



UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CAMPUS IV - POLO SOUSA
CENTRO DE CIÊNCIAS HUMANAS E AGRÁRIAS
DEPARTAMENTO DE AGRÁRIAS E EXATAS
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM ENERGIAS RENOVÁVEIS

**CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO NO CÂMPUS IV DA
UEPB**

Francisco Carlos Alexandre Ferreira

Sousa – PB
2024

Francisco Carlos Alexandre Ferreira

**CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO NO CÂMPUS IV DA
UEPB**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao curso de Curso Superior
de Tecnologia em Energias Renováveis
da UEPB como requisito parcial à
obtenção do grau de tecnólogo em
Sistemas de Energias Renováveis.

Orientador

Prof. Dr. José Alexandro da Silva

Sousa – PB

2024

É expressamente proibido a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano do trabalho.

F383c Ferreira, Francisco Carlos Alexandre.
Construção de um biodigestor caseiro no Campus IV da
UEPB [manuscrito] / Francisco Carlos Alexandre Ferreira. -
2024.

30 p. : il. colorido.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Energias
Renováveis) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de
Ciências Humanas e Agrárias, 2024.

"Orientação : Prof. Dr. Prof. Dr. José Alexsandro da Silva,
Coordenação do Curso de Ciências Agrárias - CCHA. "

1. biodigestão anaeróbica. 2. biodigestor. 3. biogás. 4.
energia renovável. I. Título

21. ed. CDD 710.261

Francisco Carlos Alexandre Ferreira

CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO NO CÂMPUS IV DA UEPB

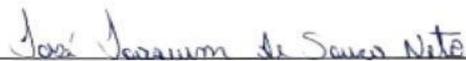
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso Superior de Tecnologia em Energias Renováveis da Universidade Estadual da Paraíba, como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Sistemas de Energias Renováveis.

Aprovada em: 27/06/2024.

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. José Alexandre da Silva
Universidade Estadual da Paraíba (UEPB)



Prof. Me. José Joaquim De Souza Neto
Escola Cidadã Integral Técnica Chiquinho Cartaxo (ECIT)



Prof. Dr. João Paulo Dantas de Carvalho
Instituto Federal da Paraíba (UEPB)

*A Sandra, minha mulher, inspiração e
grande amor de minha vida.*

AGRADECIMENTOS

A nosso Senhor Jesus Cristo, primeiramente, por ter me guiado nessa difícilíssima jornada chamada graduação.

À minha mulher, Sandra, pelo incansável e paciente apoio em meio às dificuldades. Desde a minha aprovação, obtive dela toda a ajuda que muito necessitei, com suas orações e esforços, assumido sozinha as rédeas de minha casa, das despesas, do cuidado de nossos filhos, enquanto dediquei-me ao estudo.

Também às minhas filhas, Maria Clara e Maria Rita, pelas orações e pelas ajudas no cuidado com a casa durante os dias excepcionalmente difíceis.

Ao meu filho Antonio Neto, meus agradecimentos, na condição de primogênito assumiu a responsabilidade de trabalhar para o sustento da casa, de cobrir a minha ausência no trabalho às vezes que foi preciso me ausentar, por necessidade das atividades acadêmicas.

Ao meu grande amigo e irmão de caminhada, o senhor Paulo Anastácio, por incentivar minha volta à sala de aula, depois de 20 anos dedicado exclusivamente às obrigações para com minha família. A ele devo minha eterna gratidão, respeito e admiração, pelos frutos que alcancei com seus conselhos.

Aos professores Anielson e Helber, verdadeiros amigos que não mediram esforços para garantir, ainda que minimamente que eu obtivesse certa tranquilidade e estabilidade durante o curso.

Aos meus pais, Antônio e Margarida, aos meus irmãos, João Batista, José Willami, Maria de Lourdes, pelas incansáveis ajudas.

Aos meus colegas do ECC, especialmente os senhores Alessio Bezerra, João Queiroga, Maria Clidineide, Aloísio, Nelson, Francisco Bandeira, Robson Monteiro, Elri Santana, Fabilson, Almivan Júnior, Tarcísio, Sebastião, Manoel Fernandes e tantos outros, importantes irmãos que se fossem devidamente listados, formariam uma lista infindável... A eles, que me auxiliaram material e espiritualmente, serei eternamente grato, incapaz de utilizar palavras para expressar a imensa alegria de tê-los como meus companheiros de caminhada.

Aos meus colegas, Josué, Victor, Renata, André, Caio, Eric, Igor, Paula, Maria Alice, Leonardo, [etc...], pelas inúmeras experiências trocadas, pelas boas risadas, pela amizade que mais parece irmandade que surgiu entre nós ao longo desses anos de convívio.

Aos professores Thalita, Guilherme, Alexsandro, João Paulo, Anderson, Thomas, entre tantos outros, pelos inúmeros ensinamentos dados ao longo desses anos.

E de maneira muito particular, ao professor Joaquim. Ele se tornou uma peça chave nas etapas finais do meu curso, sendo extremamente companheiro e paciente desde que iniciei minha pesquisa sob sua orientação. Como professor, tem todo o meu respeito. Como amigo, toda a minha gratidão...

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Biodigestor modelo sertanejo.....	24
Figura 2 – Biodigestor modelo canadense.....	25
Figura 3 – Biodigestor modelo chinês.....	26
Figura 4 – Biodigestor compacto.....	27
Figura 5 – Etapas da construção do biodigestor de pequeno porte.....	29
Figura 6 – Sistema para purificação do biogás.....	30

SUMÁRIO

RESUMO.....	16
1. INTRODUÇÃO.....	18
2. OBJETIVOS.....	19
2.1 GERAL	19
2.2 ESPECÍFICOS.....	19
3. REFERENCIAL TEÓRICO	19
3.1. BIODIGESTÃO ANAERÓBICA.....	19
3.1.1. Hidrólise	20
3.1.2. Acidogênese.....	20
3.1.3. Acetogênese.....	21
3.1.4. Metanogênese	21
3.2. BIOGÁS.....	22
3.3. BIOFERTILIZANTE.....	22
3.4. BIODIGESTORES ANAERÓBICOS	23
3.4.1. Modelo Indiano	24
3.4.2. Modelo Canadense	25
3.4.3. Modelo Chinês.....	26
4. MATERIAIS E MÉTODOS	27
4.1. CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR.....	27
5. RESULTADOS E DISCUSSÕES	31
6. CONCLUSÃO.....	32
REFERÊNCIAS	34

RESUMO

A biodigestão anaeróbica oferece inúmeros benefícios ambientais, econômicos e sociais. O biogás produzido é uma fonte de energia renovável que ajuda a reduzir as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo para a mitigação das mudanças climáticas. A implementação de biodigestores também cria oportunidades econômicas ao gerar receitas adicionais e empregos, especialmente em áreas rurais. Este trabalho tem como objetivo o desenvolvimento e montagem de um biodigestor caseiro, projetado para transformar resíduos orgânicos em biogás e biofertilizante por meio da biodigestão anaeróbica, utilizando materiais acessíveis, como tambores de 30 litros e canos de PVC. O biodigestor foi montado com o objetivo de proporcionar uma solução sustentável para a gestão de resíduos e a produção de energia renovável. Durante o processo de construção, diversos desafios técnicos e logísticos foram enfrentados, como a seleção adequada dos materiais, a logística de transporte e armazenamento. Devido à demanda de construção, transporte e logística, não se conseguiu alimentar o biodigestor para fazer análises preliminares. Para melhorar a qualidade do biogás produzido, foram projetados filtros adicionais: um filtro de esponja de aço foi utilizado para remover o gás sulfídrico (H_2S), enquanto um segundo filtro composto por uma solução de hidróxido de cálcio foi implementado para reduzir a concentração de dióxido de carbono (CO_2) no biogás, tornando-o mais adequado para aplicações energéticas. A construção deste biodigestor de pequeno porte demonstrou viabilidade técnica e econômica de sistemas de biodigestão em contextos acadêmicos e comunitários. Os desafios enfrentados ao longo do processo destacam a importância do planejamento, da adaptabilidade e da comunicação eficaz entre os membros da equipe.

Palavras-Chave: Biodigestão anaeróbica; Biodigestor; Biogás; Energia Renovável.

ABSTRACT

Anaerobic biodigestion offers numerous environmental, economic, and social benefits. The biogas produced is a renewable energy source that helps reduce greenhouse gas emissions, contributing to climate change mitigation. The implementation of biodigesters also creates economic opportunities by generating additional revenues and jobs, especially in rural areas. This work aims to develop and assemble a homemade biodigester, designed to transform organic waste into biogas and biofertilizer through anaerobic biodigestion, using accessible materials, such as 30-liter drums and PVC pipes. The biodigester was set up with the aim of providing a sustainable solution for waste management and renewable energy production. During the construction process, several technical and logistical challenges were faced, such as the proper selection of materials, transport and storage logistics. Due to the demand for construction, transport and logistics, it was not possible to feed the biodigester to carry out preliminary analyses. To improve the quality of the biogas produced, additional filters were designed: a steel sponge filter was used to remove hydrogen sulfide gas (H_2S), while a second filter composed of a calcium hydroxide solution was implemented to reduce the concentration of carbon dioxide (CO_2) in the biogas, making it more suitable for energy applications. The construction of this small biodigester has demonstrated the technical and economic feasibility of biodigestion systems in academic and community contexts. The challenges faced throughout the process highlight the importance of planning, adaptability, and effective communication among team members.

Key words: Anaerobic biodigestion; Biodigester; Biogas; Renewable energy.

1. INTRODUÇÃO

Cotidianamente os moradores da zona rural dos municípios paraibanos utilizavam o carvão vegetal e a lenha como as principais fontes de luz e calor, em atividades como, por exemplo, cozimento de alimentos e aquecimento residencial. Embora ainda largamente praticado pela população local, o uso desses combustíveis causa certo prejuízo ao meio ambiente e aos habitantes locais (ABRAHAM *et al.*, 2020).

A obtenção de carvão vegetal requer o corte de árvores, o uso das chamadas “carvoeiras”, o que além do desmatamento, causa também poluição atmosférica. Segundo Batista *et al.* (2019), esse método acarreta uma série de problemas como a desertificação do solo, que se torna infértil por perder a sua cobertura vegetal. Sem essa cobertura, o mesmo se expõe à maior desidratação o que impacta diretamente a biodiversidade local.

Em resposta a esta problemática, o uso de biodigestor seria um eficiente meio combatente ao desmatamento na região sertaneja, uma vez que o uso do carvão vegetal e da lenha seria reduzido. O biogás produzido pelo biodigestor se tornaria a principal fonte de energia térmica, substituindo o uso de carvão vegetal. Os biodigestores possuem fácil construção, que além de gerar biogás, uma fonte de energia renovável, produzem o digestato que pode ser utilizado como biofertilizante, composto orgânico rico em fósforo (P), nitrogênio (N) e potássio (K) (BLÁZQUEZ *et al.*, 2021).

Dessa forma, o uso dos biodigestores para produção de biogás, poderá minimizar os impactos ambientais, gerados pelo grande uso de carvão vegetal, a degradação do solo e da água e reduzir os níveis de gases do efeito estufa na atmosfera. Esse equipamento pode ser construído e adaptado às condições econômicas de qualquer região brasileira. Além de ser um importante aliado na geração de energia térmica, por meio da geração do biogás, ao mesmo tempo em que reduz a carga orgânica de dejetos de animais e restos de alimentos (ABRAHAM *et al.*, 2020).

Dessa forma, esse trabalho buscou avaliar a viabilidade técnica econômica de um biodigestor em escala reduzida, construído com materiais reciclados e acessíveis as famílias de baixa renda. Estando o mesmo reservado a estudos técnicos no *Campus IV* da UEPB, na cidade de Sousa/PB.

2. OBJETIVOS

2.1 GERAL

Investigar a viabilidade técnica e econômica do desenvolvimento de um biodigestor caseiro para o laboratório da UEPB.

2.2 ESPECÍFICOS

- Avaliar as características e especificações técnicas necessárias para a construção do biodigestor de pequeno porte, considerando materiais acessíveis e técnicas de montagem adequadas;
- Analisar os custos envolvidos na implementação do biodigestor, incluindo materiais de construção, mão de obra e infraestrutura necessária para seu funcionamento;
- Documentar os desafios enfrentados durante a montagem do biodigestor e as lições aprendidas, visando fornecer recomendações para futuras implementações e contribuindo para o avanço de tecnologias sustentáveis em contextos acadêmicos e comunitários.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1. BIODIGESTÃO ANAERÓBICA

A biodigestão anaeróbica é um processo biológico complexo e eficiente para a conversão de resíduos orgânicos em biogás e biofertilizante, desempenhando um papel crucial na gestão sustentável de recursos (BRÉMOND *et al.*, 2021). Neste processo, microrganismos anaeróbios degradam a matéria orgânica em ambientes isentos de oxigênio, como biodigestores. Esse ambiente controlado favorece a decomposição dos materiais orgânicos de forma mais rápida e eficiente do que a decomposição natural, minimizando a emissão de odores desagradáveis.

Cedran et al. (2020) afirma que o biogás produzido em biodigestores é composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), sendo o metano o componente principal e valorizado pelo seu potencial como fonte de energia renovável, e que sua utilização para geração de eletricidade, aquecimento e como combustível veicular contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa, comparado aos combustíveis fósseis tradicionais.

Além da produção de biogás, a biodigestão anaeróbica resulta na formação de um subproduto, chamado digestato. Dependendo do substrato, o digestato pode ser utilizado como biofertilizante, resíduo líquido rico em nutrientes como nitrogênio, fósforo, potássio e outros micronutrientes essenciais para o crescimento das plantas. Esse biofertilizante pode ser aplicado diretamente no solo, melhorando sua fertilidade e aumentando a produtividade agrícola de maneira sustentável. Reduzindo a dependência de fertilizantes químicos e contribuindo para a segurança alimentar (CEDRAN *et al.*, 2020).

De acordo com Gantenbein *et al.* (2021) a biodigestão anaeróbica não apenas oferece benefícios ambientais e econômicos, mas também sociais ao criar oportunidades de emprego e renda, especialmente em áreas rurais e comunidades agrícolas. Além disso, ao reduzir a quantidade de resíduos destinados a aterros sanitários, contribui para a gestão integrada de resíduos sólidos e para a sustentabilidade urbana. Hartung *et al.* (2020) explica que este processo é dividido em 4 etapas, chamadas: Hidrólise, Acidogênese, Acetogênese e Metanogênese.

3.1.1. Hidrólise

Esta é a primeira etapa do processo de biodigestão. É essencialmente caracterizada pela degradação de compostos de alta massa molecular, tais como polissacarídeos, lipídios e proteínas em substâncias orgânicas mais simples e solúveis (SOUSA *et al.*, 2020). As enzimas liberadas pelas bactérias hidrolíticas agem no substrato em velocidades distintas. A depender de quão complexa seja a composição da matéria orgânica, a hidrólise pode durar de poucas horas a vários dias, impactando, portanto, no tempo total em que ocorre o processo digestivo. Yang, Chen e Wen (2021) afirmam que o tempo total para a hidrolisação varia de poucas horas para carboidratos, alguns dias para proteínas e lipídios, sendo degradação ainda mais lenta a da lignocelulose e lignina.

3.1.2. Acidogênese

As substâncias orgânicas mais simples geradas durante a hidrólise servem de substrato para diversas bactérias anaeróbicas e facultativas (ZHANG *et al.*, 2021). Nesse processo são degradados a ácidos orgânicos de cadeia curta, moléculas com um a cinco carbonos, álcoois, óxidos de nitrogênio, sulfeto de hidrogênio, hidrogênio e CO₂. Quando elevada, a pressão do hidrogênio influencia gerando produtos com maior quantidade de carbono.

O processo de acidogênese degrada carboidratos em piruvato, que posteriormente é convertido em ácido láctico por *Lactobacilales* e em etanol. Ácidos graxos são degradados pela *Acetobacter* por β -oxidação. Em pares os aminoácidos são degradados pelo *Clostridium Botulium* (WANG *et al.*, 2021). De acordo com as reações químicas a seguir.

- i. $C_6H_{12}O_6 \rightarrow CH_3(CH_2)_2COOH + 2H_2 + 2CO_2$
- ii. $C_6H_{12}O_6 \rightarrow 2CH_3CH_2OH + 2CO_2$
- iii. $C_6H_{12}O_6 + 2H_2 \rightarrow 2CH_3CH_2COOH + 2H_2O$
- iv. $C_6H_{12}O_6 + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 4H_2 + 2CO_2$

3.1.3. Acetogênese

De acordo com Sunada *et al.* (2018), a acetogênese é uma etapa considerada crítica ao processo, guiada pelas bactérias acetogênicas. Esses microrganismos estabelecem relação de simbiose com as arqueias e as bactérias homoacetogênicas. Os ácidos da cadeia longa, como os ácidos graxos voláteis, são transformados em ácidos mais simples, como o ácido acético. Ocorre simultaneamente a esse processo transformativo a produção de hidrogênio e dióxido de carbono. A formação de ácidos de cadeia curta se torna mais termodinamicamente favorável quando ocorre ligada ao consumo de hidrogênio pelas arqueias metanogênicas (PRABHU *et al.*, 2021).

- i. $CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
- ii. $CH_3CH_2OH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + 2H_2$
- iii. $CH_3CH_2COOH + 2H_2O \rightarrow 2CH_3COOH + CO_2 + 2H_2$

3.1.4. Metanogênese

Sua ocorrência só é possível em condições imprescindivelmente anaeróbias (YANG; CHEN; WEN, 2021). O carbono presente na biomassa se converte em dióxido de carbono e metano pela ação das chamadas arqueias metanogênicas. A metanogênese é caracterizada pela ocorrência de reações exotérmicas. Onde as arqueias metanogênicas acetoclásticas convertem acetato em metano e as arqueias metanogênicas hidrogenotróficas convertem hidrogênio e dióxido de carbono em metano.

- i. $CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
- ii. $CO_2 + 4H_2 \rightarrow CH_4 + 2H_2O$

3.2. BIOGÁS

Segundo Perazzoli *et al.* (2020), o biogás é um combustível renovável composto principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), além de pequenas quantidades de outros gases como sulfeto de hidrogênio (H₂S), nitrogênio (N₂) e vapor d'água. A proporção de metano no biogás pode variar, geralmente entre 50% e 70%, dependendo do processo de digestão anaeróbica e dos tipos de resíduos orgânicos utilizados. Este gás é produzido pela decomposição anaeróbica de materiais orgânicos, como resíduos agrícolas, esterco animal, restos de alimentos e lodo de esgoto, em condições controladas dentro de biodigestores.

Do ponto de vista ambiental, o biogás é uma fonte de energia limpa e renovável que contribui significativamente para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Quando o biogás é utilizado em vez de combustíveis fósseis, há uma diminuição substancial na liberação de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, ajudando a mitigar as mudanças climáticas (TAJMIRIAHI; MOMAYEZ e KARIMI, 2021). Além disso, a digestão anaeróbica dos resíduos orgânicos reduz a poluição do solo e da água, minimizando os impactos ambientais negativos associados à decomposição anaeróbica não controlada, como por exemplo: emissão de gases de efeito estufa, odor desagradável, proliferação de vetores de doenças etc (VINZELJ *et al.*, 2020). Portanto, investir em tecnologias de produção de biogás não só promove a sustentabilidade energética, mas também contribui para a conservação ambiental.

3.3. BIOFERTILIZANTE

Dependendo da composição da biomassa utilizada no processo de biodigestão o digestato resultante do processo anaeróbico nos biodigestores representa uma alternativa econômica viável para agricultores, especialmente em regiões onde os custos de fertilizantes minerais são elevados. Este fertilizante orgânico não só fornece nutrientes essenciais como nitrogênio, fósforo e potássio, mas também melhora a estrutura do solo ao aumentar sua capacidade de retenção de água e aeração (XU *et al.*, 2020). Isso resulta em uma maior eficiência no uso de água e na redução da erosão do solo, contribuindo para aumentos na produtividade agrícola a longo prazo.

Além dos benefícios econômicos diretos, o uso de biofertilizantes reduz a dependência de fertilizantes sintéticos, que frequentemente têm impactos ambientais

negativos associados a sua produção em escala industrial, como a poluição dos recursos hídricos e a degradação do solo. Essa prática promove uma agricultura mais sustentável ao minimizar a contaminação ambiental e preservar a saúde dos ecossistemas locais, beneficiando não apenas os agricultores, mas também toda a comunidade através da promoção de práticas agrícolas que são socialmente responsáveis e ambientalmente sustentáveis (ZHANG *et al.*, 2021).

O uso de biofertilizantes provenientes de biodigestores não apenas promove a saúde do solo e a produtividade agrícola, mas também desempenha um papel crucial na mitigação das mudanças climáticas. Ao reduzir a necessidade de fertilizantes sintéticos, que requerem altas emissões de energia e gases de efeito estufa para sua produção, o uso de biofertilizantes contribui para a redução das emissões de carbono associadas à agricultura. Isso é especialmente relevante em contextos onde a agricultura intensiva é uma das principais fontes de emissões de gases de efeito estufa (TAJMIRIAHI; MOMAYEZ e KARIMI, 2021).

Perazzoli *et al.* (2020) afirma ainda que, ao promover práticas agrícolas que conservam a biodiversidade e os recursos naturais, os biofertilizantes ajudam a preservar os serviços ecossistêmicos essenciais para a sustentabilidade global. Socialmente, o uso de biofertilizantes fortalece a segurança alimentar ao melhorar a qualidade nutricional dos alimentos e ao promover sistemas agrícolas resilientes que são menos vulneráveis a choques climáticos e econômicos. Portanto, investir em tecnologias como biodigestores que geram biofertilizantes não só beneficia os agricultores individualmente, mas também contribui para um futuro mais sustentável e equitativo para comunidades agrícolas em todo o mundo (ZHANG *et al.*, 2021).

3.4. BIODIGESTORES ANAERÓBICOS

Em 1806 o químico britânico Humphrey Dave descobriu um gás rico em dióxido de carbono e metano, proveniente da decomposição de resíduos orgânicos. Chin *et al.* (2020) esclarecem que o primeiro biodigestor de modelo indiano foi desenvolvido em Bombaim (atual cidade de Mumbai, Índia), no ano de 1857.

Segundo Dawangpa *et al.* (2021), tecnicamente, existem dois tipos de biodigestor: batelada e contínuo. O de batelada é alimentado uma única vez no início do processo, de modo que o tanque de digestão permanece selado por um período que pode chegar até 60 dias ou mais que isso, a depender do substrato e da temperatura, ou até que a produção

de biogás atinja níveis insignificantes ou nulos. O contínuo, como o próprio nome sugere, pode ser alimentado várias vezes durante o processo, de modo que a sua produção gasosa é constante. Existem vários modelos de biodigestores contínuos, oriundos de distintas localidades, sendo os mais relevantes atualmente os modelos indiano, chinês e canadense.

3.4.1. Modelo Indiano

O biodigestor indiano, que também pode ser conhecido por sertanejo, é um modelo de biodigestor desenvolvido para atender às necessidades específicas das regiões semiáridas, como o sertão brasileiro (YANG; CHEN; WEN, 2021). Caracteriza-se por sua robustez e simplicidade, sendo construído com materiais locais de baixo custo, como alvenaria e cimento, para garantir durabilidade e resistência às condições adversas, Figura 1.

Figura 1 - Biodigestor modelo sertanejo



Fonte: Blázquez *et al.*, 2021.

O funcionamento do biodigestor sertanejo envolve a decomposição anaeróbica de resíduos orgânicos, como esterco animal e restos de alimentos, em um ambiente fechado. Este processo é realizado por microrganismos anaeróbicos que convertem a matéria orgânica em biogás, composto principalmente de metano e dióxido de carbono, e em biofertilizantes ricos em nutrientes (SOUSA *et al.*, 2020). A entrada de resíduos é contínua e o sistema é projetado para operar eficientemente em temperaturas elevadas, comuns no sertão. Além de proporcionar uma fonte de energia renovável, o biodigestor sertanejo contribui para a melhoria da qualidade do solo através do uso do biofertilizante produzido.

Sua implementação em comunidades rurais promove a sustentabilidade, reduzindo a dependência de lenha e combustíveis fósseis e melhorando a gestão de resíduos orgânicos (BLÁZQUES *et al.*, 2021).

3.4.2. Modelo Canadense

O biodigestor canadense é um tipo específico de biodigestor conhecido por sua eficiência e design adaptado a climas frios (TAJMIRIAHI; MOMAYEZ e KARIMI, 2021). Caracteriza-se por ser uma unidade hermética onde ocorre a decomposição anaeróbica de matéria orgânica, resultando na produção de biogás e biofertilizantes, Figura 2.

Figura 2 - Biodigestor modelo canadense



Fonte: Abraham *et al.*, 2020.

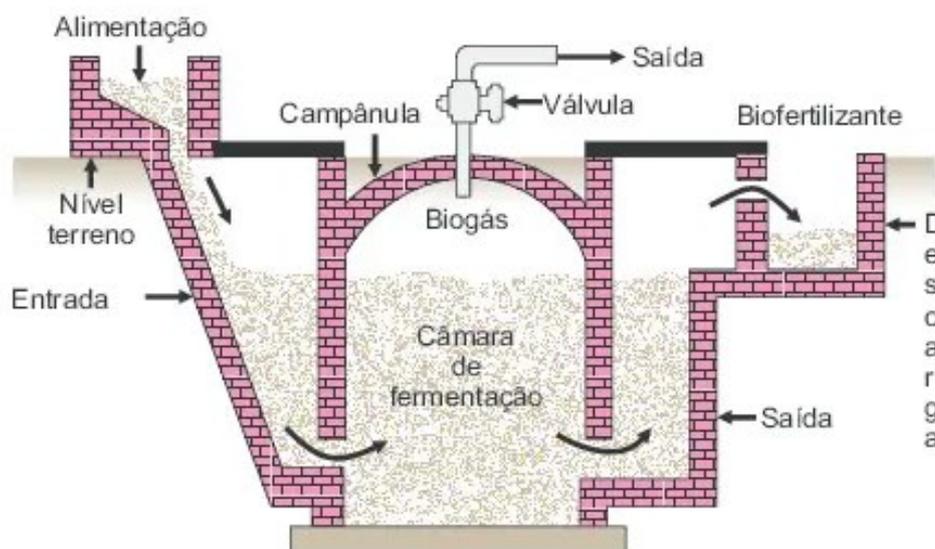
Este biodigestor utiliza um sistema de mistura contínua que mantém os resíduos em movimento, melhorando a eficiência da digestão e a produção de gás. Seu design inclui isolamento térmico para manter a temperatura ideal para a atividade microbiana, mesmo em ambientes frios. O funcionamento do biodigestor canadense envolve a inserção contínua de resíduos orgânicos, que são degradados por microrganismos anaeróbicos. Durante esse processo, o biogás produzido, principalmente composto por metano e dióxido de carbono, é coletado e pode ser utilizado como fonte de energia renovável. O efluente líquido resultante, rico em nutrientes, pode ser aplicado diretamente como fertilizante natural. Este tipo de biodigestor é especialmente eficaz em climas frios,

onde o controle de temperatura é crucial para manter a atividade microbiana e a eficiência do sistema.

3.4.3. Modelo Chinês

O biodigestor chinês é um dos modelos mais tradicionais e difundidos de biodigestores, especialmente nas áreas rurais da China (TAJMIRRAHI; MOMAYEZ e KARIMI, 2021). Caracteriza-se por sua construção em alvenaria, geralmente utilizando tijolos e cimento, formando um tanque subterrâneo hermético, Figura 3.

Figura 3 - Biodigestor modelo chinês.



Fonte: Gao *et al.*, 2020.

Esse tipo de biodigestor é conhecido por sua durabilidade e baixo custo de manutenção. O funcionamento do biodigestor chinês baseia-se na digestão anaeróbica de resíduos orgânicos, como esterco animal e resíduos agrícolas, que são introduzidos no tanque através de uma entrada de resíduos. No ambiente anaeróbico, microrganismos decompõem a matéria orgânica, produzindo biogás, composto principalmente de metano e dióxido de carbono, e um efluente rico em nutrientes. O biogás é coletado e pode ser utilizado para cozinhar, aquecer e iluminar, enquanto o efluente é utilizado como biofertilizante. Este sistema é projetado para ser simples e eficiente, adaptando-se bem às condições rurais e contribuindo significativamente para a sustentabilidade, a redução de resíduos e a melhoria da qualidade de vida nas comunidades onde é implementado.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida nas dependências do Campus IV da UEPB, na cidade de Sousa, no estado da Paraíba. E teve como objetivo avaliar a eficiência técnica e a viabilidade econômica de um biodigestor compacto, projetado para uma pequena residência brasileira de até 3 pessoas.

O biodigestor caseiro, Figura 4, é composto por dois tambores de 30 litros, sendo o primeiro utilizado como câmara digestora e o segundo como armazenador do biogás, conectados entre si.

Figura 4 – Biodigestor compacto



Fonte: Própria, 2024.

4.1. CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

A construção de um biodigestor de pequeno porte envolve a utilização de materiais acessíveis e técnicas relativamente simples. Este projeto foi desenvolvido com o objetivo de criar uma solução sustentável para a gestão de resíduos orgânicos e a produção de biogás. Para a construção do biodigestor, foram utilizados os seguintes materiais:

- dois tambores plásticos de 30 litros cada um;
- canos de PVC de 20 mm, 25 mm e 50 mm de diâmetro;
- registros de PVC de 25 mm e 50 mm de diâmetro;
- adesivo para PVC para unir as conexões e vedantes para garantir a estanqueidade das conexões.

O processo de construção começou com a preparação dos tambores. Eles foram limpos para remover qualquer resíduo que pudesse contaminar o processo. Em seguida, foram feitos furos nos tambores para instalar os canos de PVC. O primeiro tambor, destinado a ser o biodigestor, recebeu furos para a entrada de resíduos, a saída de efluentes e a saída de biogás, enquanto o segundo tambor, que atuaria como coletor de gás recebeu um furo para a entrada de biogás.

Na etapa de instalação dos canos, um cano de PVC de 50 mm foi instalado no primeiro tambor para a entrada de resíduos orgânicos. Na parte inferior do primeiro tambor, foi instalado um cano de PVC de 50 mm para a saída dos efluentes líquidos. Um cano de PVC de 20 mm foi instalado na parte superior do primeiro tambor para a saída do biogás produzido. No segundo tambor, um cano de PVC de 20 mm foi instalado para a entrada do biogás.

Para garantir o controle do fluxo de materiais e biogás, foram instalados registros de PVC de 25 mm e 50 mm nas entradas e saídas dos canos. Todas as conexões foram feitas utilizando adesivo para PVC, assegurando a vedação adequada. Além disso, conexões de PVC, como joelhos e têes, foram utilizadas para direcionar o fluxo dos resíduos e do gás. Após a instalação dos canos e registros, o sistema foi testado para garantir que não havia vazamentos. Todos os pontos de conexão foram inspecionados e, caso necessário, reforçados com vedantes adicionais, como mostrado na Figura 5 a seguir.

Figura 5 – Etapas da construção do biodigestor de pequeno porte



Fonte: Própria, 2024.

Com o objetivo de reduzir a concentração de H_2S presente no biogás, um composto responsável pelo mau cheiro característico, e CO_2 , foi projetado e instalado um filtro de esponja de aço (A) e outro composto por uma solução de água com cal, hidróxido de cálcio, (B), Figura 6.

Figura 6 – Sistema para purificação do biogás

Fonte: Própria, 2024.

A escolha da esponja de aço como material filtrante, filtro (A), se deve à sua capacidade de adsorver o H_2S através de um processo químico onde o gás sulfídrico reage com o aço, formando sulfeto de ferro (FeS), um composto inodoro. O filtro foi posicionado na linha de saída do biogás, garantindo que o gás passe pelo material filtrante antes de ser liberado. Esse procedimento não só melhora a qualidade do biogás, reduzindo seu odor, mas também minimiza os riscos associados à corrosão dos equipamentos e ao impacto ambiental negativo. A implementação deste filtro é fundamental para assegurar que o biogás gerado possa ser utilizado de maneira mais segura e eficiente, segundo Misrol *et al.* (2021).

Já o filtro B funciona passando o biogás através da solução, onde o dióxido de carbono (CO_2) reage com o hidróxido de cálcio para formar carbonato de cálcio (CaCO_3), um precipitado sólido. Misrol *et al.* (2021) salienta que este processo de absorção química reduz significativamente a concentração de CO_2 no biogás, melhorando sua qualidade e aumentando o teor de metano, que é o componente valorizado como fonte de energia. A inclusão deste filtro é essencial para otimizar a eficiência energética do biogás, tornando-o mais adequado para aplicações como a geração de eletricidade e o uso como combustível veicular.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Embora o projeto do biodigestor tenha sido concluído com sucesso em termos de construção e montagem, o sistema não foi alimentado com resíduos orgânicos. Isso ocorreu devido à falta de tempo necessário para finalizar as análises detalhadas da biomassa e do biogás que seriam produzidos. A alimentação do biodigestor e a subsequente análise do processo de digestão anaeróbica requerem um período prolongado de observação e coleta de dados, que não pôde ser adequadamente cumprido dentro do cronograma do projeto. Dessa forma, optou-se por adiar a alimentação do sistema para garantir que todas as análises sejam realizadas de maneira completa e rigorosa, assegurando a precisão e a confiabilidade dos resultados obtidos. Essa decisão visa manter a integridade científica do projeto e garantir que futuras fases do experimento possam ser conduzidas com o devido tempo e recursos.

Durante a montagem do biodigestor, diversos desafios técnicos foram identificados e enfrentados. Um dos principais desafios foi a seleção adequada dos materiais de construção, levando em consideração não apenas a disponibilidade local e o custo, mas também a durabilidade e a compatibilidade com o ambiente anaeróbico necessário para a digestão dos resíduos orgânicos. A falta de experiência prévia na montagem de sistemas anaeróbicos também representou um desafio significativo, exigindo aprendizado adicional sobre as técnicas de vedação e isolamento térmico necessárias para garantir a eficiência do processo de digestão.

Ao longo do processo, diversas lições foram aprendidas. A importância de um planejamento detalhado e da flexibilidade para lidar com imprevistos se destacou, assim como a necessidade de comunicação eficaz entre os membros da equipe e a capacidade de resolver problemas de forma colaborativa. A documentação cuidadosa de cada etapa do projeto revelou-se crucial para a avaliação posterior do desempenho do biodigestor e para fornecer *insights* valiosos para futuras implementações similares. Essas experiências contribuíram significativamente para o desenvolvimento de competências técnicas e organizacionais entre os participantes do projeto, além de fortalecer o entendimento sobre os aspectos práticos da implementação de tecnologias sustentáveis.

A construção e implementação do protótipo demonstram ser economicamente viáveis, utilizando materiais acessíveis e de baixo custo, como tambores plásticos e canos de PVC. Este projeto oferece uma solução prática e eficaz para estudantes do curso de energias renováveis, que frequentemente carecem de equipamentos adequados para a prática laboratorial. Além de ser uma ferramenta de ensino valiosa, o biodigestor fortalece

o setor agrícola ao possibilitar a conversão de resíduos orgânicos em biogás e biofertilizantes, promovendo práticas sustentáveis e a autossuficiência energética.

A utilização deste equipamento na universidade proporcionará aos alunos uma experiência prática e direta com tecnologias de energia renovável, ampliando seu conhecimento acadêmico e preparando-os melhor para o mercado de trabalho. Dessa forma, o biodigestor não só atende às necessidades educacionais e técnicas, mas também contribui para o desenvolvimento sustentável da comunidade acadêmica e agrícola.

Investir em projetos de biodigestores dentro das universidades é crucial para o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis e para a formação de profissionais capacitados em energias renováveis. Tais investimentos permitem que instituições acadêmicas ofereçam infraestrutura adequada para a realização de pesquisas e práticas laboratoriais, promovendo a inovação e a descoberta de novas soluções energéticas. Além disso, como política pública, a implementação de biodigestores em cidades pode transformar a gestão de resíduos orgânicos, reduzir a emissão de gases de efeito estufa e fornecer uma fonte alternativa de energia limpa.

Esses investimentos não só fomentam a sustentabilidade ambiental, mas também geram benefícios econômicos e sociais, criando empregos, incentivando a autossuficiência energética e melhorando a qualidade de vida das comunidades. Portanto, o apoio financeiro a projetos de biodigestores é fundamental tanto para o avanço acadêmico quanto para o desenvolvimento sustentável urbano.

6. CONCLUSÃO

A jornada de construção e montagem do biodigestor de pequeno porte revelou-se uma experiência desafiadora e enriquecedora, evidenciando a importância da preparação meticulosa e da adaptação diante das complexidades técnicas e logísticas. A escolha criteriosa dos materiais e técnicas de construção foi crucial para enfrentar obstáculos como a não alimentação inicial do equipamento, uma situação que demandou flexibilidade e inovação para ajustar os planos conforme as necessidades emergentes.

As lições aprendidas ao longo do processo foram profundas. A experiência destacou a necessidade de planejamento robusto, adaptabilidade às circunstâncias variáveis e a valorização do trabalho em equipe como elementos essenciais para o sucesso de iniciativas sustentáveis. Além disso, a montagem do biodigestor não apenas promoveu o desenvolvimento de competências técnicas entre os participantes, mas também

fortaleceu nosso compromisso com práticas ambientais responsáveis e inovação tecnológica.

Portanto, o projeto não só ampliou nosso entendimento sobre a implementação prática de tecnologias sustentáveis, mas também reafirmou a importância de iniciativas colaborativas na construção de um futuro mais sustentável. A continuidade desse trabalho não apenas beneficiará comunidades acadêmicas e locais, mas também contribuirá significativamente para o avanço global em direção a práticas mais responsáveis e eficientes em termos energéticos.

REFERÊNCIAS

ABRAHAM, A.; MATHEW, A. K.; PARK, H.; CHOI, O.; SINDHU, R.; PARAMESWARAN, B.; PANDEY, A.; PARK, J. H.; SANG, B. Pretreatment strategies for enhanced biogas production from lignocellulosic biomass. **Bioresource technology**, v. 301, p. 122725, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122725>

BATISTA, S. P.; GUERRA, E. P.; RESENDE, J. T. V.; GUERI, M. V. D.; CARVALHO, G. C.; CRESTANI, J. N. S.; SILVA, I. F. L. Potential for biogas generation from sweet potato genotypes. **Rev. Ambient. Água**, Taubaté, v. 14, n. 2, e2317, 2019. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2317>

BLÁZQUEZ, C. S.; BORGE-DIEZ, D.; NIETO, I. M.; MARTIN, A. F.; GONZALÉZ-AGUILERA, D. Multi-parametric evaluation of electrical, biogas and natural gas geothermal source heat pumps. **Renewable Energy**, v. 163, p. 1682-1691, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.10.080>

CEDRAN, M. F.; RODRIGUES, F. J.; BICAS, J. L. Encapsulation of Bifidobacterium BB12® in alginate-jaboticaba peel blend increases encapsulation efficiency and bacterial survival under adverse conditions. **Applied Microbiology and Biotechnology**, p. 1-9, 2020. <https://doi-org.ez15.periodicos.capes.gov.br/10.1007/s00253-020-11025-9>

CHIN, K. F.; WAN, C.; LI, Y.; ALAIMO, C. P.; GREEN, P. G.; YOUNG, T. M.; KLEEMAN, M. J. Statistical analysis of trace contaminants measured in biogas. **Science of the Total Environment**, v. 729, p. 138702, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138702>

DAWANGPA, A.; LERTWATCHARASARAKUL, P.; RAMASOOTA, P.; BOONSOONGNERN, A.; RATANAVANICHROJN, N.; SANGUAKIAT, A.; PHATTHANAKUNANAN, S.; TULAYAKUL, P. Genotypic and phenotypic situation of antimicrobial drug resistance of Escherichia coli in water and manure between biogas and non-biogas swine farms in central Thailand. **Journal of Environmental Management**, v. 279, p. 111659, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111659>

GANTENBEIN, A.; WITTE, J.; BIOLLAZ, S. M. A.; KROCHER, O.; SCHILDHAUER, T. J. Flexible application of biogas upgrading membranes for hydrogen recycle in power-to-methane processes. **Chemical Engineering Science**, v. 229, p. 116012, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2020.116012>

GAO, J.; WENG, W.; YAN, Y.; WANG, Q. Comparison of protein extraction methods from excess activated sludge. **Chemosphere**, v. 249, p. 126107, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.126107>

HARTUNG, C.; ANDRADE, D.; DANDIKAS, V.; EICKENSCHIEDT, T.; DROSLER, M.; ZOLLFRANK, C.; HEUWINKEL, H. Suitability of paludiculture biomass as biogas substrate— biogas yield and long-term effects on anaerobic digestion. **Renewable Energy**, v. 159, p. 64-71, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.05.156>

MISROL, M. A.; ALWI, S. R. W.; LIM, J. S.; MANAN, Z. A. An optimal resource recovery of biogas, water regeneration, and reuse network integrating domestic and industrial sources. **Journal of Cleaner Production**, v. 286, p. 125372, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125372>

PERAZZOLI, B. E.; PAULETTI, V.; QUARTIERI, M.; TOSELLI, M.; GOTZ, L. F. Changes in leaf nutrient content and quality of pear fruits by biofertilizer application in northeastern Italy. **Rev. Bras. Frutic.**, Jaboticabal, v. 42, n. 1, e-530, 2020. <https://doi.org/10.1590/0100-29452020530>

PRABHU, A. V.; AVINASH, A.; BRINDHADEVI, K.; PUGAZHENDHI, A. Performance and emission evaluation of dual fuel CI engine using preheated biogas-air mixture. **Science of the Total Environment**, p. 142389, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142389>

SOUSA, I. P.; ROSA, A. P.; BORGES, A. C.; RENATO, N. S. ENERGY POTENTIAL OF BIOGAS FROM PIG FARMS IN THE STATE OF MINAS GERAIS, BRAZIL. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v. 40, n. 3, p. 396-404, jun. 2020. <https://doi.org/10.1590/1809-4430-eng.agric.v40n3p396-404/2020>

SUNADA, N. S. ORRICO, A. C. A.; JUNIOR, M. A. P. O.; JUNIOR, J. L.; LOPES, W. R. T.; SCHWINGEL, A. W. Anaerobic co-digestion of animal manure at different waste cooking oil concentrations. **Cienc. Rural**, Santa Maria, v. 48, n. 7, e20170517, 2018. <http://dx.doi.org/10.1590/0103-8478cr20170517>

TAJMIRIAHI, M.; MOMAYEZ, F.; KARIMI, K. The critical impact of rice straw extractives on biogas and bioethanol production. **Bioresource Technology**, v. 319, p. 124167, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124167>

VINZELJ, J.; JOSHI, A.; INSAM, H.; PODMIRSEG, S. M. Employing anaerobic fungi in biogas production: Challenges & opportunities. **Bioresource technology**, v. 300, p. 122687, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122687>

WANG, Y.; WEHRLE, L.; BANERJEE, A.; SHI, Y.; DEUTSCHMANN, O. Analysis of a biogas-fed SOFC CHP system based on multi-scale hierarchical modeling. **Renewable Energy**, v. 163, p. 78-87, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.08.091>

XU, W.; BRAND, V. R.; SURESH, S.; JENSEN, M. A.; DAVIS, R. W.; CRIDDLE, C. S.; ONGE, R. P. S.; HYMAN, R. W. Community members in activated sludge as determined by molecular probe technology. **Water research**, v. 168, p. 115104, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115104>

YANG, S.; CHEN, Z.; WEN, Q. Impacts of biochar on anaerobic digestion of swine manure: Methanogenesis and antibiotic resistance genes dissemination. **Bioresource Technology**, v. 324, p. 124679, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124679>

ZHANG, Y.; KAWASAKI, Y.; OSHITA, K.; TAKAOKA, M.; MINAMI, D.; INOUE, G.; TANAKA, T. Economic assessment of biogas purification systems for removal of both H₂S and siloxane from biogas. **Renewable Energy**, v. 168, p. 119-130, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.12.058>

ZHANG, Y.; ZHENG, Y.; ZHU, Z.; CHEN, Y.; DONG, H. Dispersion of Antibiotic Resistance Genes (ARGs) from stored swine manure biogas digestate to the

atmosphere. **Science of The Total Environment**, v. 761, p. 144108, 2021.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144108>