Revista Multidisciplinar do Nordeste Mineiro, v.04, 2025
ISSN 2178-6925

BIODIGESTORES: VANTAGENS E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA NO BRASIL

BIO-DIGESTERS: ADVANTAGES AND ENERGY EFFICIENCY IN BRAZIL

Ellen Emanuele Souza Cândido
Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo IFPB – Campus Esperança.
E-mail: ellen.emanuele@academico.ifpb.edu.br

Dulce Maria Diniz Bezerra
Técnica em Sistemas de Energia Renovável pelo IFPB – Campus Esperança.
E-mail: dulce.diniz@academico.ifpb.br

Aldeni Barbosa da Silva
Doutor em Agronomia (Universidade Federal da Paraíba – UFPB, Campus II). Professor de Biologia do IFPB - Campus Esperança. E-mail: aldeni.silva@ifpb.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-9454-7450

Marcelo Máximo Purificação
Doutor em Ciências da Religião (Pontifícia Universidade Católica de Goiás – PUC Goiás). Centro Universitário de Mineiros, UNIFIMES, Brasil. E-mail: maximo@unifimes.edu.br.
ORCID: https://orcid.org/0000-0002-4788-016X

Edmilson Dantas da Silva Filho
Doutor em Engenharia Agrícola (Universidade Federal de Campina Grande – UFCG - Campus I). Professor de Química do IFPB - Campus Campina Grande. E-mail: edmilson.silva@ifpb.edu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1981-7558

Avaetê de Lunetta e Rodrigues Guerra
Doutor em Educação (UNADES), Mestre em Filosofia (Universidade Federal da Paraíba – UFPB). E-mail: avaete.guerra@ifpb.eu.br
ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7834-4362

Resumo

Os biodigestores transformam matéria orgânica em biogás e biofertilizante. O biogás, composto majoritariamente por metano, é uma fonte de energia renovável e limpa, enquanto o biofertilizante é rico em nutrientes, promovendo a sustentabilidade agrícola. No contexto brasileiro, os biodigestores são utilizados principalmente em propriedades rurais para o manejo de resíduos agropecuários. Diante disso, esse trabalho aborda a crescente relevância dos biodigestores como alternativa sustentável para o tratamento de resíduos orgânicos no Brasil, destacando suas vantagens econômicas, ambientais e energéticas. A pesquisa, de caráter exploratório e qualitativo, utilizou revisão bibliográfica de artigos científicos, livros e bases de dados acadêmicas. Os trabalhos científicos foram pré-selecionados e os considerados mais relevantes foram armazenados para

melhor leitura e compreensão. Seguiu-se as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas) para organizar as referências e citações. Os biodigestores apresentam vantagens econômicas e ambientais significativas. Eles permitem a estabilização, higienização e desidratação da matéria orgânica. Além disso, eles ajudam a reduzir a emissão de gases de efeito estufa e a quantidade de resíduos que vão para aterros sanitários, contribuindo para a preservação do meio ambiente. Na agropecuária, eles fornecem combustível no meio rural mediante o biogás e adubo por intermédio do biofertilizante. Contudo, desafios como o custo inicial, a dependência de recursos hídricos e as condições climáticas para manutenção da temperatura ideal do sistema foram destacados. Além disso, o estudo ressalta o potencial energético do biogás no Brasil, ainda subutilizado, considerando o amplo volume de resíduos orgânicos disponíveis. Conclui-se que a ampliação do uso de biodigestores no país pode mitigar impactos ambientais e impulsionar a produção de energia renovável, alinhando-se aos objetivos de desenvolvimento sustentável.

Palavras-chave: Biodigestores; Biogás; Biofertilizante; Sustentabilidade ambiental.

Abstract

Biodigesters transform organic matter into biogas and biofertilizer. Biogas, composed mainly of methane, is a renewable and clean energy source, while biofertilizer is rich in nutrients, promoting agricultural sustainability. In the Brazilian context, biodigesters are mainly used on rural properties for the management of agricultural waste. In view of this, this work addresses the growing relevance of biodigesters as a sustainable alternative for the treatment of organic waste in Brazil, highlighting their economic, environmental and energy advantages. The research, of an exploratory and qualitative nature, used a bibliographic review of scientific articles, books and academic databases. The scientific papers were pre-selected and those considered most relevant were stored for better reading and understanding. The standards of ABNT (Brazilian Association of Technical Standards) were followed to organize the references and citations. Biodigesters present significant economic and environmental advantages. They allow the stabilization, sanitization and dehydration of organic matter. In addition, they help reduce greenhouse gas emissions and the amount of waste that goes to landfills, contributing to environmental preservation. In agriculture, they provide fuel in rural areas through biogas and fertilizer through biofertilizer. However, challenges such as initial cost, dependence on water resources and climate conditions for maintaining the ideal temperature of the system were highlighted. In addition, the study highlights the energy potential of biogas in Brazil, which is still underutilized, considering the large volume of organic waste available. It is concluded that the increased use of biodigesters in the country can mitigate environmental impacts and boost the production of renewable energy, aligning with sustainable development goals.

Keywords: Biodigesters; Biogas; Biofertilizer; Environmental sustainability.

1. Introdução

A crescente densidade populacional nos ambientes urbanos e o gerenciamento inadequado dos resíduos sólidos produzidos tornaram-se um cenário preocupante para qualidade de vida nas cidades, provocando danos ambientais, sociais e políticos (no âmbito da gestão municipal). Para amenizar essa grande problemática, é necessário desenvolver ações que promovam a eficiência

na geração e no manejo dos resíduos (SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE, 2023).

A busca por tratamento de resíduos sólidos tem se mostrado uma importante preocupação com os impactos causados por eles no meio ambiente em tempo atuais, já que o estilo de vida moderno combinado com o aumento da população tende a gerar cada vez mais resíduos (KHALID et al., 2011; PIRES, 2019).

A fração orgânica dos resíduos sólidos urbanos, é responsável por aproximadamente 50% dos resíduos sólidos gerados no Brasil (IBGE, 2010), que é fonte de poluição, como chorume, gases e contaminante de corpos hídricos (OLIVEIRA et al., 2018).

Nos últimos anos houve um aumento por tecnologias que forneçam energia com a redução de impactos ambientais, conhecida como “Energia limpa”. Nessa circunstância, ganham destaques as tecnologias a base de fontes renováveis, principalmente quando promovem benefícios econômicos, ambientais e sociais (SOARES et al., 2018).

Nesse contexto, os biodigestores constituem uma ótima maneira de obtenção de energia de forma sustentável, pois apresentam vantagens no que se refere à questão ambiental e econômica. No Brasil, os biodigestores estão ganhando destaque principalmente no meio rural, pois representam uma alternativa para destinação de resíduos agrícolas e dejetos de animais, além da obtenção do biogás e do biofertilizante com baixo custo, os quais possuem diversas utilidades (METZ, 2013).

Os Resíduos da produção rural; dejetos de suínos, bovinos e aviários; resíduos agrícolas, de lavagem e ração, costumam ser considerados problemas para o produtor rural, pois é exigido por lei que eles tenham destinação adequada, evitando que contaminem o meio ambiente. Os biodigestores auxiliam o produtor no manejo correto dos resíduos das suas atividades. Além disso, fabricam novos produtos que podem ser utilizados pelo próprio produtor rural (ECYCLE, 2023).

Também tem sido desenvolvido estudos envolvendo o uso de biodigestores no tratamento de efluentes (SILVA et al., 2012). De acordo com os mesmos autores, a busca por fontes de energia renováveis e sustentáveis tem se tornado cada vez mais relevante no cenário global. Nessa condição, os biodigestores

surgem como uma alternativa promissora, capaz de transformar resíduos orgânicos em energia.

O biodigestor é de simples construção e operação. Sua função é transformar matéria orgânica crua em biofertilizante de alta qualidade biológica. Nesse processo, o equipamento gera como resíduo um biogás, que pode ser utilizado como combustível (ECYCLE, 2023).

O biogás é uma mistura gasosa com predominância do gás metano resultante da fermentação de resíduos orgânicos (dejetos de animais, resíduos vegetais, etc.), na ausência de oxigênio (FERRAZ; MARRIEL, 1980).

Os biofertilizantes possuem compostos bioativos, resultantes da biodigestão de compostos orgânicos de origem animal e vegetal. Em seu conteúdo são encontradas células vivas ou latentes de microrganismos de metabolismo aeróbico, anaeróbico e fermentação (bactérias, leveduras, algas e fungos filamentosos) e também metabólitos e quelatos organominerais em solutos aquosos (MEDEIROS; LOPES, 2006).

Diante disso, objetivou-se com esse estudo, aprofundar o entendimento sobre os biodigestores, apresentando suas vantagens e eficiência energética, com foco especial na realidade brasileira.

2. Metodologia

Esse trabalho teve como método de pesquisa o de natureza exploratória, utilizando-se de uma revisão bibliográfica qualitativa, que segundo Araújo e Borba (2004), este tipo de pesquisa deve ter por trás uma visão de conhecimento que esteja em sintonia com procedimentos descritivos.

Em relação ao tipo desta revisão bibliográfica, este estudo é classificado como explicativo, visto que têm como preocupação central identificar os fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (GIL, 2002).

Os dados desta revisão literária foram coletados através de referências bibliográficas baseadas em Livros, Artigos, Scopus, Scielo e trabalhos de conclusão de curso. Os trabalhos científicos foram pré-selecionados e os considerados mais relevantes foram armazenados para melhor leitura e

compreensão. Seguiu-se as normas da ABNT (Associação Brasileira de Normas e Técnicas) para organizar as referências e citações.

3. Revisão de Literatura

3.1. Biodigestores

O biodigestor é um equipamento fechado em que se introduz matéria orgânica para ser decomposta por diversos microrganismos anaeróbios. No entanto, ao contrário da compostagem, que ocorre na presença de oxigênio, a digestão anaeróbica ocorre em um ambiente sem oxigênio (ECYCLE, 2019).

Os biodigestores são amplamente utilizados para o gerenciamento sustentável de resíduos orgânicos, transformando-os em biogás e biofertilizante. O biogás produzido é uma mistura de metano e dióxido de carbono, que pode ser usado como fonte de energia renovável. O biofertilizante, por outro lado, é rico em nutrientes e pode ser usado para enriquecer o solo, semelhante ao composto produzido pela compostagem (VERTOWN, 2024)

Os biodigestores apresentam vantagens econômicas e ambientais significativas. Eles permitem a estabilização, higienização e desidratação da matéria orgânica por meio de um único processo. Além disso, eles ajudam a reduzir a quantidade de resíduos que vão para aterros sanitários, contribuindo para a preservação do meio ambiente (ECYCLE, 2023).

Os biodigestores também contribuem para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Durante a digestão anaeróbica, o metano, um potente gás de efeito estufa, é capturado e usado como fonte de energia, em vez de ser liberado para a atmosfera. Isso é particularmente importante, pois o metano tem um potencial de aquecimento global 28 vezes maior do que o dióxido de carbono (MENEZES et al., 2023).

Além disso, o uso de biodigestores pode trazer benefícios agrícolas. O biofertilizante produzido é rico em nutrientes e pode melhorar a estrutura do solo, aumentar a capacidade de retenção de água e fornecer nutrientes essenciais para

as plantas. Isso pode aumentar a produtividade agrícola e reduzir o uso de fertilizantes químicos (MACHADO, 2023).

3.1.1. Vantagens e Desvantagens

O uso de biodigestores tem se mostrado uma solução eficaz para a reciclagem de resíduos orgânicos e a redução da poluição ambiental. Esses dispositivos permitem que resíduos como restos de alimentos e excrementos de animais sejam transformados em biogás e fertilizantes, contribuindo para um ambiente mais limpo e sustentável. Na agropecuária, os excrementos dos animais são frequentemente reaproveitados em biodigestores, garantindo uma destinação ambientalmente correta para esses resíduos, evitando a contaminação do solo e das águas, e promovendo a sustentabilidade nas práticas agrícolas (CASTRO, 2024).

As vantagens de utilização de biodigestores na agropecuária são: fornecimento de combustível no meio rural mediante o biogás e adubo por intermédio do biofertilizante; valorização dos dejetos para uso agronômico; redução do poder poluente e do nível de patógenos; exigência de menor tempo de retenção hidráulica e de área em comparação com outros sistemas anaeróbios e geração de créditos de carbonos (BEZERRA, et al, 2018).

A biodigestão é definida como o processo de decomposição de matéria orgânica em componentes mais simples por meio de ação biológica natural. O ritmo da decomposição depende de vários fatores, tais como a umidade, o oxigênio, a temperatura, a quantidade de microrganismos, a presença de agentes inibidores e também de nutrientes (CASTANHO; ARRUDA, 2008).

O biogás produzido nos biodigestores é uma fonte de energia limpa, eficiente e econômica. Sua disponibilidade pode reduzir significativamente a demanda por combustíveis fósseis, contribuindo para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa e mitigando os impactos das mudanças climáticas. Além do biogás, os biodigestores geram fertilizantes orgânicos que possuem um menor impacto ambiental em comparação com os fertilizantes químicos. Esses fertilizantes orgânicos ajudam a reduzir os custos da produção agrícola e melhoram

a qualidade do solo, promovendo uma agricultura mais sustentável (CASTRO, 2024).

O biofertilizante corrige naturalmente o pH do solo, eliminando o alumínio tóxico da terra, representando economia de cal, trabalho de calagem e intervalos para incorporação da cal no solo. Promove a absorção radicular rápida com aproveitamento dos nutrientes quase sem perdas, particularmente o nitrogênio, acelerando o crescimento. O biofertilizante não "queima" as sementes e as mudas, podendo ser aplicado diretamente sobre elas sem intervalos na adubação. Funciona também como inseticida, atuando na erradicação de pragas e doenças (BEZERRA, et al, 2018).

O sistema de biodigestão apresenta algumas desvantagens que devem ser consideradas. Primeiramente, o consumo de água é um fator crítico, pois o sistema exige uma disponibilidade constante de água para realizar a mistura dos resíduos orgânicos. Sem a quantidade necessária de água, o processo de biodigestão pode ser comprometido, resultando em menor eficiência na produção de biogás. Além disso, o controle de temperatura é essencial para o bom funcionamento do biodigestor. É necessário manter uma temperatura constante próxima a 35°C, dentro de uma faixa que varia entre 20°C e 60°C. A temperatura ideal favorece a atividade das bactérias responsáveis pela decomposição dos resíduos orgânicos. Em regiões onde a temperatura ambiente não é suficiente para manter essa faixa, pode ser necessária a utilização de uma fonte de calor externa, o que pode aumentar os custos operacionais (CASTRO, 2024).

Outro ponto a ser considerado são os subprodutos nocivos gerados durante o processo de biodigestão. Entre eles, destacam-se o sulfeto de hidrogênio (H_2S) e os siloxanos derivados de silicone, presentes em produtos cosméticos e na mistura de resíduos orgânicos. O H_2S é um gás tóxico e corrosivo, que pode causar danos aos equipamentos e representar riscos à saúde. Já os siloxanos podem formar depósitos que prejudicam o funcionamento dos motores a biogás. Portanto, é essencial implementar medidas de controle e tratamento desses subprodutos para garantir a segurança e a longevidade do sistema (VERTOWN, 2024).

Por fim, a necessidade de acumular resíduos orgânicos para manter os biodigestores sempre operacionais também pode trazer problemas de saúde

pública. O acúmulo de resíduos pode favorecer a proliferação de vetores de doenças e a geração de odores desagradáveis. A gestão adequada dos resíduos, incluindo a coleta, armazenamento e tratamento, é fundamental para minimizar esses impactos negativos e garantir um ambiente seguro e saudável (CASTRO, 2024).

3.1.2. Aproveitamento Energético do Biogás

Os Biodigestores apresentam vantagens ambientais significativas. Além de ter níveis de poluição menores em comparação com alguns combustíveis fósseis, o biogás contribui para a mitigação de impactos ambientais ao possibilitar a destinação adequada de resíduos orgânicos, a redução de emissões de gases de efeito estufa, a substituição de combustíveis fósseis na geração de eletricidade, a utilização térmica, a utilização veicular e a diminuição do consumo de fertilizantes químicos por meio do uso do digestato como biofertilizante (XIMENES, 2024).

O processo de biodigestão anaeróbia que ocorre nos biodigestores, consiste na biodegradação de sua carga orgânica. Este processo gera biogás e biofertilizante com reduzida carga orgânica sem, no entanto, alterar suas propriedades fertilizantes (SZYMANSKI et al., 2010). Seguindo o mesmo pensamento, de acordo com Porangaba (2021), o biogás constitui uma fonte de energia alternativa, contribuindo na questão ambiental, reduzindo os impactos das fontes poluidoras.

O processo de conversão de energia refere-se ao processo em que alguma forma de energia é convertida para outra. Devido ao desenvolvimento da sociedade, tanto demográfica como econômica, a demanda por energia elétrica é crescente. Assim, faz-se necessário que haja o incentivo de busca de novas tecnologias para a conversão de energia possibilitando o fornecimento de energia de acordo com a crescente demanda. Para a geração de energia elétrica, por exemplo, a conversão pode prover de recursos renováveis ou não renováveis, como os combustíveis fósseis. De um modo geral, embora seja um processo poluente, que gera resíduos como metano e óxidos de carbono, o uso de materiais fósseis para a geração de energia é considerado convencional, uma vez que

representa grande parte da geração de energia elétrica no mundo. Deve-se destacar que, por se tratar de reservas limitadas, os combustíveis fósseis não estarão disponíveis para atender à crescente demanda energética mundial. Com isso, o atual panorama indica o desenvolvimento de estudos e pesquisas para que as energias renováveis contribuam de forma integral de acordo com a capacidade de cada local (PRATI, 2010; BAGGIO, 2017).

De acordo com Silva e Silva (2021), as vantagens de produzir energia elétrica a partir do biogás é a capacidade de produção de energia em uma necessidade, tendo fácil armazenamento, podendo ter melhor qualidade na produção, evitando picos de energia.

A geração de energia elétrica a partir do biogás é independente de condições climáticas, ao contrário da energia solar ou eólica. Quando comparada a outras fontes de energia, o biogás se destaca pelas vantagens ambientais incluindo aproveitamento dos resíduos outrora descartados para a geração de energia elétrica. Para que o biogás, gerado pelo processo de decomposição da matéria orgânica, seja utilizado como fonte de alternativa de energia elétrica, este processo deve ocorrer dentro de um biodigestor acoplado a algum tipo de gerador. Ainda, o biodigestor deve permitir a estabilização desta matéria orgânica (SILVEIRA; VIVELLA 2005, apud BAGGIO, 2017).

A energia elétrica pode ser obtida a partir do biogás por diferentes tecnologias, como motores de combustão interna, turbinas a gás, microturbinas, e células a combustível (KHAN et al 2017, apud SOARES et al 2022). Ademais, o biogás pode ser utilizado para a produção de energia descentralizada com sistemas combinados de calor e eletricidade – cogeração, e o excedente de eletricidade pode ser injetado na rede interligada ou vendido para consumidores livres (GARCILASSO et al, 2018).

A produção de biogás e sua utilização para fins energéticos pode ser acessível a toda a população, pois existem desde biodigestores de grande porte, com um custo mais elevado, até os mais simples, que podem ser construídos com materiais recicláveis. Isto demonstra que todos os cidadãos podem ter acesso a essa fonte de energia e contribuir para o desenvolvimento sustentável local. Apesar de CO_2 e CH_4 serem gases de efeito estufa, quando produzidos pela digestão

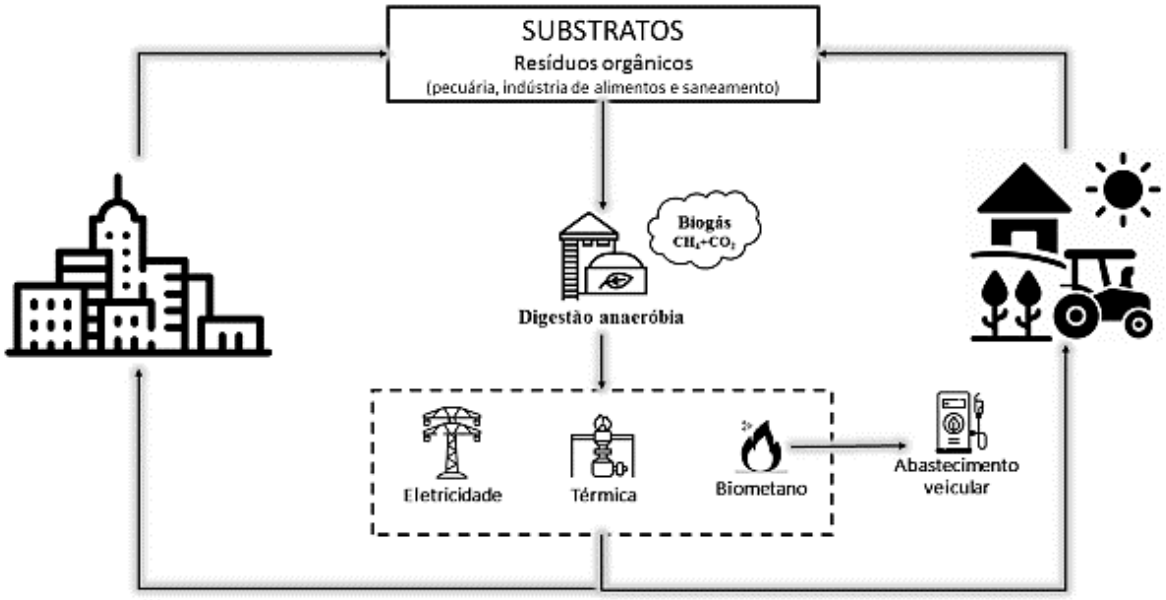
anaeróbia, sua geração e emissão pode ser controlada. O biogás resultante é passível de ser utilizado diretamente ou armazenado para posterior purificação e aplicação. Assim, pode-se dizer que o processo de biodigestão para produção e uso energético do biogás auxilia na minimização do efeito estufa, e o Brasil tem buscado esta solução (LINS et al., 2022).

O uso energético do biogás é realizado há pelo menos 40 anos no Brasil. Seu destino tem sido a produção de energia elétrica, térmica, mecânica, além da produção de biometano, resultando em benefícios aos setores ambiental e econômico. A produção de biogás no Brasil, com aplicação energética (geração de energias elétrica e térmica, gás natural renovável/biometano e energia mecânica), no ano de 2020, foi de 1,83 bilhão de Nm^3, valor correspondente a cerca de 2% do potencial do país, que foi de 82,58 bi Nm^3, ou seja, existe a possibilidade de crescimento do uso do biogás nesta área (CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS – BIOGÁS [CIBIOGÁS], 2021).

A quantidade de biogás produzida depende, entre outros fatores, da tecnologia empregada na digestão. A usina de Tilburg, na Holanda, por exemplo, pode alcançar 106 m^3/t de resíduos (75% de restos de alimentos e de jardim e 25% de papel não reutilizável), com um teor de 56% de metano. A Kompogas, fabricante de biodigestores, sugere, como média, o valor de 120 m^3 de biogás por tonelada de material orgânico. Considerando-se essas referências e a proporção de matéria orgânica na quantidade de resíduos gerados, pode-se afirmar que entre 60 a 75 m^3 de biogás são produzidos por tonelada de resíduo em um processo de digestão anaeróbia (SOARES, 2021).

De forma geral, a produção de biogás, aliada ao aproveitamento de resíduos orgânicos, a sua não disposição no meio ambiente e a possibilidade de produzir e alcançar energia e renda para a população fazem parte dos objetivos a serem ser alcançados (Figura 1).

Figura 1 − Produção de biogás e geração de energia, retornando para o campo e a cidade.



Fonte: (LINS et al., 2022).

3.2. Principais Modelos de Biodigestores

Um biodigestor pode ser definido como uma câmara de fermentação fechada, onde a biomassa sofre a digestão das bactérias anaeróbicas produzindo biogás. Em outras palavras, trata-se de um recipiente completamente fechado e vedado, construído de alvenaria, concreto ou outros materiais, onde é colocado o material a ser degradado para posterior fermentação (XAVIER, 2022).

Atualmente, existem diversos tipos de modelos de biodigestores utilizados em propriedades rurais, os quais são adaptados de acordo com as necessidades e especificações do produtor, sendo que, os principais e mais utilizados são: o indiano, o chinês, o batelada e o canadense.

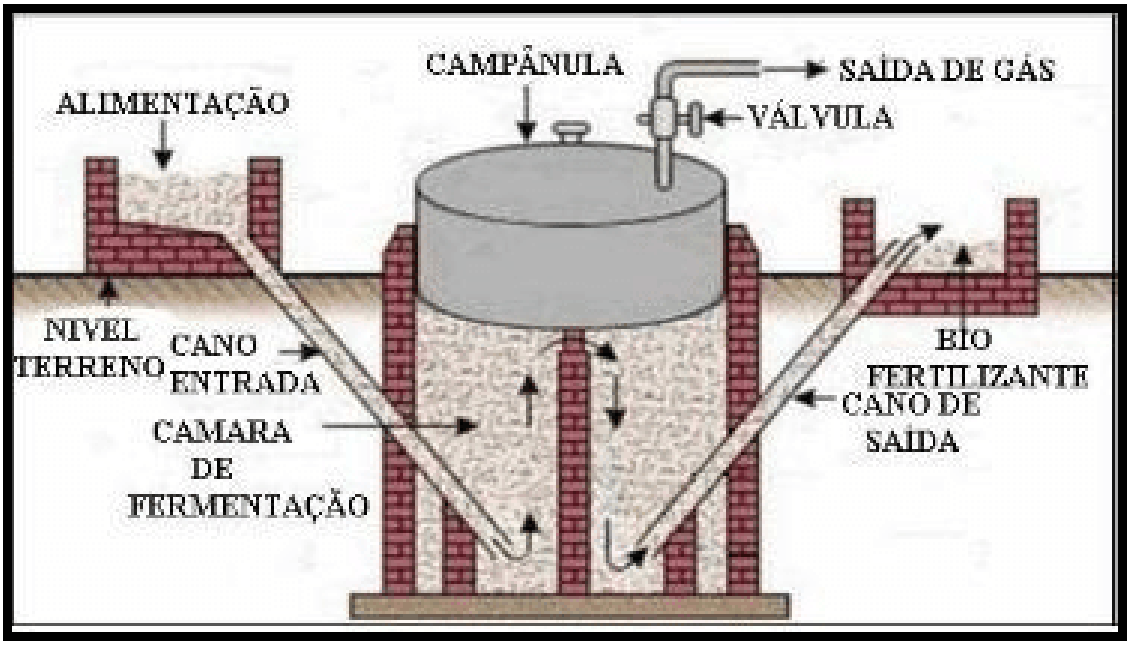
3.2.1 Biodigestor Indiano

O biodigestor indiano é um sistema de tratamento de resíduos orgânicos que utiliza bactérias anaeróbicas para decompor materiais como dejetos animais, lixo doméstico e resíduos agrícolas, transformando-os em biogás e biofertilizantes (BARROS, 2021). Caracteriza-se por ser do tipo contínuo, geralmente constituído

por tijolos e cimento do tipo impermeável aplicado na parte interna, possui um dispositivo denominado Campânula Móvel, uma espécie de gasômetro, que faz a medição dos gases presentes no equipamento, podendo também desempenhar a função de manutenção da pressão interna (DEGANUTTI, et al. 2002).

O funcionamento do biodigestor indiano envolve uma caixa de entrada de dejetos, um tanque biodigestor e uma caixa de saída. A matéria orgânica é introduzida na caixa de entrada e, em seguida, passa para o tanque, onde ocorre a digestão anaeróbica. Uma parede central dentro do tanque promove a circulação da matéria orgânica, facilitando a ação dos microrganismos (Figura 2). A temperatura constante do solo favorece esse processo, tornando-o mais eficiente (BARROS, 2021).

Figura 2 – Biodigestor Modelo Indiano.



Fonte: Fonseca et al. (2009).

Segundo Gaspar (2003), o modelo indiano oferece algumas vantagens em relação ao modelo chinês pois o mesmo pode ser adaptado ao clima local e ao tipo de solo não tendo a necessidade de se estabelecer medidas fixas para o diâmetro e a profundidade, apenas a necessidade que se observe a relação de capacidade do tanque digestor e da campânula.

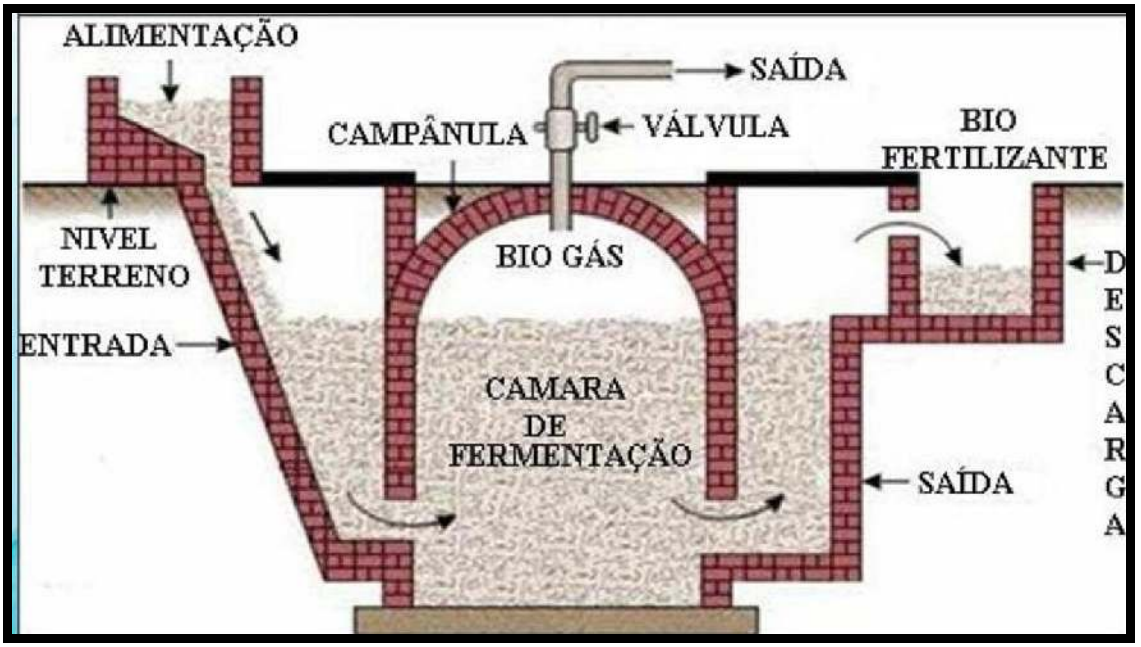
3.2.2. Biodigestor Chinês

O biodigestor chinês é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria onde ocorre um processo de fermentação, ele tem um teto abobado onde fica armazenado o biogás. No seu interior ocorre um aumento de pressão devido ao acúmulo do biogás, fazendo com que haja um deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída em sentido contrário quando ocorre a descompressão (SILVA; OLIVEIRA, 2010).

A biomassa utilizada no biodigestor deve conter no máximo 8% de sólidos totais para facilitar a fermentação e evitar entupimentos. Uma parte do biogás formado é liberada através da caixa de saída, o que ajuda a diminuir a pressão interna do biodigestor e a manter a eficiência do processo (DEGANUTTI, et al., 2002).

De acordo com os mesmos autores, o seu princípio de funcionamento é semelhante a uma prensa hidráulica, pois quanto maior for o acúmulo do Biogás no interior do equipamento haverá um deslocamento do efluente da primeira câmara, com isso a pressão exercida no interior deste Biodigestor pode variar com o tempo, diferente do modelo indiano onde a pressão é constante (Figura 3).

Figura 3 – Biodigestor Modelo Chinês.

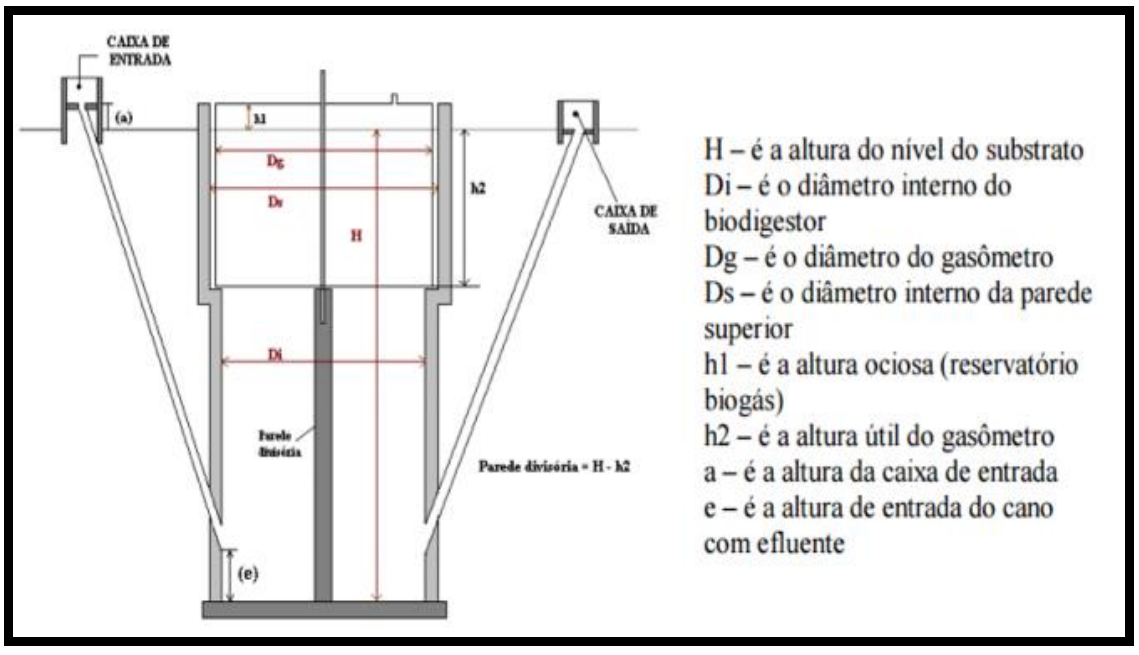


Fonte: DEGANUTTI, et al., 2002.

3.2.3. Biodigestor Batelada

Trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás. Enquanto, os modelos chinês e indiano prestam-se para atender propriedades em que a disponibilidade de biomassa ocorre em períodos curtos, como exemplo aquelas que recolhem o gado duas vezes ao dia para ordenha, permitindo coleta diária de biomassa, que deve ser encaminhada ao biodigestor, o modelo em batelada adapta-se melhor quando essa disponibilidade ocorre em períodos mais longos, como ocorre em granjas avícolas de corte, cuja a biomassa fica a disposição após a venda dos animais e limpeza do galpão (Figura 4) (DEGANUTTI, et al., 2002).

Figura 4 – Biodigestor Modelo Batelada.



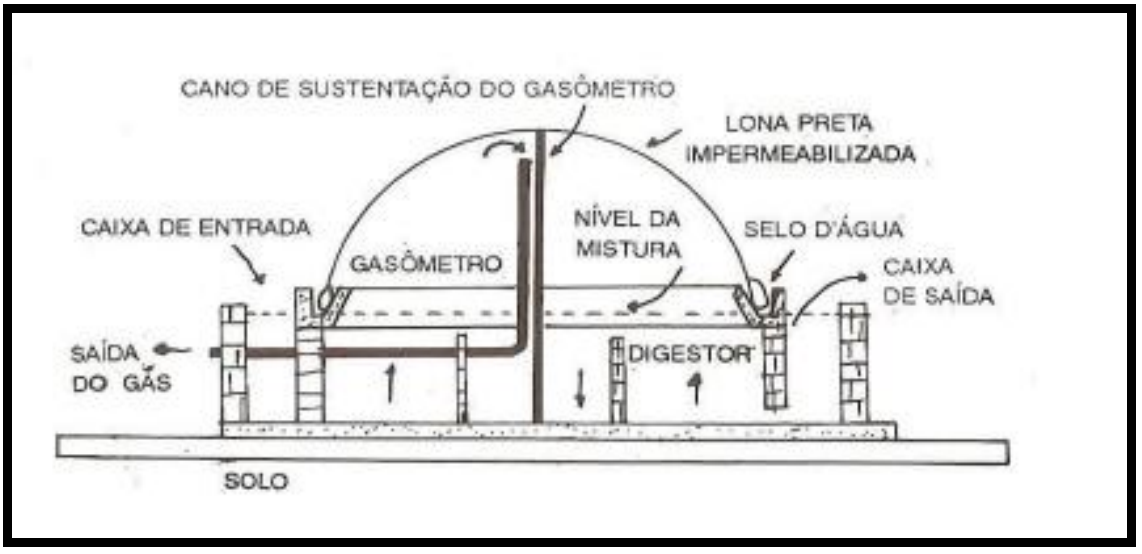
Fonte: DEGANUTTI, et al., (2002).

Esse tipo de Biodigestor é usado em locais que não possuem resíduos orgânicos frequentemente, portanto não produz Biogás diariamente, está diretamente ligado ao seu sistema descontínuo e a facilidade em questões operacionais (SANTOS et al., 2022).

3.2.4. Biodigestor Modelo Canadense

O biodigestor de modelo canadense, desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970, apresenta uma tecnologia mais moderna, ainda que possua uma construção simples. Possui uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflável feito de material plástico ou similar. É do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria, como pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Biodigestor Modelo Canadense.



Fonte: Araújo (2017).

À medida que o biogás é produzido, a cúpula plástica maleável é inflada e o biogás é acumulado, ou pode ser enviado a um gasômetro separado para se obter um maior controle operacional. Em comparação ao modelo Indiano, o modelo da Marinha apresenta a vantagem de poder receber grande quantidade de resíduos. Em comparação com o modelo Chinês, a vantagem está no fato de aquele sofrer

rachaduras e danos na sua estrutura devido à composição do solo brasileiro que sofre muita acomodação, o que pode provocar perda de gás e exige monitoramento e manutenção constantes (ARAÚJO, 2017).

A utilização deste sistema de Biodigestor é tão difundida nacionalmente, que uma variação do mesmo foi projetada pela Marinha do Brasil, apresentando uma base quadrangular, como as paredes revestidas por uma lona impermeável. Este Biodigestor apresenta alguns empecilhos como o espaço físico, pois precisa de uma extensa área para alocação do mesmo (PRATI, 2010).

4. Conclusão

Esse trabalho buscou analisar as vantagens e a eficiência energética dos biodigestores no contexto brasileiro, evidenciando seu potencial como uma solução sustentável para os desafios energéticos e ambientais. Ao longo da pesquisa, foi observado que os biodigestores não apenas contribuem para a gestão adequada de resíduos orgânicos, mas também geram biogás, uma fonte renovável de energia que pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis.

Entretanto, ainda existem desafios a serem superados, como a necessidade de investimentos em tecnologia, capacitação e políticas públicas que incentivem a adoção de biodigestores em larga escala. Em suma, os biodigestores representam uma oportunidade significativa para o Brasil não apenas na busca por uma matriz energética mais limpa, mas também no fortalecimento de práticas que garantam a segurança alimentar e a proteção do meio ambiente. O futuro energético do Brasil pode, portanto, ser mais sustentável com a implementação e a valorização dessa tecnologia.

Referências

ARAÚJO, A. P. C. **Produção de biogás a partir de resíduos orgânicos utilizando biodigestor anaeróbico**. Universidade Federal de Uberlândia. Trabalho de Conclusão de Curso. 42 p., 2017.

BAGGIO, P. L. **Estudos das tecnologias existentes para a geração de energia elétrica a partir do biogás.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Trabalho de Conclusão de Curso. 109 p., 2017.

BARROS, T. D. **Indiano.** 2021. Embrapa – Agroenergia. Disponível em: https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/indiano. Acesso em: 12 set. 2024.

BEZERRA, V. R.; MONTERO, L. R. R.; QUEIROZ, A. B.; DANTAS, P. V.; BARBOSA, J. K. A.; ARAÚJO, E. C. O. **Biodigestores: viabilidades técnicas de implantação, utilização, vantagens e desvantagens.** IV Encontro Nacional da Agroindústria. 10 p., 2018. Disponível em: https://scholar.archive.org/work/drz5melw45hh7aaommcontywi4/access/wayback/https://proceedings.science/proceedings/100056/_papers/91716/download/abstract_file1. Acesso em: 19 set. 2024.

CASTANHO, D., S.; ARRUDA, H., J. **Biodigestores**. VI Semana de Tecnologia em Alimentos. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, Paraná, Brasil, 2008.

CASTRO, M. **Biodigestor.** 2024. Lifeder. Disponível em: https://www.lifeder.com/biodigestor/. Acesso em: 17 set. 2024.

CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS [CIBIOGÁS]. **Panorama do Biogás no Brasil 2020**. Foz do Iguaçu, 2021. Disponível em: https://cibiogas.org/wp-content/uploads/2021/04/PANORAMA-DOBIOGÁS-NO-BRASIL-2020-v.8.0-1.pdf. Acesso em: 11 jun. 2021.

DEGANUTTI, R.; PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M.; TAVARES, R.; SANTOS, C. **Biodigestores Rurais: Modelo Indiano, Chinês e Batelada**. Departamento de artes e representação gráfica. FAAC- Faculdade de Arquitetura, Artes e Comunicação. UNESP- Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho. 2002.

ECYCLE, E. **Biodigestão: A reciclagem de lixo orgânico**. 2019. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/biodigestao/. Acesso em: 07/05/2024.

ECYCLE, E. **O que é e como funciona o biodigestor?** 2023. Disponível em: https://www.ecycle.com.br/biodigestor/#:~:text=O%20biodigestor%20%C3%A9%20um%20equipamento,consigo%20lucros%20e%20benef%C3%ADcios%20ambientais. Acesso em: 07/05/2024.

FERRAZ, J. M, G.; MARRIEL, I. E. **Biogás: fonte alternativa de energia.** EMBRAPA/CNPMS. Circular Técnica 3, 27 p., 1980.

FONSECA, F. S. T.; ARAÚJO, A. R. A.; HENDGES, T. L. **Análise de Viabilidade Econômica de Biodigestores na Atividade Suinícola na Cidade de Balsas - MA: um estudo de caso**. In: CONGRESSO DA SOBER, 47., Porto Alegre, 2009. **Anais...**

GARCILASSO, V. P.; FERRAZ JÚNIOR, A. D. N.; SANTOS, M. M.; JOPPERT, C. L. **Tecnologias de Produção e Uso de Biogás e Biometano.** São Paulo: IEE-USP, 218 p., 2018.

GASPAR, R. M. B. L. **Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo - PR.** 2003. 106 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento e Estratégia Organizacional) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

GIL, A. C. **Como Elaborar Projetos de Pesquisa**. EDITORA ATLAS S.A. 4ª ed. São Paulo. 2002.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008**. Rio de Janeiro, 2010.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSONC, L. A Digestão Anaeróbica de Resíduos Orgânicos Sólidos. **Gestão de Resíduos**, v. 31, n. 8, p. 1737-1744, 2011.

LINS, L. P.; FURTADO, A. C.; MITO, J. Y. L.; PADILHA, J. C. O aproveitamento energético do biogás como ferramenta para os objetivos do desenvolvimento sustentável. **INTERAÇÕES**, Campo Grande, MS, v. 23, n. 4, p. 1275-1286, out./dez. 2022.

MACHADO, G. B. **Biofertilizantes – 5 coisas que você precisa saber**. Portal do Biogás. 26 de fevereiro de 2023. Disponível em: https://portaldobiogas.com/biofertilizantes-5-coisas-que-voce-precisa-saber/. Acesso em: 07/05/2024.

MEDEIROS, M. B.; LOPES, J. S. Biofertilizantes líquidos e sustentabilidade agrícola. **Bahia Agríc.**, v. 7, n. 3, 3 p., 2006.

MENEZES, F. G.; MOREIRA, M. B.; SILVA, A. F.; PACHECO, C. S. G. R. **O papel dos biodigestores na agropecuária para mitigação das mudanças climáticas: uma análise dos benefícios ambientais**. Capítulo 18, p. 276-289, 2023. DOI: 10.37885/230713646. In: PACHECO, C. S. G. R. **Mudanças Climáticas e seus Impactos Socioambientais concepções, fundamentos, teorias e práticas mitigadoras** - ISBN 978-65-5360-384-4, Editora Científica Digital, v. 1, edição 1, 388 p., 2023.

METZ H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos**. UFLA. Lavras, Minas Gerais 2013. 40p.

OLIVEIRA, L. R. G.; SANTOS FILHO, D. A.; VASCONCELOS, K. C.; LUCENA, T. V.; JUCÁ, J. F. T.; SANTOS, A. F. M. S. Potencial de Metanização da Biodigestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Alimentares. **Rev. bras. eng. agríc. ambient**. v. 22, n. 1, 2018.

PRATI, L. **Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás Gerado por Biodigestores. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica.** Monografia de conclusão de curso. Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Paraná. 2010.

PIRES, R. B. **Eficiência de Biodigestor no Tratamento de Resíduos Alimentares.** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2019. 45 p., 2019.

PORANGABA, M. A. O. **Aproveitamento energético de biogás em aterro sanitário como alternativa sustentável no município de Maceió – AL.** Monografia. 66 p., 2021.

SANTOS, C. J.; CERQUEIRA, D. J.; SILVA, L, M. S.; JESUS, M. V. M. **Biodigestores: produção do biogás a partir de resíduos orgânicos gerados pela população da cidade de Santo Amaro- BA**. Instituto Federal da Bahia, Campus Santo Amaro. Trabalho de Conclusão de Curso. 73 p., 2022.

SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE, 2023). **Manual de orientação para uso do biodigestor.** Belém: SEMAS, 2023. 30f.

SILVA, W. T. L. S.; NOVAES, A. P.; KUROKI, V.; MARTELLI, L. F. A.; MAGNONI JÚNIOR, L. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola. **Química nova**, v. 35, n. 1, p. 35–40, 2012.

SILVA, H. R. F.; SILVA, K. J. **Geração de Energia Elétrica Através de Biogás.** 2021. 16 p. Disponível em: file:///F:/NAO%20APAGAR%20-%20Sistema%20Operacional/Downloads/GERA%C3%87%C3%83O%20DE%20ENERGIA%20EL%C3%89TRICA%20ATRAV%C3%89S%20DE%20BIOG%C3%81S.pdf. Acesso em: 10 set. 2024.

SILVA, E. S.; OLIVEIRA, G. S. **Biodigestor: uma proposta de aproveitamento do lixo orgânico no município de Santarém.** 11 p., 2010. Disponível em: https://semanaacademica.org.br/system/files/artigos/artigo_biodigestor.pdf. Acesso em: 12 set. 2024

SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; PLEIN, C.; PASTÓRIO; I. T. Uso do biogás no meio rural como um fator de desenvolvimento rural sustentável. **Brazilian Journal of Development**, v. 4, n. 6, p. 3298-3317, 2018.

SOARES, F. R. **Produção de Biogás a partir do Aproveitamento Energético dos Resíduos Orgânicos.** 2021. Disponível em: https://energiaebiogas.com.br/aproveitamento-energetico-dos-residuos-organicos. Acesso em: 22/09/24.

SOARES, I. P.; SCHULTZ, E. L.; GAMBETTA, R.; GONÇALVES, S. B. **Biogás e suas contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** Documentos 49, Embrapa Agroenergia. Brasília-DF, 29 p., 2022.

SZYMANSKI, M. S. E.; BALBINOT, R.; SCHIMER, W. N. Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça: Aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono- Estudo de caso. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 31, n. 4, p. 901-912, out./dez. 2010.

VERTOWN. **Biodigestor: para que serve, tipos, vantagens e desvantagens.** Vertown – Gestão de Resíduos. Agosto. 2024. Disponível em: https://www.vertown.com/blog/biodigestor/. Acesso em: 25/08/2024.

XAVIER, A. V. F. P. **Análise da viabilidade de utilização de resíduos sólidos orgânicos do restaurante universitário do campus baixada santista da Unifesp para produção de biogás.** Universidade Federal de São Paulo. Trabalho de Conclusão de Curso. 46 p., 2022.

XIMENES, R. D. **Aproveitamento do biogás como fonte energética: Uma revisão sobre as principais barreiras à difusão do sistema tecnológico de inovação do biogás no Brasil.** Universidade Federal de São Carlos. (UFSCar). Tese. 134 p., 2024.