsáveis pela fermentação dos excrementos, produzindo o metano como subproduto desse processo. O biodigestor, portanto, funciona a partir do trabalho das bactérias anaeróbias.

Como o biodigestor, além de produzir gás, limpa os resíduos não-aproveitáveis de uma propriedade agrícola e gera fertilizante, é considerado por alguns como um poço de petróleo, uma fábrica de fertilizante e uma usina de saneamento, unidos em um mesmo equipamento. Ele trabalha com qualquer tipo de material que se decomponha biologicamente sob ação das bactérias anaeróbias. Praticamente todo resto de animal ou vegetal é biomassa capaz de fornecer biogás através do biodigestor. Os dejetos dos animais são o melhor alimento para o biodigestor, pelo fato de já saírem dos seus intestinos carregados de bactérias anaeróbias (BARREIRA, 2011).

A digestão anaeróbia permite o aproveitamento dos dejetos animais para a produção do biogás e do biofertilizante, principais produtos do processo, com benefícios no aumento da produtividade e preservação do meio ambiente.

O processo de digestão anaeróbia também favorece a melhoria das condições de higiene para os animais e tratadores em função da limpeza diária das instalações para recolher o esterco. O tratamento apropriado dos dejetos reduz a contaminação e também a proliferação de moscas e a mortalidade dos animais, aumentando, conseqüentemente, a produção, bem como a qualidade dos produtos (ALVES; INOUE; BORGES, 2010).

Existem vários tipos de digestores, porém todos eles visam basicamente criar condição anaeróbia, isto é, total ausência de oxigênio na biomassa a ser digerida. A escolha de um tipo ou de outro vai depender das condições locais, disponibilidade de substrato, experiência e conhecimento do construtor, investimento envolvido, etc., No entanto, qualquer digestor construído, se for corretamente instalado e operado, apresentará uma boa produção de gás.

Os biodigestores são classificados quanto a sua forma de abastecimento em: batelada e contínuos (ALVES; INOUE; BORGES, 2010).

Biodigestores em batelada; possui uma característica que consiste na adição de todo o resíduo orgânico de uma só vez na câmara digestora. Posteriormente, fecha-se hermeticamente o biodigestor, favorecendo a digestão anaeróbia. O gás produzido é armazenado na câmara digestora ou em um gasômetro acoplado a esta. Após ter completado todo o processo de biodigestão, retira-se o biofertilizante gerado e adiciona-se uma nova carga de resíduos. É um modelo indicado quando se tem resíduos em grandes quantidades em um curto espaço de tempo, como acontece com camas de frango, onde o

resíduo não se encontra diariamente na propriedade e sim ao final do crescimento das aves.

Biodigestores de escoamento contínuos; há uma carga contínua de resíduos e também uma produção constante de biofertilizante e biogás. Este modelo possui uma caixa de entrada de resíduos e uma caixa de saída do biofertilizante e o próprio substrato contido no biodigestor é responsável por parte da vedação do sistema. É indicado quando se possui uma quantidade de resíduos produzida de forma mais constante na propriedade (dejetos suíno e bovino, por exemplo) e também mão-de-obra para a realização das cargas diárias.

a) Modelos de biodigestores

Dentre os biodigestores mais conhecidos no Brasil destacam-se três modelos: indiano, chinês e canadense.

O biodigestor indiano (Figura 3) tem sua cúpula geralmente feita de ferro ou fibra. Nesse tipo de biodigestor, o processo de fermentação acontece mais rápido, pois aproveita a temperatura do solo que é pouco variável, favorecendo a ação das bactérias. Ocupa ainda pouco espaço e a construção, por ser subterrânea, dispensa o uso de reforços, tais como cintas de concreto (BARICHELLO, 2010).

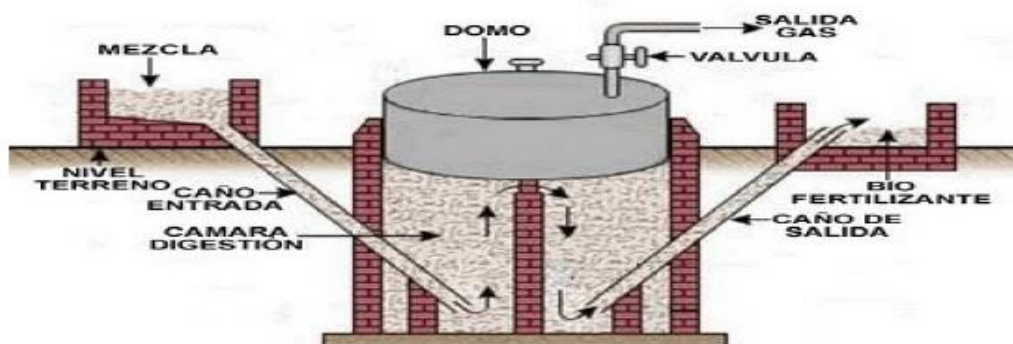


Figura 3. Esquema Biodigestor modelo indiano
Fonte: (ECO-VILLAGE, 2018)

Já o biodigestor modelo Chinês (Figura 4) foi desenvolvido de forma a ser voltado para as pequenas propriedades rurais. É um modelo de peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo, para ocupar menos espaço. Este modelo possui um custo mais barato em relação aos outros, pois sua cúpula é feita em alvenaria. O modelo chinês é mais rústico. Funciona, normalmente, com alta pressão, a qual varia em função da

produção e consumo do biogás; não há possibilidade de contar com uma câmara de regulagem, a qual lhe permitiria trabalhar com baixa pressão (BARICHELLO, 2010).

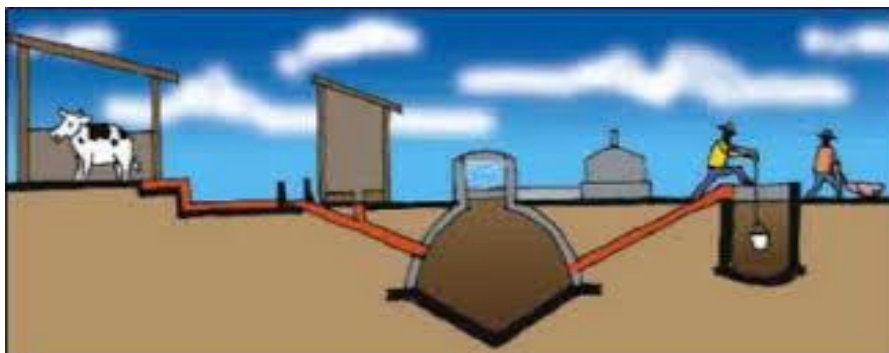


Figura 4. Esquema Biodigestor modelo chinês
Fonte: (ECO-VILLAGE, 2018)

Outro modelo de equipamento atualmente muito difundido é o biodigestor modelo canadense (Figura 5). É um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita uma grande produção de biogás (BARICHELLO, 2010).



Figura 5. Modelo canadense de biodigestor
Fonte: Barichello (2010)

2.4 Biogás

Ocorre que grande parte de energia armazenada na biomassa é simplesmente perdida, lançada na atmosfera, na forma de gases ou calor, através do processo de decomposição. Toda matéria viva, após a morte, é decomposta por bactérias microscópicas. Durante esse processo, as bactérias retiram da biomassa parte das substâncias de que necessitam para continuarem vivas, e lançam na atmosfera gases e calor. Este é o chamado biogás, uma fonte abundante, não-poluidora e barata de energia. Sua utilização permitiria que a humanidade reduzisse, drasticamente, o consumo de petróleo.

Ao contrário do álcool da cana-de-açúcar e de óleo extraídos de outras culturas, o biogás não compete com a produção de alimentos em busca de terras disponíveis. Afinal, ele pode ser inteiramente obtido de resíduos agrícolas, ou mesmo de excrementos de animais e dos homens. Assim, ao contrário de ser um fator de poluição, transforma-se em um auxiliar do saneamento ambiental. O biogás pode ser produzido a partir do lixo urbano, como já faz nos chamados “aterros sanitários” de quase todos os países desenvolvidos do mundo e cuja experiência começa a ser implementada em algumas grandes cidades brasileiras. Nas propriedades agrícolas, ele pode ser produzido em aparelho simples, os chamados BIODIGESTOR (BARREIRA, 2011).

O biogás é uma mistura de metano, do carbônico e de outros gases em menor quantidade. O metano, principal componente do biogás (65%), não tem cheiro, cor ou sabor. Mas outros gases presentes têm um cheiro semelhante ao ovo podre. Como sua participação é pequena, esse odor é muito discreto e quase sempre imperceptível. Na queima, ou seja, após ser o gás utilizado, o cheiro desaparece de modo que ele nunca será sentido pelo usuário.

O biogás é um produto em estado gasoso com características que podem ser comprovadas em Roy et al. (2011) onde ele afirma que “sua forma gasosa é constituída principalmente por uma mistura de hidrocarbonetos (compostos químicos formados por Carbono e Hidrogênio) como o Dióxido de Carbono (CO_2) e o gás Metano (CH_4). A proporção teórica dos componentes do biogás se apresenta na Tabela 1.

Tabela 1 – Componentes do biogás.

Componentes	Porcentagem (%)
Metano (CH ₄)	55 – 70
Dióxido de Carbono (CO ₂)	25 – 45
Nitrogênio (N ₂)	<3
Hidrogênio (H ₂)	<2
Oxigênio (O ₂)	0 – 0,1
Sulfeto de Hidrogênio (H ₂ S)	<1

Fonte: Roya et al. (2011).)

É a porcentagem de metano que confere ao biogás um alto poder calorífico, que varia de 5.000 a 7.000 kcal por metro cúbico. Esta variação decorre de sua maior ou menor pureza, ou seja, maior ou menor quantidade de metano. O biogás altamente purificado pode alcançar até 12.000 kcal por metro cúbico (BARREIRA, 2011).

Torna-se interessante comparar a capacidade calorífica do biogás com outras fontes energéticas encontradas na natureza. É que o mostra a Tabela 2, e na Tabela 3 mostra-se a capacidade de geração de 1m³ de biogás em relação aos dejetos de animais.

Tabela 2 – Comparação entre o biogás e outros combustíveis

Combustíveis	1m³ de biogás equivale à
Gasolina	0,613 litros
Querosene	0,579 litros
Óleo Diesel	0,553 litros
Gás de Cozinha GLP	0,454litros
Lenha	1,536 litros
Álcool Hidratado	0,790 litros
Eletricidade	1,428 kwh

Fonte: Barreira (2011)

Analisando os dados da Tabela 3, percebe-se que no caso dos dejetos suínos como matéria-prima, a produção de 1m³ de biogás requer somente 12kg de dejetos suínos. Assim sendo, se um suíno produz cerca de 2,25 kg de dejetos/dia, são necessários cerca de 5 animais para a produção de 12kg/diários de dejetos com conseqüente produção de 1m³ de biogás.

Tabela 3 – Capacidade de geração de 1m³ de biogás

MATERIAL (DEJETOS)	QUANTIDADE
Esterco de Vaca	25kg
Esterco de Suíno	12kg
Esterco Seco de Galinha	5kg
Resíduos Vegetais	25kg
Lixo	20kg

Fonte: Barreira (2011)

O biogás é um combustível renovável e limpo, é um substituinte do gás de cozinha, a sua queima não desprende fumaça e não deixa resíduos nas panelas facilitando a vida da agricultora dona de casa. A sua utilização sistemática reduz os custos do gás, incluindo o produto, transporte e armazenagem. O biogás pode ser utilizado, por exemplo, em: Fogões, Lâmpioes, Campânulas, Chocadeiras, Secadores diversos, Motores de combustão interna, Conjuntos moto-bomba, Geradores de energia elétrica (ALVES; INOUE; BORGES, 2010).

2.5 Biofertilizante

Depois de todo o processo de produção do biogás, a biomassa fermentada deixa o interior do biodigestor em forma líquida, com grande quantidade de material orgânico, excelente para a fertilização do solo. Com a aplicação deste biofertilizante no solo, melhora-se as qualidades biológicas, químicas e físicas do mesmo, superando qualquer adubo químico (BARICHELO et al., 2011).

O biofertilizante, também denominado de efluente, já se encontra completamente “curado”, quando sai do interior do biodigestor, não possui odor, não é poluente e não cria moscas. Pode ser aplicado diretamente no solo na forma líquida ou desidratada, dependendo das condições locais, no entanto, ainda possui uma carga orgânica muito elevada para ser lançado nos corpos hídricos, devendo somente ser usado como fertilizante. Sua utilização como adubo orgânico deve ser controlada, para não exceder o limite de nutrientes no solo e não vir a contaminar o lençol freático e as águas superficiais (ALVES; INOUE; BORGES, 2010).

Devido ao processo que ocorre na biodigestão, a matéria orgânica (biomassa), perde exclusivamente carbono, sob a forma do gás metano (CH₄) e gás Carbônico (CO₂), além de, aumentar o teor de nitrogênio e outros nutrientes. Desta forma, o biofertilizante

funciona como corretor de acidez do solo. O biofertilizante, ao contrário dos adubos químicos, melhora a qualidade do solo, deixando-o mais fácil de ser trabalhado e proporcionando uma melhor penetração de raízes. Além disso, faz com que o solo absorva melhor a umidade do subsolo, resistindo facilmente a longos períodos de estiagem (BARICHELLO et al., 2011).

Com o uso de adubação orgânica, o agricultor, provavelmente, diminui a aplicação de defensivos agrícolas, os quais, além de poluírem o solo, eliminam os predadores naturais das pragas, criando a necessidade da aplicação de novos e mais defensivos, o que dá início a um ciclo vicioso (RODRIGUES, 2010).

O biofertilizante pode ser disposto ao solo “in natura” ou processado, seco e peletizado. A vantagem do seu processamento está na redução de áreas para armazenamento e na facilidade de transporte, pois se deixa de armazenar e transportar água que, parte retorna para o processo na correção da umidade dos resíduos de entrada e parte vai para a atmosfera em forma de vapor d’água (RODRIGUES, 2010).

Dessa forma, o biofertilizante é um subproduto originado no processo de biodigestão, que proporciona ao máximo a utilização dos dejetos suínos, otimizando o processo de agregação de valor à propriedade rural (BARICHELLO et al., 2011)

4. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB) no Campus das Auroras, no laboratório de Biomassa, Redenção-Ceara-Brasil com a idealização de dois biodigestores em escala artesanal (escala laboratorial).

O material utilizado, e o processo de construção dos biodigestores, fundamentou-se nos trabalhos desenvolvidos por Blog BGS (2018) e por Pereira et al. (2018).

A seguir, tem-se a ilustração do esquema de montagem dos biodigestores e como foram construídos, e o processo de operação de minis biodigestores do tipo batelada construídos com materiais recicláveis, conforme a Figura 6.

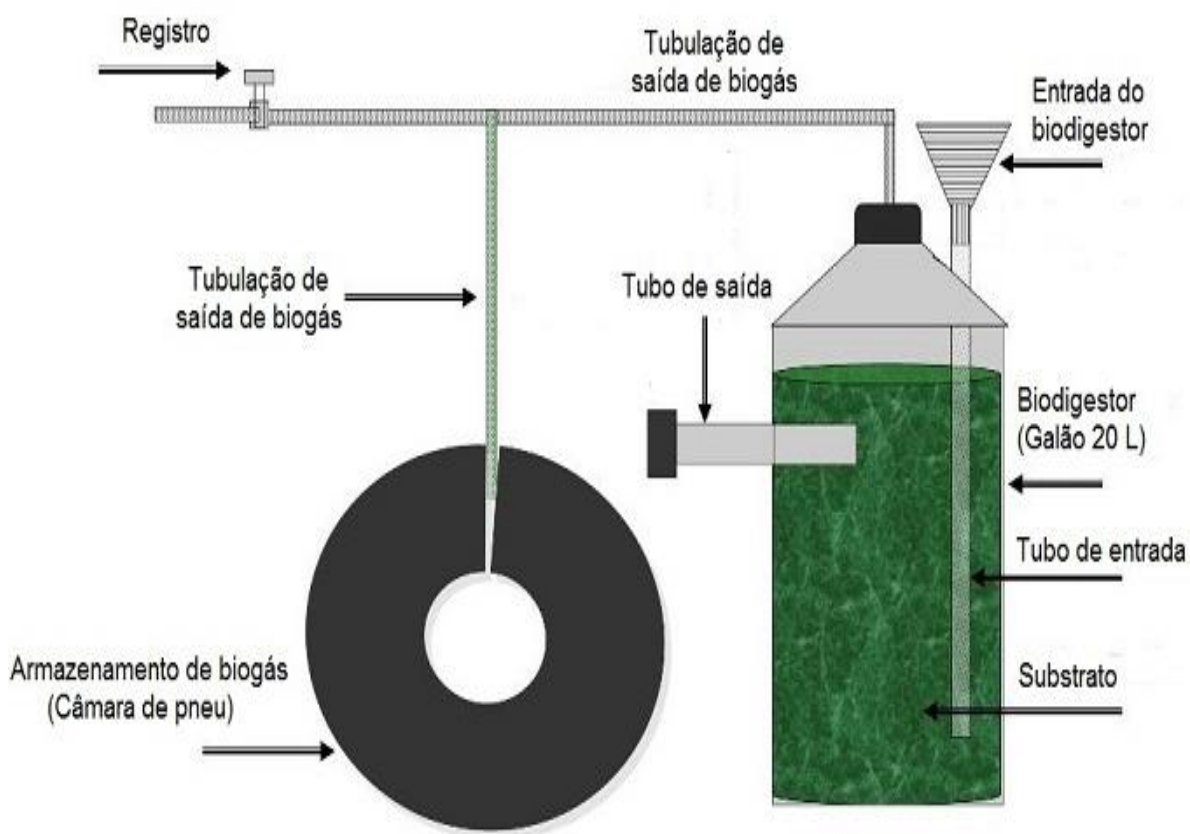


Figura 6. Esquema de montagem do biodigestor
Fonte: Pakinstan Science Club (2012),

3.1 Materiais

O processo inicial do trabalho consistiu-se na construção de dois biodigestores, sendo um com filtro de palha de aço para filtragem do Sulfeto de Hidrogênio (H_2S) e outro sem filtro. Os materiais utilizados na construção dos biodigestores foram adquiridos em lojas de materiais de construção (Tabela 4).

Tabela 4 – Lista dos materiais utilizados e a quantidade necessária para construção dos biodigestores e o preço de cada material.

Material	Quantidade	Preço (R\$)
Galão de água de 20 litros vazio, para biodigestor	02	2x20=40,00
Câmara de pneu vazia, para o armazenamento de biogás	02	2x40=80,00
Mangueira para gás ¼’’ (6 mm)	4 metros	2x14=28,00
Tee de diâmetro ¼’’ (6 mm)	02	2x4,90=9,80
Válvula com registro de diâmetro ¼’’ (6 mm)	02	2x6,50=13,00
Abraçadeira rosca (12-15 mm)	10	10x1,00=10,00
Tubo PVC de diâmetro ¾’’ (20 mm)	2 metros	2x2,50=5,00
Cap de PVC de diâmetro ¾’’ (20 mm);	4	4x2=8,00
Tubo de cola tipo Super bonder	2	2x8=16,00
Serra	01	5,00
Veda rosca	01	1,00
Areia fina;	-	-
Sacola plástica	-	-
Rolo de fita adesiva	01	2x1,50=3,00
Pincel	01	2,50
Lata pequena de tinta cor preta	01	3,50
Balde de plástico de 20 litros	01	-
Funil de plástico	01	2,50
Equipamento de solda (opcional).	01	-
	Total	227,30

Fonte: Autor (2018)

3.2 Métodos

3.2.1 Procedimentos de construção

Inicialmente, cortou-se o tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ " (20 mm) para que este fique na mesma altura do gargalo do galão (Figura 7).



Figura 7. Corte do tubo PVC
Fonte: Autor (2018)

Em seguida, para a entrada de matéria orgânica, fez-se uma abertura na parte de cima do galão com diâmetro igual ao do tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ " (20 mm), sendo recomendado o uso de máquina de solda para fazer esta abertura. Encaixou-se o tubo de PVC de $\frac{3}{4}$ " (20 mm) na abertura, deixando um espaço de 5 cm acima do fundo do galão. Conectou-se um dos cap de PVC de $\frac{3}{4}$ " (20 mm) na extremidade do tubo que foi para fora do galão, como mostrada na Figura 8.

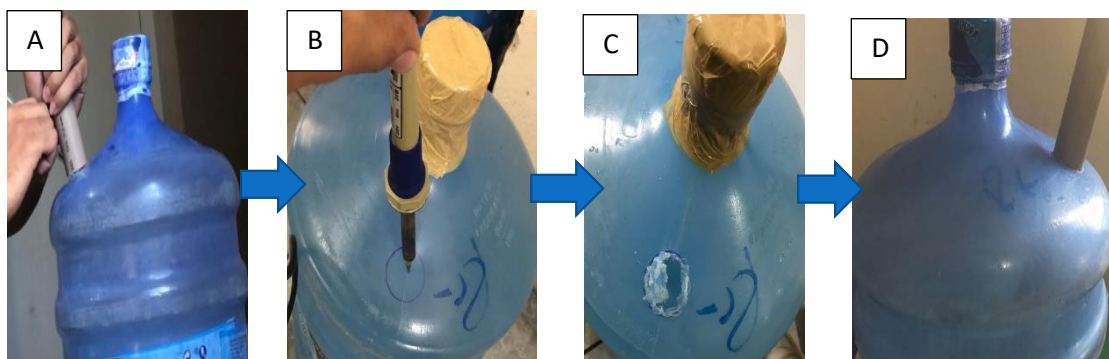


Figura 8. Abertura na parte de cima do galão. Marcação do buraco no galão (A); Fez se abertura no galão (B); Abertura feita para encaixar o tubo PVC (C) e encaixar o tubo PVC para dentro do galão (D).
Fonte: Autor (2018).

Para a saída da matéria orgânica digerida, fez-se outra abertura na lateral do galão com diâmetro de 2 cm, no lado oposto ao tubo de entrada, a aproximadamente 10 cm abaixo da parte de cima do galão. Encaixou-se o restante do tubo de PVC de ¾” (20 mm) e conectou o outro cap de PVC de ¾” (20 mm) na extremidade do tubo que foi para fora do galão (Figura 9).

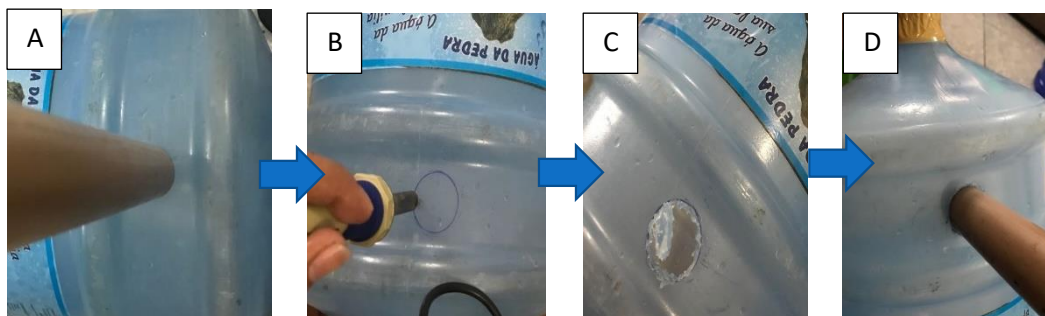


Figura 9. Abertura na lateral do galão. Marcação do buraco no galão (A), fez se abertura no galão (B), abertura feito para encaixar o tubo PVC (C) e encaixar o tubo PVC para dentro do galão (D).
Fonte: Autor (2018)

Na fixação dos tubos para evitar a entrada de ar no biodigestor, colocou-se um pouco de areia fina ao redor da conexão entre o tubo e galão e passou cola tipo super bonder, como ilustrada na Figura 10.



Figura 10. Fechar os tubos e evitar a entrada de ar no biodigestor
Fonte: Autor (2018)

Em relação a saída de biogás no biodigestor, estabeleceu-se uma abertura lateral no gargalo do galão com diâmetro de 0,6 cm. Encaixou a tubulação maleável de ¼” (6

mm) e fez da mesma maneira como foi realizado anteriormente, com areia e cola (Figura 11).

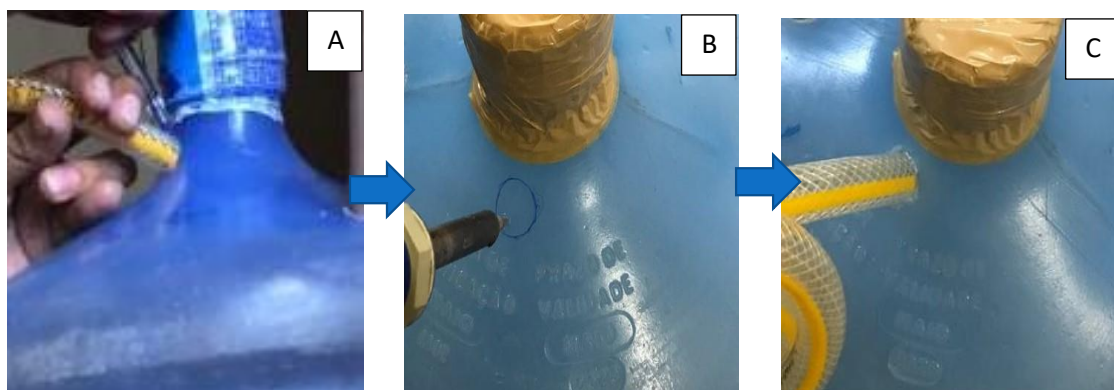


Figura 11. Abertura lateral no gargalo do galão. Marcação de um buraco no galão (A), fez se abertura no galão (B), e encaixar o tubo maleável para dentro do galão (C).
Fonte: Autor (2018)

Posteriormente, cortou-se a tubulação maleável de $\frac{1}{4}$ '' (6 mm) e conectou uma ponta na parte central do tee de $\frac{1}{4}$ '' (6 mm). Em uma das pontas do tee colocou um pedaço da tubulação de $\frac{1}{4}$ '' (6 mm) e em seguida conectou com a câmara de pneu. Na outra extremidade do tee acoplou-se o restante da tubulação de $\frac{1}{4}$ '' (6 mm) e na extremidade final da tubulação ligou-se a válvula com registro de $\frac{1}{4}$ '' (6 mm), ilustrada na Figura 12.

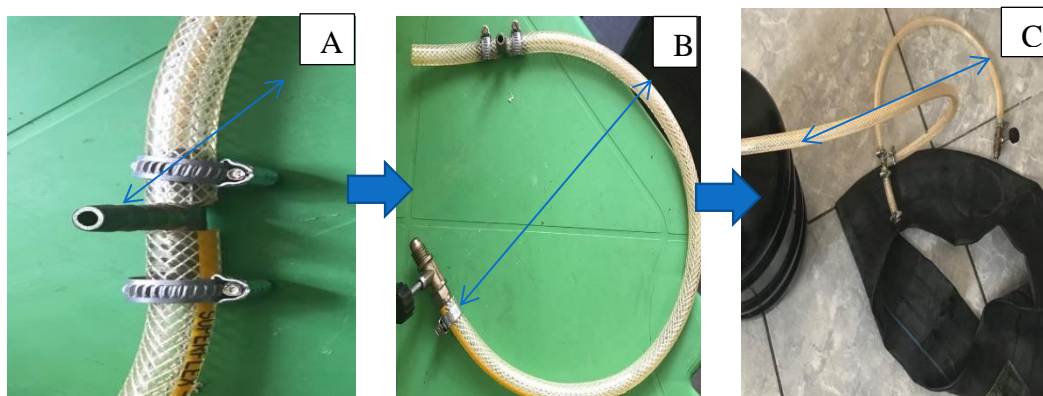


Figura 12. Corte da tubulação maleável e montagem do tee. Tee (A), Braçadeira (B) e a tubulação maleável (C).
Fonte: Autor (2018)

Após esse procedimento, fechou-se completamente o bico do galão com um pedaço da sacola plástica e fortificou com a fita adesiva ao redor para vedar a entrada de ar (Figura 13).



Figura 13. Fechar o bico do galão
Fonte: Autor (2018)

Na Figura 14 a seguir, observa-se como deve ficar a montagem final do mini biodigestor.



Figura 14. Montagem final do mini biodigestor
Fonte: Pakistan Science Club (2012)

Com a finalidade de aumentar a temperatura dentro do biodigestor e evitar que a incidência de luz solar direta e estimular a criação de algas, prejudicando a produção de biogás, foi recomendado pintar toda a parte externa do galão com tinta de cor preta (Figura 15).



Figura 15. Biodigestor pintado
Fonte: Autor (2018)

3.2.2 Operação do Biodigestor

A operação do biodigestor foi iniciada com a preparação do substrato dentro de um balde plástico, no qual colocou-se 8 Kg de esterco bovino. Em seguida adicionou-se água na mesma proporção e homogeneizou-se. Esse processo foi realizado para os dois biodigestores (Figura 16).



Figura 16. Pesagem do esterco (A) e homogeneização do esterco com água (B).
Fonte: Autor (2018).

Segundo Barreira (2011) o material orgânico utilizado deve ser sempre carregado na forma líquida, para que não haja bloqueio na produção de gás. A regra geral é que se misture a matéria sólida com igual proporção de água. Mas existem algumas porcentagens de mistura já amplamente analisadas e que podem ser observadas pelo produtor, garantindo um maior índice de produção.

Para a realização da mistura do esterco com água baseou-se na recomendação da literatura conforme a Tabela 5.

Tabela 5 – Proporção do material usado na biodigestão.

Espécie animal	Esterco por animal (Kg)	Total de esterco (kg)
	A	$C = A \times B$
Caprino/ovino ⁶	0,5	1:4 a 5
Vaca	7	1:1
Vaca leiteira ⁷	25	1:1
Bezerro ⁶	2	1:1
Boi ⁶	15	1:1
Suíno ⁷	4	1:1,3

Fonte: Adaptado de Brasil (2008).

Na alimentação dos biodigestores, retirou-se o cap da tubulação de entrada do biodigestor e com o auxílio do funil despejou aos poucos todo o substrato contido no balde. Fechou-se novamente a tubulação de entrada com o cap (Figura 17).



Figura 17. Alimentar biodigestor (A) e fechar tubulação com cap (B).
Fonte: Autor (2018)

Após de alimentação, certificou-se de que a tubulação de saída estava fechada com o cap. Nas próximas incorporações de substrato no biodigestor o tubo de saída deve estar aberto, sem o cap, para permitir a saída da matéria orgânica já digerida. Este material foi coletado e utilizado como biofertilizante para adubar plantas.

Logo após esse processo, deixou-se o biodigestor em um local seguro e exposto ao sol durante uma a duas semanas, pois a primeira produção de biogás é mais lenta, como ilustra na Figura 18.



Figura 18. Biodigestores alimentados, A biodigestor com filtro e B biodigestor sem filtro.
Fonte: Autor (2018)

Depois de duas semanas, o biodigestor começou a produzir biogás, e em três para quatro semanas a câmara de ar foi preenchida totalmente (Figura 19).



Figura 19. A câmara de ar foi preenchida totalmente
Fonte: Autor (2018)

Após os biodigestores terem produzido biogás, foram feitas as medições de análise dos gases para identificar quais foram os gases presentes na composição do biogás e quantificou a quantidade de cada um deles, com o auxílio de um instrumento de medição de gás portátil digital (Figura 20).



Figura 20. Mediação e análise do biogás
Fonte: Autor (2018)

Na análise dos gases, utilizou-se um medidor do gás portátil digital (Landtec GEM™ 5000 Portable Gas Analyzer) para fazer a medição dos tipos de gases do biogás nos dois biodigestores instalada. Durante a medição constatou-se os seguintes gases: metano (CH_4), gás carbônico (CO_2), Oxigênio (O_2), monóxido de carbono (CO) e sulfeto de hidrogênio (H_2S), ilustrado na Figura 21.



Figura 21. Medidor portátil digital (Landtec GEM™ 5000 Portable Gas Analyzer)
Fonte: Autor (2018).

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O investimento para a construção dos dois biodigestores artesanais tipo batelada foi de R\$ 227,30. Portanto mostrou-se que, para a idealização de biodigestores de pequena escala (utilizando garrafa de água com dimensão de 20 litros) foi considerado um investimento de baixo custo em comparação a construção de outros tipos de biodigestores como indiano, chinês e canadense que possuem dimensões maiores. Conforme Oliver (2008) na instalação de um biodigestor, é importante considerar os mais variados tipos de biodigestores presentes no mercado, buscando adequar sempre para as características de cada propriedade. Julgando a rentabilidade de instalações de biodigestores, os objetivos de cada escolha têm importância decisiva.

Nesse sentido, a construção dos biodigestores tipo batelada é adequada para as áreas rurais que tem menor espaço e a disponibilidade da matéria prima são limitadas, ou seja, a matéria prima é disponibilizada a cada certo período. Já na construção de outros tipos de biodigestores que são de maior escala e que necessita maior espaço onde disponibilidade de matéria prima é continuamente é necessária construção de biodigestor de maior escala do tipo indiano, chinês ou canadense. Por isso, o investimento para esses biodigestores de maior escala é um pouco alto em relação ao construção e instalação dos biodigestores artesanal do tipo batelada.

Segundo Silva (2016) que realizou a construção de um biodigestor indiano com dimensão de 3000 L (caixa de água de fibra de vidro), no município de Barreira, Ceará, afirmou que para a construção e instalação do biodigestor em pequena propriedade rural teve um investimento de R\$ 2.903,50 sendo considerando razoavelmente de baixo custo, quando se comparou aos resultados advindos da tecnologia de modelos como o canadense.

O biodigestor artesanal de batelada com filtro de palha de aço começou a produzir biogás aos 14 dias, ou seja, duas semanas após alimentação. Duas semanas depois, o biodigestor sem filtro começou a produzir biogás, isso ocorreu, por que teve um vazamento na câmara de ar de carro que foi usada para armazenar o biogás. Caso isso não tivesse ocorrido, provavelmente os dois biodigestores teriam produzido o biogás no mesmo período de tempo, já que o esterco utilizado foi igual para os dois.

Após 21 dias de fermentação da biomassa nos dois biodigestores, verificou-se que as câmaras de ar de ambos ficaram completamente cheias (Figura 22), por isso, que foi liberado o biogás através da queima (Figura 23) para esvaziar e evitar explosão. Esse

processo foi realizado durante 3 semanas, totalizando 36 dias de avaliação. Isso mostrou que cada biodigestor produziu bastante volume de biogás. Após esse período, não ocorreu mais a produção de biogás, pois, à biomassa nos biodigestores foram totalmente degradadas pela a biodigestão. A retirada do biofertilizante ocorreu após uma semana do término da produção do biogás. O biofertilizante foi utilizado nas plantas ornamentais existentes no Campos das Auroras.

A Figura 22 a seguir ilustra a produção de biogás quando as câmaras de ar ficaram cheias e a Figura 23 mostra a queima de biogás.



Figura 22. A produção de biogás, quando a câmaras de ar ficaram cheias. A) biodigestor com filtro e B) biodigestor sem filtro.
Fonte: Autor (2018).

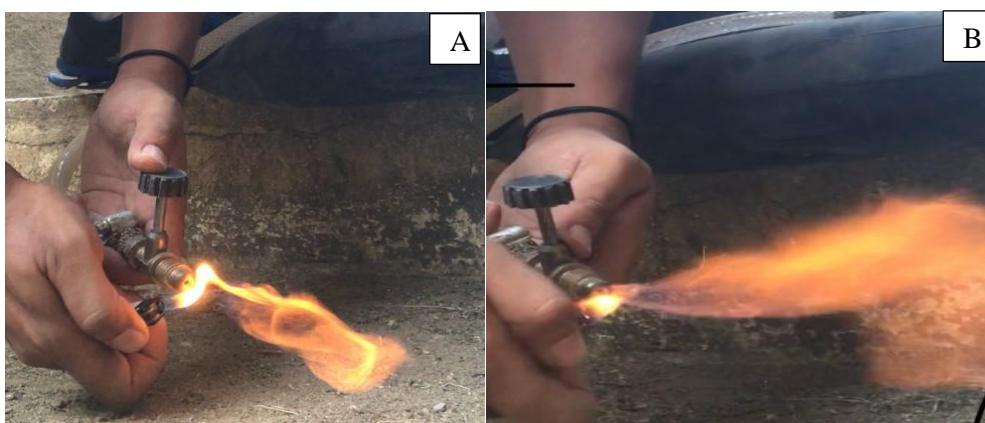


Figura 23. A queima do biogás produzido. A) é a queima do biogás com filtro e B) é a queima do biogás sem filtro.
Fonte: Autor (2018).

Pereira et al. (2018) estudaram a produção de biogás em dois biodigestores do tipo batelada (artesanal), abastecidos com esterco caprino e cama avícola, e analisaram qual das biomassas residuais apresenta melhores vantagens quando submetidas a processo de biodigestão anaeróbia a partir da concentração de NH_4 , CO_2 , NH_3 e H_2S . Os autores verificaram que a produção de biogás utilizando esterco de caprino e cama avícola em ambos os biodigestores iniciaram a produção de biogás na primeira semana após alimentação. Alcócer et al. (2014) verificaram que a produção inicial de biogás ocorreu no segundo dia após alimentação de biodigestor tipo batelada utilizando resíduos de frutas como a matéria prima. Comparando com o biodigestor tipo batelada abastecido com esterco de bovino, observou-se que a produção inicial de biogás é mais lenta, pois só foi verificada a produção de biogás a partir da segunda semana após alimentação dos mesmos.

Na Tabela 6, têm-se a comparação do biogás dos dois biodigestores com esterco de bovino, sendo, um biodigestor com filtro e outro sem filtro. Na avaliação dos gases do biodigestor com filtro observou-se 60,8% de CH_4 , 24% de CO_2 , 2,1% de O_2 , 17 ppm de CO e 8 ppm de H_2S . Já, o biodigestor sem filtro, mostrou 50,5% de CH_4 , 24,3% de CO_2 , 2,1% de O_2 , 19 ppm de CO e 4 ppm de H_2S .

Tabela 6 – Comparação dos gases do biogás de biodigestores instalados em laboratório de biomassa nos campos das Auroras.

GASES	CONCENTRAÇÃO	
	Biodigestor com filtro	Biodigestor sem filtro
Metano (CH_4)	60,8%	50,5%
Dióxido de carbono (CO_2)	24,0%	24,3%
Oxigênio (O_2)	2,1%	2,1%
Monóxido de carbono (CO)	17ppm	19ppm
Sulfeto de Hidrogênio (H_2S)	8ppm	4ppm

Fonte: Autor (2018).

A quantidade de gás carbônico observada nos biodigestores foram 24% (filtro) e 24,3% (sem filtro) mostrando que são inferiores ao do metano produzido. Segundo Oliveira e Domingues (2011) relatam que o valor desse parâmetro significa que o metano é 20 vezes mais nocivo ao meio ambiente comparado ao CO_2 no que se atribui ao agravamento do efeito estufa e o Potencial de Aquecimento Global (GWG) do CO_2 é

apenas 1 e as estimativas relacionadas às emissões equivalentes de CO₂ correspondente às emissões de CH₄ pode-se considerar que o GWG se refere a 21.

Portanto, o CH₄ produzido pela biodigestão no interior dos biodigestores instalados proporciona redução da emissão direto dos gases do efeito estufa na atmosfera. Conforme Marques et al. (2014) a utilização da tecnologia do biodigestor favorece uma destinação adequada aos dejetos de animais e promove a conscientização das comunidades rurais sobre os impactos ambientais e da emissão de gases de efeito estufa na atmosfera, bem como o seu possível agravante no aquecimento global.

O biodigestor com filtro apresentou maior quantidade de H₂S em relação ao biodigestor sem filtro. O biodigestor com filtro de palha de aço foi utilizado para remoção de enxofre, já que a palha de aço é um material barato, fácil de adquirir e também facilidade na montagem no biodigestor. O resultado mostrou que o uso do filtro não foi eficiente, já que o objetivo do uso foi para a redução da quantidade de H₂S (Tabela 6), visto que, o H₂S é prejudicial ao biogás influenciando na queima e na vida útil do material de armazenagem podendo ocasionar a corrosão.

Abatzoglou e Boinvin (2009) afirmam que o H₂S não é responsável somente por causar problemas relacionados à saúde, também é nocivo as instalações de produção de biogás e ao meio ambiente. Durante a combustão do H₂S é formado o dióxido de enxofre (SO₂), esse composto combinado com vapor d'água produz o gás sulfídrico que é responsável pela corrosão dos equipamentos; reduzindo assim a vida útil de motores e compressores, por exemplo. Muche e Zimmerman (1985) reportam que a presença de H₂S no biogás o torna corrosivo para as peças de metal e galvanizadas que são igualmente sujeitas à corrosão da superfície. Afirma ainda, que o efeito do H₂S sobre metais não-ferrosos em componentes de equipamentos, tais como reguladores de pressão, medidores de gás e válvulas, é muito mais grave, pois eles são muito rapidamente corroídos também em motores a gás (selos e válvulas).

O biodigestor com filtro apresentou H₂S de 8ppm e o sem filtro 4ppm, verificou-se que foram inferiores ao padrão estabelecido que é 1%, no qual CCE (2000) relata que o H₂S está presente normalmente numa quantidade inferior a 1% (10.000 ppm) do volume de biogás devido ser um gás altamente tóxico, mesmo quando presente em níveis reduzidos (inferiores a 1.000 ppm). De acordo com Matinc et al. (2013) dependendo da concentração de H₂S pode tornar o uso do biogás limitante, pois, é um gás com propriedades corrosivas. Carvalho (2016) informa que a formação de H₂S no biogás acontece durante a digestão anaeróbia, a concentração de enxofre presente na biomassa

utilizada influencia diretamente a quantidade de H_2S que estará presente no biogás. Mainier e Viola (2005) relata que o sulfeto de hidrogênio é um gás extremamente tóxico de cheiro desagradável e mais denso que o ar. Esse gás condensa em forma líquida a temperatura de $-62^\circ C$ são parcialmente solúveis em água e em compostos orgânicos.

No estudo com biodigestor de batelada, observou-se que não foi eficiente. Poderia ter sido testado outros tipos de filtros ou a realização da troca do filtro de palha de aço a cada semana, talvez o resultado obtido fosse satisfatório na remoção do H_2S no biogás. A troca do filtro não foi realizada durante a condução do experimento, devido ao curto período para realização do trabalho e a forma que os biodigestores foram projetados. Para ter ocorrido o sucesso da utilização do filtro, outra situação provável poderia ter sido a quantidade de palha de aço colocado no revestimento do filtro e maior compactação do mesmo.

. Anerousis e Whitman (1985) afirmam que o processo de palha de aço resulta ser um método muito eficaz e econômico, para a remoção de H_2S do biogás, desde que o equipamento esteja devidamente projetado e operado. Zicari (2003) relata esponjas de aço podem ser empregadas como preenchimento de filtros em que, o biogás passa e as reações de remoção de H_2S ocorrem.

Através dos resultados obtidos pode-se relatar que foram satisfatórios na de biogás, portanto, considera-se viável a construção e instalação da tecnologia de biodigestores artesanais feitos com materiais recicláveis, pois, são baratos e de fácil acesso para pequenas áreas rurais. Nesses locais, o biogás produzido pode ser utilizado na geração de energia térmica, energia elétrica com o uso de um gerador e pode substituir a lenha e o gás de cozinha GLP (Gás liquefeito de petróleo). Já o biofertilizante, é empregado na fertilização das plantações em geral da propriedade rural proporcionando a ciclagem de nutrientes no solo sendo de suma importância para o desenvolvimento das plantas.

6. CONCLUSÕES

Do ponto de vista energético, o biogás produzido a partir da biodigestão de dejetos bovinos, observa que o biodigestor com filtro detém de maior qualidade em comparação ao biodigestor sem filtro. Entretanto, a biodigestão com filtro, produz uma maior quantidade de gás metano (CH_4) que é o principal gás de produção de biogás comparando ao biodigestor sem filtro, estando apto para utilização energética a partir da terceira semana de biodigestão.

Os dois biodigestores produzem biogás e biofertilizante, mesmo em pequena escala, montados com material reciclável, isso mostra que qualquer pessoa, principalmente pessoas de áreas rurais estão apta a adquirir materiais para construir e instalar essa tecnologia de biodigestor artesanal ou batelada, desde um projeto elaborado e mecanizado a um projeto de batelada trocado a cada certo período.

O biogás produzido com material coletado da região a partir do excremento animal mostra-se eficaz em suas propriedades de combustão e se encontra dentro da faixa recomendada para produtividade da formação de biogás.

O metano teve um rendimento relativamente bom, propondo que este processo possa ser utilizado em locais adequados (áreas rurais) para geração de energia. Por isso, novas matérias-primas, biodigestores, regiões e até mesmo outros testes podem ser aplicados, para atestar a melhor possibilidade, para maior produção de metano, de forma sustentável e economicamente viável que possa atender as necessidades principalmente das pessoas vivem em áreas rurais possibilitando a melhoria na qualidade de vida.

REFERÊNCIAS

ABATZOGLOU, N.; BOIVIN, S. A review of biogas purification processes. **Biofuels Bioproducts & Biorefining-Biofpr**, v.3, p. 42–71. 2009.

ALCÓCER, J. C. A.; DUARTE, J. B. F.; CAJAZEIRAS; M. L. M.; OLIVEIRA, R. G.; ROCHA, Y. M. G.; PONTES, B. C. M.; J.; DUARTE; I.; QUEIROZ, D. M. B.; RAMOS, K. M.; DIOGO; G, J. O.; DANTAS, G. N. Produzindo Biogás a partir de Resíduos de Frutas para Gerar Energia Elétrica. **Revista Sodebras**, v. 9, p. 113-116, 2014.

ALVES, E. E. N.; INOUE, K. R. A.; BORGES, A. C. Biodigestores: construção, operação e usos do biogás e do biofertilizante visando a sustentabilidade das propriedades rurais. **II Simpósio Brasileiro de Agropecuária Sustentável**, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa/mg, p.6-6, 25 set. 2010.

ANEROUSIS, J. P.; S. K. WHITMAN. **Iron Sponge: Still a Top Option for Sour Gas Sweetening**. Oil and Gas Journal February, 1985. 18: 71-76.1985.

BARREIRA, P. **BIODIGESTORES: Energia, Fertilidade e Saneamento para a Zona Rural**. 3. ed. São Paulo: Ícone, 2011

BARICHELLO, R. **O USO DE BIODIGESTORES EM PEQUENAS E MÉDIAS PROPRIEDADES RURAIS COM ÊNFASE NA AGREGAÇÃO DE VALOR: UM ESTUDO DE CASO DA REGIÃO NOROESTE DO RIO GRANDE DO SUL**. 2010. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Centro de Tecnologia, Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R.; CASAROTTO F. N.; BRONDANI, J. C.; BERNARDI, F. 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. **XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Inovação Tecnológica e Propriedade Intelectual: Desafios da Engenharia de Produção na Consolidação do Brasil no Cenário Econômico Mundial**. Belo Horizonte, MG, Brasil, 04 a 07 de outubro de 2011

BISCHOFBERGER, W.; DICHTL, N.; ROSENWINKEL, K. H.; SEYFRIED, C. F.; BOHNKE, B. **Anaerob technik**. Berlin. Heidelberg: Springer-Verlag, 2005.

BLOG BGS. Disponível em: <<http://bgsequipamentos.com.br/?entrar=1>>. Acesso em: 15 ago. 2108.

CARVALHO, C. G. **Desenvolvimento de nano filtro para remoção de sulfeto de hidrogênio do biogás**. 2016. 103 f. Monografia (Curso de graduação em Engenharia de Energia) Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2016.

CCE – Centro para conservação de energia. **Guia Técnico de Biogás**. Amadora – Portugal.117p.2000.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. (Princípios do tratamento biológico de águas residuais, v.5).

CRISTIANO, D. M. **Remoção de H₂S com óxido de ferro nano estruturado para fins de purificação de biogás**. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015

ECO-VILLAGE. Biodigestor Chinês de cúpula fixa. Disponível em <<https://www.google.com.br/search?q=ECOVILLAGE.+Biodigestor+Chin%C3%AAs+de+c%C3%BApula+fixa.&oq=ECOVILLAGE.+Biodigestor+Chin%C3%AAs+de+c%C3%BApula+fixa.&aqs=8>>. Acesso em: 7 de agosto de 2018.

ENCICLOPÉDIA GLOBAL. **Timor-Leste, Aspectos Gerais de Timor-Leste**. Disponível em: <<http://www.megatimes.com.br/2011/11/timor-leste-aspectos-geograficos-e.html>>. Acesso em: 30 de julho de 2018.

GLOBO.COM. Disponível em: <<http://g1.globo.com/Noticias/Mundo/0,,MUL1283514-5602,00-CONHECA+A+HISTORIA+DE+TIMOR+LESTE.html>> Acesso em: 30 de julho de 2018

GONÇALVES, H. F. E.; HÉRICA F. E.; LIMA, R. D. S.; WEISS, V. A. B.; MENEZES, V. D. S. **O BIODIGESTOR COMO PRINCÍPIO DE SUSTENTABILIDADE DE UMA PROPRIEDADE RURAL**. 2009. Disponível em: <http://www.catolica_to.edu.br/portal/portal/downloads/docs_gestaoambiental/projetos2009_1/1_perodo/O_biodigestor_como_principio_de_sustentabilidade_de_uma_propriedade_rural.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2018.

INPE. **Instituto Nacional de Pesquisa Espacial**. Disponível em: <http://clima1.cptec.inpe.br/estacoes/pt> Acesso em: 30 de julho de 2018.

LAURENT, S.; FORGE, D.; PORT, M.; ROCH, A.; ROBIC, C.; ELST, L. V.; MULLER, R. N. **Magnetic Iron Oxide Nanoparticles: Synthesis, stabilization, vectorization, physicochemical characterizations, and biological applications**. *Chem. Ver*, v. 108, P. 2064-2110, 2008.

LIN, W. C.; CHEN, Y. P.; TSENG, C. P. Pilot scale chemical–biological system for efficient H₂S removal from biogás. **Bioresource Technology**, v.135, p283-291, 2013.

MATINC, C.; LINS, L. P.; BONA, E. M.; SOMER, J. G.; MILANI, L. M.; TANIA MENEGOL, T.; BLEY JÚNIOR, C. **Comparação da composição do biogás gerado entre granja produtora de leitões e uma granja terminação de suínos**. In: III Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos Agropecuários e Agroindustriais, 12 a 14 de março, São Pedro, SP, p. 1-4, 2013.

MAINIER, F. B.; VIOLA, E. D. M. O Sulfeto de Hidrogênio (H₂S) e o Meio Ambiente. Universidade Federal Fluminense e INMETRO/LATEC (UFF). **II Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia – SEGET**, 2005.

MARQUES; S. M. A. A.; SILVA JÚNIOR, F. J.; MONTEIRO, M. K. M. D.; VIEIRA, A. S.; VENTURA, F. A.; VENTURA JÚNIOR, R. Produção de biofertilizante, adubo orgânico e biogás para agricultura familiar. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, v.18, n. 3, p. 990-999, 2014.

MUCHE, H. ZIMMERMAN, H. “**Purification of biogás**”. A Publication of the Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien – GATE, pág. 25,1985.

OLIVEIRA, W. R.; DOMINGUES, E. G. Energia Elétrica e Créditos de Carbono: uma Proposta de Aproveitamento Energético do biogás Gerado em Estações de Tratamento de Esgoto: Estudo de Caso, **Revista Unopar Científica Exatas Tecnologia**, Londrina, v. 10, n. 1, p. 61-67, 2011.

OLIVER, A.P.M. **Manuel de treinamento em biodigestão**. Brasil. Instituto Winrock. Fev. 2008. P. 6 – 20.

PAKINSTAN SCIENCE CLUB. **Making of DIY Biogás Plant, Anaerobic Digester Experiment Featured**. Disponível em: <<http://www.paksc.org/pk/diy-projects/764-biogas-plant-experiment>> Acesso em: 15 de agosto de 2018.

PEREIRA, L. C.; BALBINO, M. V.; VIANA, L. S.; FARIAS, N. S. N.; XAVIER, M. R. R.; RAMOS, W. Q.; CORREIO, J. A. C. Estudo comparativo de biogás produzido com resíduos animais. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Pará, p.1-17, 2018.

PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUAN, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. **Applied Energy**, v.86, p.669 - 674, 2009.

RIZZONI, L. B.; TOBIAS, A. C. T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J. A. D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*. V.9,n.18, 2012

ROYA, B.; FREITAS, E.; BARROS, E.; ANDRADE, F.; PRAGANA, M.; SILVA, D. J. A. **Biogás –uma energia limpa**. *Revista Eletrônica Novo Enfoque*, ano 2011, v. 13, n. 13, p. 142 –149.

SILVEIRA, B. et al. **Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto / Probiogás** ; organizadores, Ministério das Cidades, Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ) ; Brasília, DF : Ministério das Cidades, 2015.

SILVA, M. L. **Aplicabilidade de uma tecnologia sustentável no Município de Barreira do Maciço de Baturité**. [Dissertação]. Redenção: Sociobiodiversidade e Tecnologias Sustentáveis/UNILAB; 2016. 76 p.

SOLAR, Portal. **ENERGIA RENOVÁVEL**. Disponível em: <<https://www.portalsolar.com.br/blog-solar/energia-renovavel/energia-renovavel.html>>. Acesso em: 30 jul. 2018.

TIMOR LESTE BLOGSPOT. Disponível em:< <http://timordili.blogspot.com.br/2015/03/geografia-de-timor-leste.html>> Acesso em: 30 de julho de 2018.

ZICARI, S. M. **Removal of hydrogen sulfide from biogas using cow- manure compost.** 2003. Dissertação (Mestrado em Ciência). Department of biological and Environmental Engineering, Cornell, Ithaca. 2003.