



UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA – UFPB
CENTRO DE TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO
REGIONAL - CTDR
DEPARTAMENTO DE TECNOLOGIA SUCROALCOOLEIRA
- DTS

JAILSON BARBOSA DO NASCIMENTO

BIODIGESTOR DE BANCADA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR
DE VINHAÇA: UMA PROPOSTA PARA AULAS EXPERIMENTAIS

JOÃO PESSOA

2019

JAILSON BARBOSA DO NASCIMENTO

**BIODIGESTOR DE BANCADA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR
DE VINHAÇA: UMA PROPOSTA PARA AULAS EXPERIMENTAIS**

Trabalho de Conclusão do Curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira do Centro de Tecnologia e Desenvolvimento Regional da Universidade Federal da Paraíba, como requisito para a obtenção do grau de Tecnólogo em Produção Sucroalcooleira.

Orientador(a): Prof^a Dr^a. Marcia Helena Pontieri

João Pessoa

2019

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

N244b Nascimento, Jailson Barbosa do.

Biodigestor de bancada para produção de biogás a partir de vinhaça : uma proposta para aulas experimentais / Jailson Barbosa do Nascimento. - João Pessoa, 2019. 38 f. : il.

Orientação: Marcia Helena Pontieri.
Monografia (Graduação) - UFPB/CTDR.

1. Aproveitamentos de resíduo. 2. Digestão Anaeróbia.
3. Cana-de-açúcar. I. Pontieri, Marcia Helena. II. Título.

UFPB/BC

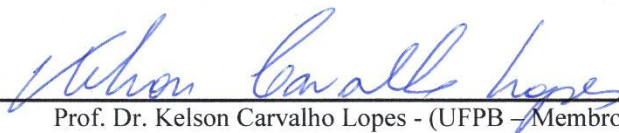
**BIODIGESTOR DE BANCADA PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR
DE VINHAÇA: UMA PROPOSTA PARA AULAS EXPERIMENTAIS**

TCC aprovado em 10/05/19 como requisito para a conclusão do curso de Tecnologia em
Produção Sucroalcooleira da Universidade Federal da Paraíba.

BANCA EXAMINADORA:



Prof.^ª. Dr.^ª. Márcia Helena Pontieri - (UFPB – Orientadora)



Prof. Dr. Kelson Carvalho Lopes - (UFPB – Membro interno)



Prof.^ª. Dr.^ª. Márcia Aparecida Cezar - (UFPB – Membro Interno)

João Pessoa, 10 de maio de 2019.

“A necessidade é quem faz o homem...”

(Autor desconhecido)

“Uma experiência nunca é um fracasso, pois sempre vem demonstrar algo”

(Thomas A. Edison)

AGRADECIMENTO

Agradeço a Deus primeiramente pelo precioso dom da vida, a Nossa Senhora que não me desamparou quando pensei em desisti.

A minha filha Maria Sofia, que foi um presente do céu nesse período acadêmico. Aos meus familiares que estenderam a mão para persistir nos meus sonhos. A Dagmar Cosmo que aguentou os desesperos quando não encontrava solução.

A minha orientadora Prof^a. Marcia Helena Pontieri que me ajudou a entender sobre a caminhada acadêmica, na ideia, e nesse caminho importante de finalização pesquisa.

Aos eternos amigos: Marlon Vinicius, Felipe Gonçalves, Paula Ribeiro, Paula Elionora, e todos os outros que marcaram esse período de conhecimento.

Aos mestres valiosos que com os seus conhecimentos contribuíram para um pequeno pesquisador se tornar um alguém.

RESUMO

Nesse estudo de pesquisa e inovação, o etanol combustível renovável, de demanda crescente, traz consigo um subproduto de extrema importância para o meio ambiente, inicialmente a vinhaça era usada em sua totalidade para irrigar a plantação, por causa de sua matéria orgânica rica em nutrientes e sais minerais. E depois de estudada, se tornou economicamente uma fonte alternativa para produção de biogás. Onde sua utilidade cada vez mais é explorada e de suma importância, como: queimar em sua totalidade na caldeira para geração de vapor, para acionamento das moendas; para acionar as turbinas a gás, conjugada a um gerador elétrico. Só se obtém esse biogás através de um reator ou biodigestor, o mais utilizado é o Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), que posto a matéria prima (vinhaça), junto a um agente biológico (lodo ativado), controlando os principais fatores a temperatura (35°C) e o pH (7,0), o meio metaboliza em algumas etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese, e a sulfatogênese, resultam em um biogás apresentam composição formado por 55% a 65% de CH₄ e 30,0% a 35,0% de CO₂, contendo O₂, N₂, H₂O e H₂S em menor proporção. Objetivando esse trabalho a avaliação de três biodigestores de bancada para uso laboratorial para aulas práticas, junto aos seus conceitos, modelos funcionais didáticos e resultados aparentes sucintos. Para o biodigestor 1- *in natura* – em observação por 33 dias, não havendo formação de gás metano; o biodigestor 2 – Esterco bovino – em 9 dias, não apresentou formação de gás metano, acreditando que por interrupção ao vazamento do balão; e o biodigestor 3 – Loto ativado – em 9 dias com controle de temperatura (entre 32° a 37° C), apresentou a formação de biogás positivamente. Assim, os resultados demonstraram que o projeto foi eficaz para a elaboração de um biodigestor para aulas práticas, sendo que o terceiro experimento foi o que apresentou os melhores resultados.

Palavras-chaves: Aproveitamento de Resíduos. Digestão anaeróbia. Cana-de-açúcar.

ABSTRACT

In this study of research and innovation, renewable fuel ethanol, of growing demand, carries with it a by-product of extreme importance for the environment, initially vinasse was used in its entirety to irrigate the plantation, because of its nutrient rich organic matter and mineral salts. And once studied, it became economically an alternative source for biogas production. Where its utility is increasingly explored and of utmost importance, such as: burn in its entirety in the boiler for steam generation, to drive the mills; to drive the gas turbines, coupled to an electric generator. This biogas is only obtained through a reactor or biodigester, the most used one is the Anaerobic Upflow Reactor (RAFA), which puts the raw material (vinasse), together with a biological agent (activated sludge), controlling the main factors (35 ° C) and pH (7.0), the medium metabolizes in some stages: hydrolysis, acidogenesis, acetogenesis, and sulfatogenesis, results in a biogas present composition composed of 55% to 65% CH₄ and 30,0% to 35.0% CO₂, containing O₂, N₂, H₂O and H₂S to a lesser extent. The objective of this work was the evaluation of three laboratory biodigesters for laboratory use for practical classes, along with their concepts, functional didactic models and succinct apparent results. For the 1 - in natura biodigester - under observation for 33 days, with no methane gas formation; the biodigester 2 - bovine waste - in 9 days, did not present methane gas formation, believing that by interruption to the leak of the balloon; and the biodigester 3 - Lotus activated - in 9 days with temperature control (between 32° to 37° C), presented biogas formation positively. Thus, the results showed that the project was effective for the elaboration of a biodigester for practical classes, and the third experiment was the one that presented the best results.

Keywords: Waste Utilization. Anaerobic digestion. Sugar cane.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Etapas Metabólicas do processo de digestão anaeróbia.....	17
Figura 2 - Esquema de um reator de fluxo ascendente.....	20
Figura 3 - Layout do biodigestor de bancada 01	24
Figura 4 - Layout do biodigestor de bancada 2 (esquerda) e 3 (direita).....	24
Figura 5 - Bombonas contendo a vinhaça coletada na Usina Japungú em Santa Rita – PB.	26
Figura 6 - Análise do pH da vinhaça no momento após resfriada a temperatura ambiente.....	26
Figura 7 - Biodigestor 01 montado.....	28
Figura 8 - Biodigestor 01 utilizado para produção de biogás a partir da vinhaça sem correção de pH. Primeiro dia de biodigestão (esquerda) e oitavo dia (direita)	29
Figura 9 - Biodigestor 02 utilizado na produção de biogás a partir da vinhaça inoculada com esterco bovino. Primeiro dia de biodigestão (esquerda) e terceiro dia (direita)	30
Figura 11 - Teste da chama sendo realizado, demonstrando o aumento da chama (esquerda e direita)	31
Figura 10 - Biodigestor 03 utilizado na produção de biogás a partir da vinhaça inoculada com lodo da ETE. 1º dia de biodigestão (esquerda) e o 9º dia (direita) com formação de gás.....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição química de vinhaças conforme o tipo de mosto **Erro! Indicador não definido.**

Tabela 2 - Composição da mistura do biogás..... 21

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVO	12
1.1.1 <i>Objetivo geral</i>	12
1.1.2 <i>Objetivos específicos</i>	12
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	13
2.1 Etanol.....	13
2.2 A vinhaça.....	14
2.3 Biodigestão Anaeróbia da Vinhaça.....	15
2.4 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia.....	18
2.4.1 <i>pH</i>	18
2.4.2 <i>Temperatura</i>	18
2.5 Tipos de Biodigestores.....	19
2.6 O Biogás.....	20
2.7 Alternativas metodológicas no processo ensino/aprendizado.....	21
3 Material e Método	23
3.1 Construção de um biodigestor de bancada.....	23
Para o biodigestor 01, foram utilizados os seguintes materiais:.....	25
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
4.1 Construção do biodigestor para a produção do biogás.....	27
4.2 Experimento 1.....	29
4.3 Experimento 2.....	30
4.4 Experimento 3.....	30
5 Conclusão	33
6 TRABALHOS FUTUROS	33
7 Referências bibliografias	34

1 INTRODUÇÃO

Os impactos ambientais causados pelo grande consumo de combustíveis fósseis no mundo têm causado preocupação e ao mesmo tempo, alavancado pesquisas de fontes e tecnologias alternativas de geração de energias renováveis para diminuição do impacto no cenário global.

O etanol, produto derivado da destilação após a fermentação microbiológica da cana-de-açúcar e outras matérias primas, trouxe uma nova perspectiva para o setor automotivo. Além de ser considerado como uma energia limpa, o etanol tem melhor desempenho que a gasolina no uso dos motores de combustão, devido alta octanagem, e quando misturado a gasolina, tem melhor queima no cilindro nos motores (IODICE *et al.*, 2016).

O Brasil é um dos maiores produtores de etanol no mundo, sendo que, a Paraíba é o terceiro maior produtor do Nordeste. Na safra de 2017/2018, a produção nacional de etanol foi de 27,86 bilhões de litros, sendo 370 milhões de litros produzidos na Paraíba (ÚNICA, 2019).

Porém, a grande produção de etanol, eleva também, a produção de vinhaça, subproduto no processo de destilação do vinho para obtenção do etanol, sendo considerada o resíduo com maior carga poluidora deste processo. A composição da vinhaça depende de vários fatores tais como qualidade do vinho destilado, composição de matéria prima, do preparo do mosto e das condições da fermentação alcoólica. A vinhaça é rica em matéria orgânica e sais minerais tais como cálcio, potássio e magnésio (ROCHA 2012, PINTO, 1999). Para cada litro de etanol produzido, são gerados de 10 a 12 litros de vinhaça. Considerando a produção brasileira de etanol na safra de 2017/2018, foram gerados em torno de 334,32 bilhões de litros de vinhaça a nível nacional e 4,44 bilhões de litros no estado da Paraíba, somente nesta safra.

Por ser rica em nutrientes, a maioria da vinhaça produzida é utilizada como fertilizante na plantação de cana-de-açúcar (fertirrigação). Este é um meio simples para descarte e uso do resíduo sendo também viável economicamente. A proporção para aplicação depende da condição do solo. No estado de São Paulo, a aplicação de vinhaça como fertilizante foi regulamentada pela CETESB que em 2006 criou a norma P 4.231 e que permite uma quantidade de no máximo 400 m³/ha (ROCHA 2012).

Buscando novas maneiras de reutilizar a vinhaça, pesquisas foram desenvolvidas buscando aproveitá-la como matéria prima na produção de biogás, a partir da digestão anaeróbia em biodigestores ou reatores específicos de alto desempenho. Usualmente utiliza-se o reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo ou USAB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) como é mais comumente conhecido. O gás produzido no reator pode ser usado de algumas maneiras: queimar em sua totalidade, na caldeira para geração de vapor, e acionamento da moagem da cana; utilizar parte do biogás em substituição aos combustíveis utilizados na indústria durante o período da safra; e utilizar sua totalidade do biogás para acionar as turbinas a gás, conjugada a um gerador elétrico (GRANATO, 2003).

O biogás formado pelo biodigestor é composto por uma fração de compostos químicos por 55% a 65% de CH₄ e 30,0% a 35,0% de CO₂, contendo O₂, N₂, H₂O e H₂S em menor proporção (GRANATO, 2003). Os principais fatores de controle do processo de biodigestão anaeróbia são temperatura e pH.

Embora para o tratamento anaeróbio, seja preciso fazer um acerto inicial do pH, pois este é bastante ácido, e também usar algum tipo de inóculo, a biodigestão da vinhaça é uma solução possível para o tratamento do excedente de vinhaça.

A Universidade Federal da Paraíba -UFPB, oferece o Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira, que forma profissionais para atuarem no setor sucroalcooleiro. Dentre as habilidades desenvolvidas pelos alunos, está a preocupação ambiental e a busca de novas tecnologias para o desenvolvimento sustentável do setor.

Fazem parte da matriz curricular, disciplinas tais como Microbiologia, Tratamento de efluentes e Atualidades no setor sucroalcooleiro, entre outras, nas quais o aluno tem contato com os tipos de fermentação, formas de tratamento de efluentes e também tecnologias atuais para este tipo de tratamento.

A busca de formas mais dinâmicas de ensino, nos levou a este trabalho que tem como objetivo, a construção de um biodigestor de bancada para ilustrar as aulas que tratam de conceitos como fermentação anaeróbia, aproveitamento de resíduos, tipos de biodigestores, entre outros, promovendo um ensino contextualizado e esclarecendo dúvidas, tornando o futuro profissional mais completo.

1.1 OBJETIVO

1.1.1 Objetivo geral

Construir um biodigestor anaeróbio de bancada, alimentado com vinhaça de cana-de-açúcar para ser utilizado em aulas experimentais do curso de Tecnologia de Produção Sucroalcooleira.

1.1.2 Objetivos específicos

- Confeccionar 3 biodigestores de bancada para testes de produção do biogás;
- Variar o pH inicial da fermentação e adicionar inóculos para observar melhores condições de produção de biogás;
- Realizar teste da chama para confirmar a presença de gás combustível.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Etanol

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de etanol. Na safra brasileira de 2017/2018 foram moídas 641 milhões de toneladas de cana-de-açúcar, produzindo, além de açúcar, 27,86 bilhões de litros de etanol. No Nordeste, a Paraíba é o terceiro maior produtor de etanol com 370 milhões de litros produzidos na safra 2017/2018 (ÚNICA, 2019).

A preocupação com os impactos ambientais, causados pelos combustíveis fósseis, tem levado a uma mudança no cenário de consumo de combustíveis no mundo, havendo um aumento na participação dos biocombustíveis na matriz energética dos países. A adição de biocombustível no combustível convencional é uma das alternativas para a redução dos gases de efeito estufa durante o ciclo de vida desses combustíveis.

Cada país adiciona uma quantidade específica, de acordo com sua legislação. No Brasil o teor de etanol na gasolina é de 27%, sendo o país que possui o maior teor de etanol na gasolina no mundo (ROSA, *et al*, 2017). Além disso, os carros *flex*, que podem ser abastecidos tanto com gasolina quanto com etanol, chegou a 62,7% da frota total de veículos no Brasil, em 2017.

A quantidade elevada de oxigênio presente na mistura etanol/gasolina promove melhor performance da combustão dentro dos cilindros do motor. Além disso, o etanol melhora o desempenho do motor pela sua alta octanagem. A adição de etanol à gasolina contribui para a diminuição da dependência de combustíveis fósseis. (IODICE *et al*, 2016).

Uma das consequências do aumento da produção do etanol é a produção de grandes volumes de vinhaça, resíduo altamente poluente devido à presença de alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), pH ácido, alta turbidez, cor e salinidade. Para cada litro de etanol produzido, são gerados de 10 a 12 litros de vinhaça (ALBUQUERQUE, 2017).

Considerando os números da safra de 2018-2019, foram gerados de 278,6 a 334,32 bilhões de litros de vinhaça para a produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil, sendo que, na Paraíba este valor foi de 3,70 a 4,44 bilhões de litros (ÚNICA, 2019)..

2.2 A vinhaça

Vinhoto, restilo, garapão ou principalmente vinhaça, são os nomes mais conhecidos do subproduto gerado a partir da destilação do álcool. De pH ácido, com coloração marrom, cheiro desagradável e bastante poluente, a vinhaça é rica em matéria orgânica e sais minerais tais como Potássio (K), Cálcio (Ca) e Magnésio (Mg), sendo o principal resíduo da produção de etanol (OLIVEIRA, 2010).

Todas as características da vinhaça dependem do tipo de levedura utilizada no processo de fermentação, das condições da água usada na diluição, manutenção dos equipamentos para limpeza, da maneira em que se conduz a destilação, e principalmente da matéria-prima utilizada no processo fermentativo (RIBAS, 2006).

A Tabela 1 mostra uma composição média da vinhaça da cana-de-açúcar.

PARÂMETRO	MELAÇO	CALDO	MISTO
pH	4,2 - 5,0	3,7 - 4,6	4,4 - 4,6
Temperatura	80 - 100	80 - 100	80 - 100
DBO (mg/l O ₂)	25.000	6.000 - 16.500	19.800
DQO (mg/l O ₂)	65.000	15.000 - 33.000	45.00
Sólidos Totais (mg/l)	81.500	23.700	52.700
Sólidos voláteis (mg/l)	60.000	20.000	40.000
Sólidos fixos (mg/l)	21.500	3.700	12.700
Nitrogênio (mg/l N)	450 - 1.610	150 - 700	480 - 710
Fósforo (mg/l P ₂ O ₅)	100 - 290	10 - 210	9 - 200
Potássio (mg/l K ₂ O)	3.740 - 7.830	1.200 - 2.100	3.340 - 4.600
Cálcio (mg/l CaO)	450 - 5.180	130 - 1.540	1.330 - 4.570
Magnésio (mg/l MgO)	420 - 1.520	200 - 490	580 - 700
Sulfato (mg/l SO ₄)	6.400	600 - 760	3.700 - 3.730
Carbono (mg/l C)	11.200 - 22.900	5.700 - 13.400	8.700 - 12.100
Relação C/N	16 - 16,27	19,7 - 21,07	16,4 - 16,43
Matéria orgânica (mg/l)	63.400	19.500	3.800
Subst. Redutoras (mg/l)	9.500	7.900	8.300

Fonte: MARQUES, 2006.

Grande parte da vinhaça originária da produção de etanol é lançada diretamente nas plantações de cana-de-açúcar, como adubo orgânico, ajudando no desenvolvimento e crescimento da lavoura. Este processo é chamado de fertirrigação. Em 2014, 97% do

volume de vinhaça gerado, foi usado como fertilizante e irrigação nas próprias lavouras de cana-de-açúcar. (SILVEIRA, 2015)

Apesar de ser rica em sais minerais e matéria orgânica, que são fontes de nutrientes para o solo, o uso na fertirrigação de forma indiscriminada, pode causar danos ambientais, como contaminação do lençol freático, salinização do solo, liberação de mau cheiro e emissão de gases do efeito estufa, como o óxido nitroso (N_2O), que é cerca de 300 vezes mais poluente do que o dióxido de carbono (CO_2) (SILVEIRA, 2015)

No estado de São Paulo, a aplicação da vinhaça como fertilizante, segue a norma técnica P4.231 da CETESB – Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. Esta norma tem como objetivo estabelecer os critérios e procedimentos para o armazenamento, transporte e aplicação da vinhaça, gerada pela atividade sucroalcooleira no processamento de cana-de-açúcar, no solo do estado de São Paulo. (CETESB, 2015)

A utilização de forma consciente da vinhaça como fertilizante não é suficiente para consumir toda a vinhaça gerada no processo de fabricação de etanol, portanto, é de fundamental importância, estudos que viabilizem a utilização de vinhaça para outros fins. Deste modo, a biodigestão anaeróbia da vinhaça surge como uma alternativa eficaz no tratamento deste subproduto apresentando, ainda, uma importante consequência econômica: a produção de metano (CH_4) e seu aproveitamento como fonte de energia.

O processo de biodigestão, além de produzir biogás, que pode ser utilizado para a geração de energia, promove a diminuição da carga orgânica do material diminuindo custos de gestão deste passivo ambiental (ALBUQUERQUE, 2017).

2.3 Biodigestão Anaeróbia da Vinhaça

As indústrias do setor sucroalcooleiro buscam tecnologias para uso com cautela da vinhaça. A biodigestão anaeróbica se tornou bem vista a partir do desenvolvimento de reatores de alto desempenho, com baixo tempo de detenção hidráulica, como é o caso do Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e de Manta de Lodo ou USAB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), também conhecido no Brasil como RAFA, dentre outros pré-existentes (GRANATO, 2003).

Essa tecnologia traz benefícios, pois além da produção de biogás gerada pelo processo, ocorre também a redução de DBO e DQO do resíduo sem ocorrer alteração no

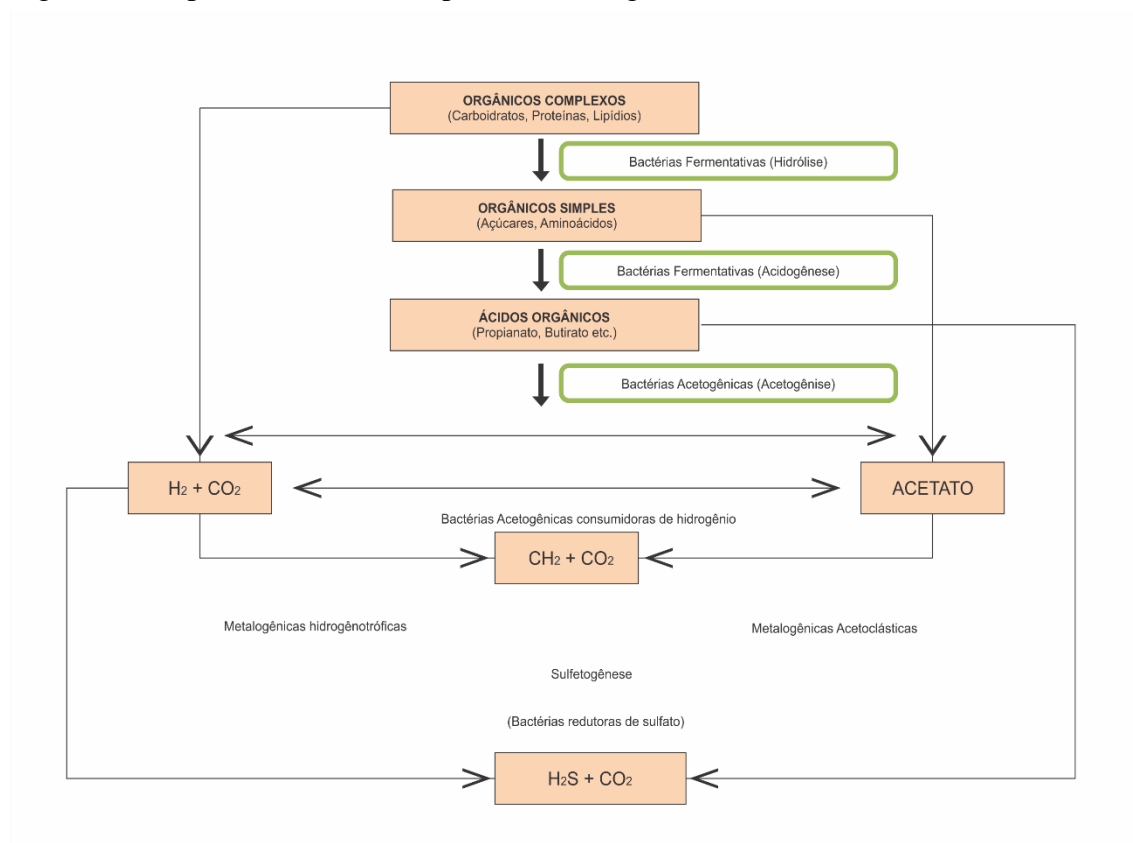
potencial nutricional, podendo ser reutilizado na lavoura de cana-de-açúcar (ROCHA, 2012).

O processo de biodigestão se dá através de ação bacteriana em meio biológico. As bactérias anaeróbias, responsáveis pelo processo de digestão para obtenção de metano, não sobrevivem em ambientes com oxigênio. Desta forma, o oxigênio presente na mistura deve ser consumido por bactérias aeróbias para então o processo de digestão anaeróbia se iniciar (TEIXEIRA, 2005).

Para obtenção do biogás todo processo é dividido por algumas etapas consecutivas. A primeira etapa chama-se de hidrólise, que tem a função de quebrar polímeros mais complexos em compostos mais simples e dessa forma as bactérias acetogênicas e metanogênicas conseguem desenvolver o processo até a formação de metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2) (Figura 1). Esse gás tem um alto poder energético que atualmente está sendo fonte de energia para acionamento em turbinas e caldeiras de alta pressão (CRUZ, 2011).

Se houver a presença de sulfatos pode ocorrer mais uma etapa chamada de sulfetogênese. Esta etapa apresenta cheiro desagradável, característico de ovo podre, causado pela formação de ácido sulfídrico (H_2S). Isso ocorre por causa de uma competição entre as bactérias redutoras de sulfato com as metanogênicas pelo acetato (MOREIRA, 2006).

Figura 1 - Etapas Metabólicas do processo de digestão anaeróbia



Fonte: SANTOS *et al*, 2012

No processo de digestão anaeróbia obtém-se um composto formado por 55% a 65% de CH₄ e 30,0% a 35,0% de CO₂, contendo O₂, N₂, H₂O e H₂S em menor proporção (GRANATO, 2003).

O processo anaeróbio com o intuito de obtenção do biogás, apresenta algumas importantes vantagens e desvantagens, como descrito a seguir: (CHERNICHARO, 1997).

a) VANTAGENS

- Baixa produção de sólidos, cerca de 5 à 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbios;
- Baixa demanda de área;
- Produção de metano com alto poder calorífico;
- Preservação da Biomassa, sem alimentação do reator, por vários meses;
- Tolerância à elevadas cargas orgânicas;
- Aplicabilidade em pequena grande escala;

- Baixo consumo de nutrientes.

b) DESVANTAGENS

- As bactérias anaeróbias são susceptíveis a inibição por um grande número de compostos;
- Alguma forma de pós-tratamento é usualmente necessária;
- A bioquímica e a microbiologia da digestão anaeróbia são complexos e ainda precisam ser mais estudadas;
- Possibilidades de geração de maus odores;
- Possibilidade de geração de efluentes com aspecto desagradável;
- Remoção de nitrogênio, fósforo e patogênicos insatisfatória.

2.4 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

2.4.1 *pH*

As atividades enzimáticas são afetadas diretamente pela alteração de pH. O crescimento ótimos das bactérias metanogênicas ocorre na faixa de pH de 6,6 a 7,4, podendo se adaptar em faixas que vão de 6,0 a 8,0. Valores de pH menores que 6,0 e maiores que 8,3, inibem totalmente a produção de metano (BALDACIN e PINTO, 2015).

Para o processo há necessidade de monitorar cada etapa, deixando o pH favorável para digestão do meio. Em certos momentos haverá a necessidade de correção do pH que geralmente é feita com a adição de hidróxido de cálcio (cal). (OLIVEIRA, 2009).

2.4.2 *Temperatura*

A temperatura é um fator muito importante, ele interfere diretamente em todo o processo de digestão. As bactérias metanogênicas são muito sensíveis, e alterações bruscas de temperatura podem chegar a finalizar a formação dos gases. Quando os dois tipos de bactérias, as mesófilas e as termófilas encontram-se em equilíbrio térmico, que fica na faixa de 35°C, produzem a mesma quantidade de metano (CH₄), trazendo benefícios em menor custo no processo (OLIVEIRA, 2009).

Como os microorganismos não possuem mecanismos de controle de temperatura interna, a temperatura ambiente deve ser muito bem controlada, pois mudanças de temperatura, mesmo em um curto período podem prejudicar a biodigestão. A variação da temperatura não deve ser maior que 2°C ao longo do dia (FARIA, 2012)

2.5 Tipos de Biodigestores

Atualmente existem alguns tipos de biodigestores, sendo os reatores de fluxo ascendente – UASB e as lagoas anaeróbias os mais comuns (MONTEIRO, PALMA, 2010).

O reator UASB é o mais usado na digestão da vinhaça. Ele foi desenvolvido na década de 70, pelo pesquisador Gatzke Lettinga e seus colaboradores da Universidade de Wageningen, na Holanda (ANDRADE NETO, 1997).

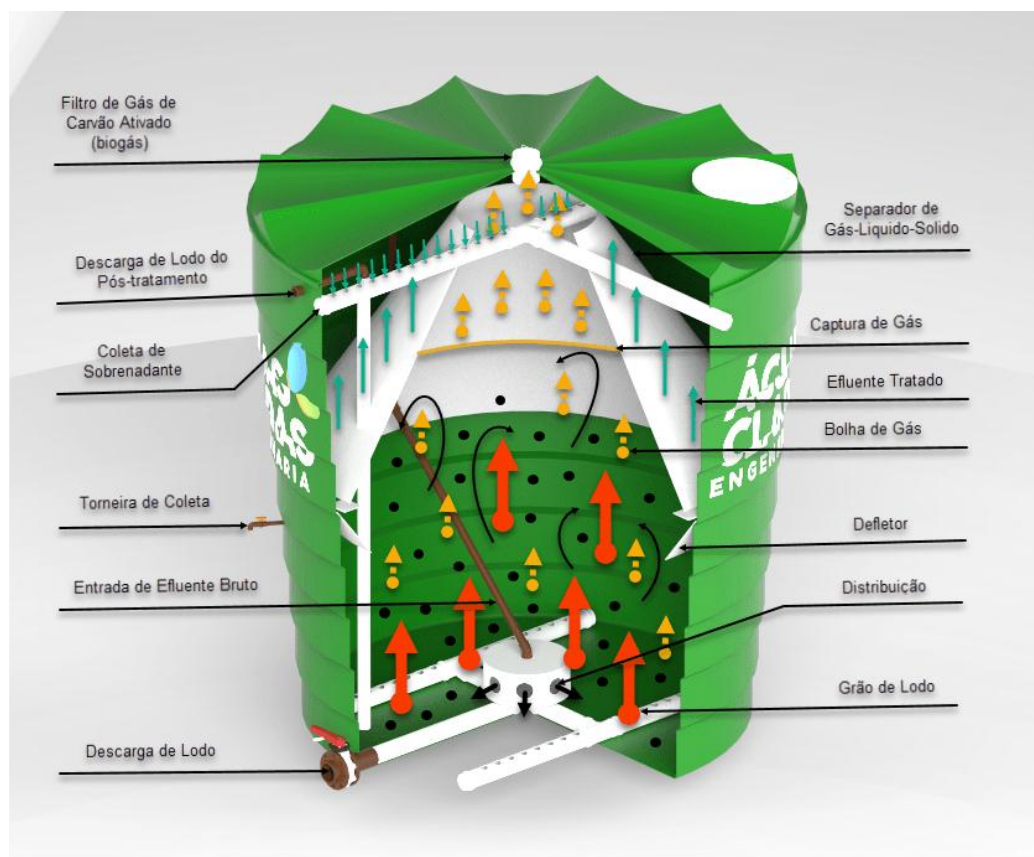
No Brasil, o reator UASB recebe várias nomenclaturas, como DAFA (digestor anaeróbio de fluxo ascendente), RAFA (reator anaeróbio de fluxo ascendente), RALF (reator anaeróbio de leito fluidificado) e RAFAALL (reator anaeróbio de fluxo ascendente através de leito de lodo), entre outros, mas corretamente denomina-se UASB.

Von Sperling (2015) descreve o biodigestor UASB como segue:

Estes reatores podem apresentar várias configurações, como tanques cilíndricos, quadrados e retangulares. Em todas as configurações, o efluente é bombeado ao topo do reator onde é distribuído na “estrutura de distribuição de vazão”, constituída por uma ou mais caixas distribuidoras de fluxo. Estas caixas são divididas internamente, conduzindo o efluente aos seus compartimentos internos. De cada um destes compartimentos, parte um tubo que conduz o efluente à parte inferior do reator, onde é liberado e inicia seu fluxo ascendente, passando pela manta de lodo e vindo a ser coletado na parte superior, em vertedores ou tubulações perfuradas. Este é o efluente do reator UASB. O gás que é produzido no compartimento de reação na forma de bolhas é coletado na parte central do separador trifásico.

A Figura 2 ilustra um esquema de reator de fluxo ascendente

Figura 2 - Esquema de um reator de fluxo ascendente



Fonte: ÁGUA CLARAS ENGENHARIA, 2019.

Esse reator é considerado simples e não possui meio suporte para a retenção de biomassa, como nos casos dos outros reatores de leito expandido e de leito fluidificado.

A produção de lodo nesses reatores tipo UASB é muito baixa e de valor qualitativo, com a opção de ser desidratado em leitos de secagem ou em equipamentos mecanizados. Próximo ao fundo pode se retirar esse lodo e até em diferentes níveis (VON SPERLING, 2005).

2.6 O Biogás

O biogás vem de uma fonte de energia renovável, formado através da biodigestão anaeróbia de matéria orgânica, fonte que contribui com a redução e impactos ambientais, já que sua fonte é tida como limpa.

A composição do biogás varia de acordo com o substrato e biodigestor utilizado, sendo que o gás só corresponde a cerca 2,0 a 4,0% do volume do substrato em todas as etapas. A composição média do biogás está descrita na Tabela 2.

Tabela 1 - Composição da mistura do biogás

GASES	FORMULA	PORCENTAGEM (%)
Metano	CH ₄	40 - 75
Dióxido de Carbono	CO ₂	25 - 40
Hidrogênio	H ₂	1 - 3
Nitrogênio	N ₂	0,5 - 2,5
Oxigênio	O ₂	0,1 - 1
Ácido Sulfídrico	H ₂ S	0,1 - 0,5
Amônia	NH ₃	0,1 - 0,5
Monóxido de Carbono	CO	0 - 0,1

Fonte: FARIA (2012).

O sulfeto de hidrogênio (H₂S) é um gás bastante corrosivo, portanto, quando estiver presente na composição do biogás, dependendo do uso, será necessário passar por processo de purificação, para não causar problemas no equipamento instalado.

2.7 Alternativas metodológicas no processo ensino/aprendizado

A busca por alternativas metodológicas que levem o aluno a compreender o conteúdo ensinado, criticamente são importantes e desejáveis.

Aulas práticas contextualizadas que mostrem de uma forma concreta as teorias descritas em sala de aula, são de fundamental importância no processo ensino-aprendizagem. A observação na prática, faz com que o aluno compreenda a relação entre didático e o real, relacionando o que ocorre nas aulas práticas com a vida profissional, construindo o conhecimento. Elas melhoraram, facilitam e deixam o ensino mais interessante para o aluno, possibilitando a formação de profissionais mais preparados para o mercado de trabalho.

Alternativas metodológicas mais dinâmicas e participativas tiram o foco central e único do professor e do livro didático e possibilitam que este tenha uma maior participação em seu aprendizado,

A Política Nacional de Educação Ambiental (BRASIL, 1999), em seu artigo 8º diz: considera a produção e divulgação de material educativo como atividade que deve ser desenvolvida na educação em geral. Ainda no artigo 8º desta legislação, parágrafo 3º considera que as ações de estudos, pesquisa e experimentações voltar-se-ão para:

I - o desenvolvimento de instrumentos e metodologias, visando à incorporação da dimensão ambiental, de forma interdisciplinar, nos diferentes níveis e modalidades de ensino;

II - a difusão de conhecimentos, tecnologias e informações sobre a questão ambiental;

III - o desenvolvimento de instrumentos e metodologias, visando à participação dos interessados na formulação e execução de pesquisas relacionadas à problemática ambiental;

IV - a busca de alternativas curriculares e metodológicas de capacitação na área ambiental;

V - o apoio a iniciativas e experiências locais e regionais, incluindo a produção de material educativo;

VI - a montagem de uma rede de banco de dados e imagens, para apoio às ações enumeradas nos incisos I a V.

De acordo com Zuanon e Silva (2007), atualmente já existem à disposição da educação diversas estratégias de ensino que podem desencadear um melhor aproveitamento no aprendizado do aluno. Estas novas atividades permitem que o aluno possa interagir de forma mais efetiva saindo do ambiente teórico abordado pelo professor em sala de aula, e a partir de livros didáticos. Desta maneira, o aluno deixa de ter uma postura neutra para, de forma crítica, abordar os novos conhecimentos, interagindo não somente como aluno, mas também como pesquisador.

A educação que prepara o aluno para o futuro deve ser problematizada e abordada criticamente, possibilitando a construção de novos conhecimentos. Esta preparação não deve ser linear e deve abordar distintas estratégias e métodos para o melhor desempenho do aluno no processo de ensino aprendizagem. Um ambiente pouco inovador traz insatisfação e desmotivação, gerando um bloqueio na aprendizagem ou mesmo o êxodo de alunos das escolas (ANDRADE; MASSABNI, 2011).

As aulas práticas permitem ao aluno rever a partir de outras perspectivas o conteúdo teórico abordado em sala de aula facilitando o completo entendimento do tema. Assim, o aluno pode relacionar as informações, criar suas próprias conclusões e o

professor pode retomar o tema já abordado a partir de um novo ângulo (LEITE et al., 2005).

A Universidade Federal da Paraíba conta com o Curso Superior de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira. A estrutura curricular do curso contempla tanto o segmento industrial de produção de açúcar e álcool como o segmento artesanal de produção de cachaça, rapadura, melado e açúcar mascavo. O currículo do curso concilia a teoria e prática, que propicia a formação de um profissional dinâmico, objetivo e integrado com a realidade regional (UFPB, 2010).

A estrutura curricular do curso de Tecnologia em produção Sucroalcooleira valoriza as estratégias de ensino que ajudem a desencadear um melhor aproveitamento no aprendizado do aluno, incentivando e encorajando ações que visem o aprendizado mais dinâmico e contextualizado do seu alunado.

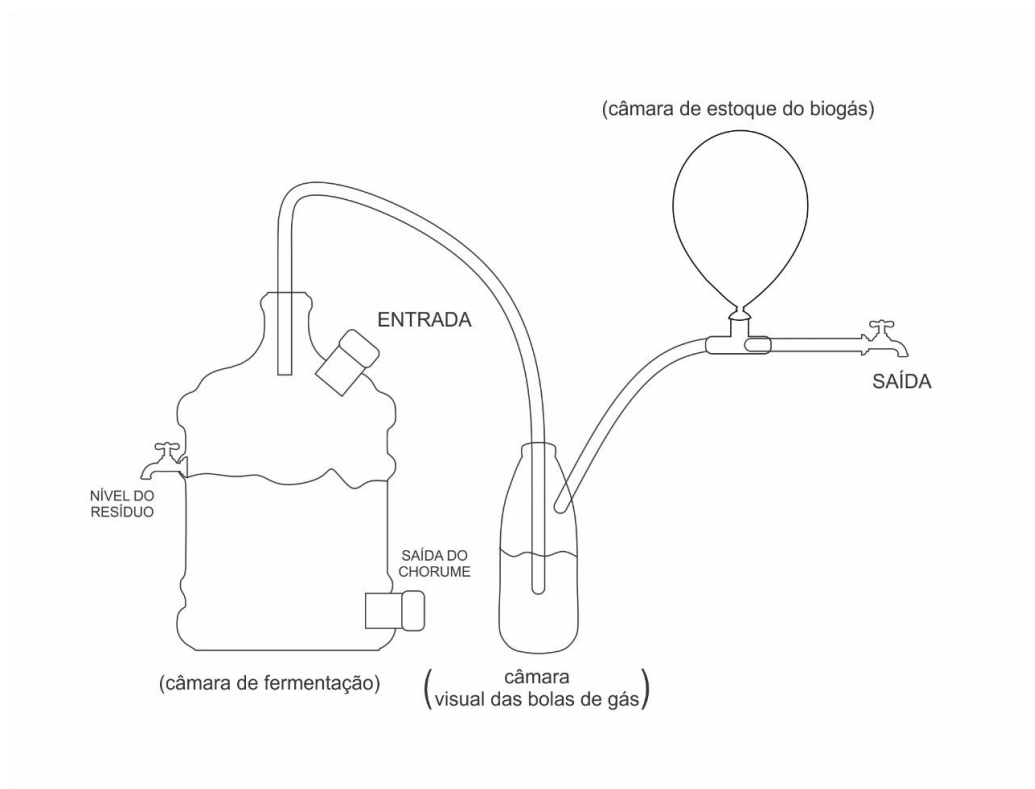
3 MATERIAL E MÉTODO

3.1 Construção de um biodigestor de bancada

O projeto foi desenvolvido no laboratório do Centro de Tecnologia Sucroalcooleiro – DTS da Universidade Federal da Paraíba - UFPB.

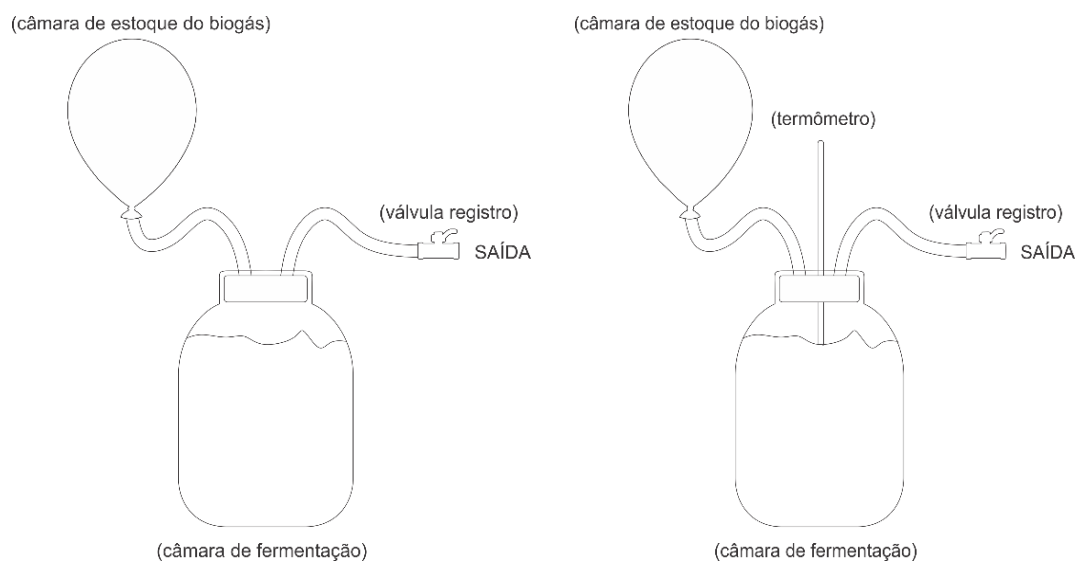
Baseado em protótipos desenvolvidos por Paschoeto et al (2017) e Freitas, Furtado e Cuevas (2018), foram construídos três biodigestores com pequenas alterações de projeto, para ilustrar a produção de biogás a partir da vinhaça da cana-de-açúcar. As Figuras 03 e 04 ilustram o *layout* do biodigestor 01 e dos biodigestores 02 e 03 respectivamente.

Figura 3 - Layout do biodigestor de bancada 01



Fonte: Autor, 2019

Figura 4 - Layout do biodigestor de bancada 2 (esquerda) e 3 (direita)



Fonte: Autor, 2019

Como a intenção do trabalho é demonstrar a produção de biogás a partir de um modelo experimental de bancada bem simples e que seja possível ser construído pelos próprios alunos, foram utilizados materiais de baixo custo e fáceis de serem encontrados, podendo inclusive reutilizar objetos que seriam descartados.

Para o biodigestor 01, foram utilizados os seguintes materiais:

- Garrafão de água mineral - 20 litros
- Garrafa pet – 2 litros
- Mangueira flexível transparente – 2 metros
- Torneiras plásticas simples
- Veda rosca
- Conexão em “T” de pvc
- Balão simples de festa - grande
- Cola quente em bastão
- Conexões com tampões
- Tinta Preta (Spray)

O custo do investimento para confecção do biodigestor 1, foi de R\$124,50 (cento e vinte e quatro reais e cinquenta centavos).

Já, para os biodigestores 02 e 03, os materiais utilizados foram:

- Pote de vidro
- Mangueira transparente
- Balão de festa – pequeno
- Cola quente em bastão
- Folhas de alumínio
- Registro em metal para gás
- Termômetro (apenas para o biodigestor 03)

O custo do investimento para confecção do biodigestor 2e 3, foi de R\$38,60 (trinta e oito reais e sessenta centavos).

Alguns dos materiais utilizados na construção dos biodigestores, foram reuso já existentes.

A vinhaça utilizada como principal matéria prima para a geração do biogás, foi doada pela Usina Japungú em Santa Rita – PB (20 litros).

A vinhaça *in natura* foi retirada direto da saída da dorna de destilação de álcool na usina e acondicionada em 4 bombonas. A temperatura da vinhaça no momento da coleta encontrava-se em torno de 67°C (Figura 5).

Figura 6 - Bombonas contendo a vinhaça coletada na Usina Japungú em Santa Rita – PB.



Fonte: Autor, 2019

Figura 5 - Análise do pH da vinhaça no momento após resfriada a temperatura ambiente.



Fonte: Autor, 2019

As bombonas foram então, levadas para o Laboratório de Tecnologia Sucroalcooleira do CTDR-UFPB. Assim que chegaram ao laboratório, foi medido o pH da vinhaça, que apresentou valor igual a 3,3.

Em seguida, a amostra foi acondicionada no refrigerador até o momento da utilização nos biodigestores.

Depois de construídos os três biodigestores, foram realizados três experimentos para testar sua eficiência para utilização em aulas práticas, como forma de fixação do conhecimento obtido em aulas teóricas de digestão anaeróbia, produção de biogás a partir da vinhaça, aproveitamento de resíduos, entre outras. Também, nesta etapa, foram determinadas as melhores condições para a produção de biogás a partir da vinhaça.

Experimento 1:

No biodigestor 01 foi utilizada vinhaça *in natura*, sem acerto de pH ou adição de inóculo. Após adição da vinhaça no biodigestor, o processo foi observado por 8 dias.

Experimento 2 e 3:

Para os biodigestores 02 e 03, o pH da vinhaça foi previamente alterado com solução de NaOH 10mol/L, para diminuição da acidez do meio. Em seguida foram adicionados esterco bovino no biodigestor 02 e lodo da estação de tratamento de efluentes domésticos no biodigestor 03. O objetivo da adição foi inocular o meio e acelerar o processo de biodigestão.

O esterco bovino foi obtido em um sítio localizado em Mercador de Baixo – Araçagi - PB e lodo de efluente doméstico foi proveniente da Estação de Tratamento de Efluente da Companhia de Água e Esgotos da Paraíba - ETE -CAGEPA, da cidade de João Pessoa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Construção do biodigestor para a produção do biogás

Seguindo o que está descrito em Paschoeto et al (2017) e Freitas, Furtado e Cuevas (2018), foram feitos orifícios no garrafão e na garrafa pet, com auxílio de furadeira elétrica. Esses orifícios determinam os locais onde serão adicionados os conectores de entrada e saída, toneira de nível, e da mangueira de saída para o biogás. Os conectores foram fixados com cola do tipo adesiva. E a vedação foi feita com cola quente e silicone de vedação.

O próximo passo foi cortar a mangueira em pedaços em tamanhos adequados. Uma mangueira foi colocada para unir o garrafão à garrafa pet, um outro pedaço da mangueira para saída da garrafa pet até o conector em “T” que acopla o balão e também a torneira como saída do biogás. Foi preciso vedá-los para evitar possíveis vazamentos.

Para ensaio, foi adicionado água potável e ar para causar uma pressão interna, e constatar a eficiência na montagem e utilização, sem rupturas e vazamento (Figura 7).

Figura 7 - Biodigestor 01 montado



Fonte: Autor, 2019

Para construção do biodigestor 2, foi utilizado um pote de vidro, onde feito duas perfurações em sua tampa, para condicionar as mangueiras, uma para armazenamento do biogás através do balão, e outra para o registro em metal, para a controlar a saída do gás. Tudo foi vedado com cola quente, para evitar possíveis vazamentos (PASCHOETO, 2017).

Para a construção do biodigestor 3, utilizado um pote de vidro, essa tampa foi perfurada em três lugares, uma para armazenamento do biogás através do balão, outro para o registro em metal, que controlará a saída do gás, e um para adição de termômetro, que servirá para acompanhar a temperatura da mistura. Nesse biodigestor também foi acrescentado uma manta de tecido e um balde para melhor fixação e controle térmico (PASCHOETO, 2017).

4.2 Experimento 1

Neste experimento, 8 litros da vinhaça *in natura* foram transferidos para o biodigestor 01. Não foi feita correção do pH nem adicionado inóculo para acelerar a digestão. Foi acrescentada água potável à garrafa pet, com a finalidade de visualizar a formação do biogás.

O Biodigestor foi mantido a temperatura ambiente (32°C), ficando em observação no período de três semanas. Neste período, não foi constatado nenhum avanço positivo da fermentação. Na início da 4ª semana apresentou um minuscuro volume de gás.

A Figura 8 mostra fotos do biodigestor no primeiro dia (foto a esquerda) e no início da 4ª semana (foto à direita).

Figura 8 - Biodigestor 01 utilizado para produção de biogás a partir da vinhaça sem correção de pH. Primeiro dia de biodigestão (esquerda) e oitavo dia (direita)



Fonte: Autor, 2019

4.3 Experimento 2

Para o biodigestor 02, foram utilizados 2 litros de vinhaça previamente tratados com solução de NaOH 10mol/L até pH igual a 5,8 e transferidos para o biodigestor. Em seguida foram adicionados 300g de esterco bovino *in natura*. O sistema foi vedado e revestido com papel alumínio (Figura 9 esquerda). O processo foi monitorado por 9 dias. A partir do terceiro dia foi possível notar um pequeno volume de gás, não havendo aumento deste volume nos dias seguintes. (Figura 9 direita).

Figura 9 - Biodigestor 02 utilizado na produção de biogás a partir da vinhaça inoculada com esterco bovino. Primeiro dia de biodigestão (esquerda) e terceiro dia (direita)



Fonte: Do autor, 2019

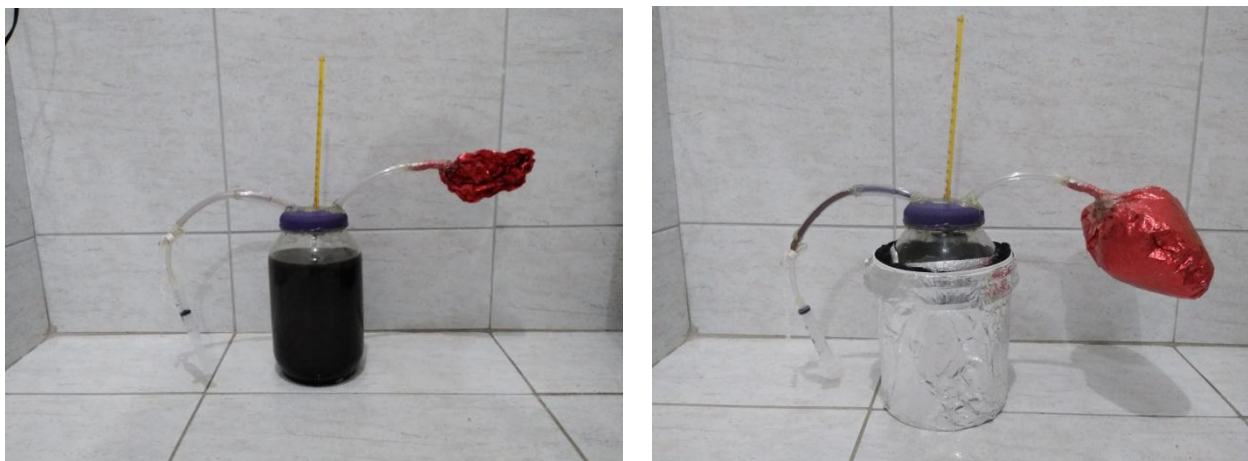
4.4 Experimento 3

Para o biodigestor 03, foi acrescentado um termômetro para o acompanhamento da temperatura da fermentação. Dois litros de vinhaça foram neutralizados utilizando uma solução de NaOH 10mol/l. até pH 7,0. Na vinhaça neutralizada foram adicionados 500mL de lodo da ETE - CAGEPA. Em seguida o sistema foi vedado e revestido com papel alumínio. Para melhor controle da temperatura, neste biodigestor foi adaptado uma manta térmica de poliéster e um balde de polietileno vazio.

O processo foi monitorado por 9 dias. A partir do segundo dia foi possível a formação de bolas na mistura e notar um pequeno volume de gás que foi aumentando no

decorrer da semana. A temperatura da fermentação foi monitorada, ficando entre 32° a 37° C. (Figura 10).

Figura 10 - Biodigestor 03 utilizado na produção de biogás a partir da vinhaça inoculada com lodo da ETE. 1° dia de biodigestão (esquerda) e o 9° dia (direita) com formação de gás.



Fonte: Autor, 2019

No terceiro experimento, por ter uma produção de gás maior, foi realizado um teste de chama (Figura 11). Uma vela foi acesa e o gás presente no balão do biodigestor foi soprado sobre a chama. Houve um aumento significativo do tamanho da chama, o que nos leva a deduzir que realmente houve produção de metano.

Figura 11 - Teste da chama sendo realizado, demonstrando o aumento da chama (esquerda e direita)



Fonte: Autor, 2019

Resumindo, os resultados obtidos foram os seguintes:

Experimento 1:

Biodigestor 1 – *In natura* - No prazo (03-04-19 à 06-05-19) - 33 dias, não foi possível confirmar a presença de metano através da combustão;

Experimento 2:

Biodigestor 2 – Vinhaça com pH = 5,8, adição de Esterco bovino - No prazo (21-04-19 à 29-04-19) - 9 dias, não houve confirmação de metano através da combustão.

Experimento 3:

Biodigestor 3 – Vinhaça com pH = 7,0, adição de Lodo Ativado - No prazo (29-04-19 à 07-05-19) – 9 dias – monitorado por termômetro para condições mesófilas (32° a 37° C), houve a confirmação de gás metano através do teste de chama. Demonstrando aumento significativo no tamanho da chama.

Os experimentos mostraram que as condições que melhor ilustram a biodigestão são as do experimento 3.

Neste experimento, o pH da vinhaça foi elevado a 7,0. De acordo com Baldacin e Pinto (2015) o crescimento ótimo das bactérias metanogênicas ocorre em pH entre 6,6 e 7,4. Em seguida foi adicionado o inóculo de lodo de esgoto doméstico para acelerar o crescimento microbiano e mantido o sistema mantido a uma temperatura média de 35°C, já que as bactérias metanogênicas são muito sensíveis a variações de temperatura e se desenvolvem muito bem em temperatura em torno de 35°C (OLIVEIRA, 2009).

Nestas condições, é possível mostrar aos estudantes, a formação de um gás gerado durante o processo de biodigestão da vinhaça, inclusive com o teste da chama para confirmação da geração de um gás combustível.

5 CONCLUSÃO

A partir de pesquisas sobre outros biodigestores de bancada, foi possível construir um biodigestor simples e barato. As melhores condições de produção do biogás foram em $\text{pH} = 7,0$, temperatura em torno de 35°C e utilização de lodo de Estação de Tratamento de Esgoto doméstico como inóculo.

A presença de biogás foi confirmada com o teste da chama.

6 TRABALHOS FUTUROS

A partir deste trabalho, pretende-se em trabalhos futuros ampliar o desenvolvimento de novos protótipos e modelos que produzam gás em maior escala e de melhor qualidade, como também, dinamizar e intensificar o ensino de ciências com esta forma alternativa de produção de energia, ainda pouco explanada em muitas regiões do Brasil. Como também resultados e análises específicos para quantificar e formalizar apontamentos precisos.

É possível também, desenvolver um material didático para auxiliar as aulas práticas.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUAS CLARAS ENGENHARIA; **Reator UASB: Sabia o que é e como funciona.** Disponível em: <<http://aguasclarasengenharia.com.br/como-funciona-reator-uasb/>>. Acesso em 01/05/2019.

ALBUQUERQUE, C. **Uma alternativa para a vinhaça.** UDOP, 2017. Disponível em: <https://udop.com.br/index.php?item=noticias&cod=1151401>. Acesso em 29/04/2019

ANDRADE, M. L. F.; MASSABNI, V. G. **O desenvolvimento de atividades práticas na escola: um desafio para os professores de ciências.** Ciência & Educação, v. 17, n. 4, p. 835-854, 2011.

BALDACIN, A. C. S., PINTO, G. M. F.. **Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás.** Revista eletrônica FACP Ano III – nº 07 – Janeiro de 2015.

BRASIL, Presidência da República, Casa Civil. **LEI Nº 9.795, de 27 de abril de 1999.** Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9795.htm> Acesso em 09 de fev de 2019.

CETESB – Companhia Ambiental do estado de São Paulo. **NORMA TÉCNICA; Vinhaça – Critérios e procedimentos para aplicação no solo agrícola.** Disponível em: <<https://sistemasinter.cetesb.sp.gov.br/normas/11/2013/11/P4231.pdf>>. Acesso em: 02/05/2019.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios.** Vol. 5. Reatores Anaeróbios. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG. 1ª ed. Belo Horizonte, MG, 1997, 246 p.

CRUZ, Luiz Felipe Lomanto Santa. **Viabilidade técnica/econômica/ambiental das atuais formas de aproveitamento da vinhaça para o setor sucroenergético do Estado de São Paulo.** 2011.136 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de engenharia de São Carlos – Departamento de Hidráulica e Saneamento - Universidade de São Paulo – São Carlos, 2011.

FARIA, R. A. P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso.** Dissertação de mestrado, UNIOESTE, Paraná, 2012.

FREITAS, F. F.; FURTADO, A. C.; CUEVAS, A. L. Y. **Construção de um biodigestor didático para a estação ciências do Parque Tecnológico de Itaipu.** Revista Brasileira de Extensão Universitária, v. 9, n. 2, p. 65-74, 2018. Disponível em: <<https://periodicos.uffs.edu.br/index.php/RBEU/article/view/7689/pdf>>. Acesso em: 04 de maio de 2019.

GRANATO, E. F. **Geração de energia através da biodigestão anaeróbia de vinhaça.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Industrial) – Universidade Estadual Paulista, Bauru.

IODICE, P.; SANATORE, A.; LANGELLA, G.; AMORESANO, A. **Effect of ethanol–gasoline blends on CO and HC emissions in last generation SI engines within the cold-start transient: An experimental investigation.** Applied Energy 179 (2016) 182–190.

LEITE, A. C. S.; SILVA, P.A. B.; VAZ, A. C. R. **A importância das aulas práticas para alunos jovens e adultos: uma abordagem investigativa sobre a percepção dos alunos do PROEF II.** Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 7, n. 3, p. 166-181, 2005.

MARQUES, M. O. **Aspectos técnicos e legais da produção, transporte e aplicação de vinhaça.** In: SEGATO, S. V. et al. (Org.). Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 369-375.

MONTEIRO, M, PALMA, M. A. M.. XXX Encontro Nacional de Engenharia. 2010. 3 p. **Estudo de viabilidade econômica do uso de um biodigestor anaeróbio para reduzir os impactos ambientais do processo de produção do álcool – São Carlos, 2010.**

MOREIRA, R. C.. **Tratamento de Resíduos Industriais por método de Biodigestor Anaeróbio.** 62 p. 2006. Curso de Graduação – FEMA - Instituto Municipal de Ensino Superior de Assis – Assis, 2006.

OLIVEIRA, B. G. **Vinhaça da cana-de-açúcar: fluxo de gases de efeito estufa e comunidades de archaea presente no sedimento do canal de distribuição.** 2010. 96 p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz - Universidade de São Paulo – Piracicaba, 2010”.

OLIVEIRA, Rafael Deléio. **Geração de energia elétrica a partir do Biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono.** 79 p. 2009. Trabalho de conclusão de curso – Escola de engenharia de São Carlos – Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Sistemas de Energia e Automação – São Carlos, 2009.

PASCHOETO, J. F.; PAVAN, D. C.; ROCHA, G. H. M.; OLIVEIRA, A. D.; RICARDO, L. L.; AZENHA, T. D.. **Biodigestor e a geração de biofertilizante e biogás.** X Encontro Nacional de produção Científica. UNICESUMAR – Centro Universitário de Maringá, Paraná, 2017.

PINTO, Claudio Plaza. **Tecnologia da digestão anaeróbia da vinhaça e desenvolvimento sustentável.** 147 p. 1999. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 1999.

RIBAS, Maria Magdalena Ferreira. **Tratamento de vinhaça em Reator Anaeróbio operado em batelada sequencial contendo biomassa imobilizada sob condições Termofílicas e Mesofílicas.** 2006. 175p. Dissertação (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2006.

ROCHA, Vinícius Carvalho. **Processamento Anaeróbio de Vinhaça Pré-tratada com Biopolímero à Base de Cálcio.** 2012. 86 p. Dissertação (Mestrado) – Escola de

Engenharia de São Carlos - Departamento de Hidráulica e Saneamento – Universidade de São Carlos, São Carlos, 2012.

ROSA, I. F.; MAKIYA, I. K.; CESAR, F. I. G.; BERGAMIN, L. **Impacto da sustentabilidade na análise do ciclo de vida do etanol brasileiro frente mecanismos regulatórios internacionais.** Revista Produção Online. Florianópolis, SC, v.17, n. 2, p. 711-732, 2017.

SANTOS, Kenia Gabriela; ROSSI, Eduardo de; KUGELMEIER, Cristie Luis; TIETZ, Caroline Monique; ALVES, José Helton. **Fermentação Anaeróbia: uma alternativa para a produção de hidrogênio.** Revista Brasileira de Energias Renováveis, v. 1, 1-12 p. 2012.

SILVEIRA, E. **Além de fertilizante, resíduo do etanol poderá ser utilizado para produzir eletricidade.** Revista Pesquisa FAPESP, Ed. 238, Dez. 2015. Disponível em: < <http://revistapesquisa.fapesp.br/2015/12/15/vinhaca-para-gerar-energia/>>. Acesso em 28/04/2019.

TEIXEIRA, V. H. **Biogás.** 1. Ed. Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2005. 93 f.

ÚNICA, 2019. **Moagem de cana-de-açúcar e produção de açúcar e etanol, safra 2017-2018.** Disponível em: <<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipoHistorico=4&acao=visualizar&idTabela=1984&safra=2017%2F2018&estado=RS%2CSC%2CPR%2CSP%2CRJ%2CMG%2CES%2CMS%2CMT%2CGO%2CDF%2CBA%2CSE%2CAL%2CPE%2CPB%2CRN%2CCE%2CPI%2CMA%2CTO%2CPA%2CAP%2CRO%2CAM%2CAC%2CRR>>. Acesso em: 29/04/2019.

UFPB – Universidade Federal da Paraíba. **Projeto pedagógico do curso de Tecnologia em Produção Sucroalcooleira,** Joao Pessoa, 2010. Disponível em: <<http://www.ctdr.ufpb.br/ctdr/contents/documentos/dts/ppc-sucro>>. Acesso em 30/04/2019.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental/ UFMG, 2005.

ZUANON, A. C. A.; SILVA, C. A. **O biolhar contextualizado da Botânica fora do livro didático.** Revista SBEnBio, n.1, p. 10-11, 2007.