



Desenvolvimento e avaliação bioquímica de um biodigestor anaeróbio para produção de biogás a partir de resíduos orgânicos

Nome do Autor(es):

Eduardo Alexandre Facco

Gustavo Oliveira Pereira

Henrique Guimarães da Silva

Nome do Orientador(es):

Marcel Thomé Filho

Instituição de Ensino

Etec de Guarulhos

Resumo

Este estudo visa o desenvolvimento de um sistema de biodigestão anaeróbica para a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. O biogás é uma mistura gasosa rica em metano e dióxido de carbono, produzida pela decomposição anaeróbica de matéria orgânica por meio de bactérias específicas. A produção de biogás é considerada uma importante fonte de energia renovável e sustentável, uma vez que utiliza resíduos orgânicos que seriam descartados, reduzindo assim a emissão de gases de efeito estufa.

O processo de biodigestão anaeróbica ocorre em quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Na etapa de hidrólise, ocorre a quebra das moléculas complexas de carboidratos, proteínas e gorduras em moléculas menores, como açúcares, aminoácidos e ácidos graxos. Na etapa de acidogênese, as moléculas menores são convertidas em ácidos orgânicos, como o ácido acético e o ácido propiônico. Na etapa de acetogênese, os ácidos orgânicos são convertidos em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Por fim, na etapa de metanogênese, ocorre a formação de metano e dióxido de carbono a partir do acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.

Em última análise, o desenvolvimento de um sistema de biodigestão anaeróbica é fundamental para a produção de biogás, uma fonte de energia renovável e sustentável, que utiliza resíduos orgânicos que seriam descartados e contribui para a redução das emissões de gases de efeito estufa. Além disso, a compreensão do processo bioquímico de biodigestão anaeróbica é importante para o aprimoramento de técnicas de produção de biogás e para o desenvolvimento de soluções sustentáveis para o gerenciamento de resíduos orgânicos.

Palavras-chave: biodigestor; biogás; metano.

Introdução

O cenário atual demanda soluções energéticas inovadoras e sustentáveis que possam enfrentar os desafios decorrentes do aumento populacional e da busca por desenvolvimento econômico sem comprometer os recursos naturais (LUSTOSA, 2014). Nesse contexto, o projeto "Desenvolvimento e Avaliação Bioquímica de um Biodigestor Anaeróbio para Produção de Biogás a partir de Resíduos Orgânicos" surge como uma resposta promissora, com o objetivo de impulsionar a utilização de fontes energéticas limpas e renováveis.

O biogás é uma mistura de gases produzida pela decomposição anaeróbica de matéria orgânica. Esta mistura é composta principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), mas também pode conter pequenas quantidades de outros gases, como sulfeto de hidrogênio (H_2S) e amônia (NH_3). O biogás é considerado uma fonte de energia renovável e sustentável porque é produzido a partir de resíduos orgânicos que, de outra forma, seriam descartados.

A produção de biogás envolve várias etapas. Em primeiro lugar, o material orgânico é coletado e preparado para a digestão anaeróbica. Em seguida, o material é alimentado em um reator de digestão anaeróbica, onde é degradado por bactérias em um ambiente sem oxigênio. Esse processo é dividido em quatro etapas principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese.

O biodigestor proposto baseia-se no conceito de Reator Contínuo de Tanque Agitado (CSTR - Continuous Stirred-Tank Reactor), uma tecnologia avançada que permite o controle preciso das variáveis envolvidas no processo de produção de biogás. Diferenciando-se de biodigestores tradicionais e de alto custo, o projeto visa oferecer uma solução mais acessível e versátil, podendo ser adotado tanto por pequenos empreendimentos como por grandes empresas e até mesmo por consumidores residenciais.

Portanto, a produção de biogás é uma técnica viável e importante para a geração de energia sustentável, que utiliza resíduos orgânicos como matéria-prima.

Objetivo

Este projeto tem como objetivo geral a construção de um biodigestor de baixo custo e de fácil implementação, capaz de gerar energia renovável a partir da biomassa orgânica. A proposta visa promover a utilização de fontes de energia limpa e sustentável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e mitigando os impactos ambientais decorrentes de sua utilização. Além disso, busca-se avaliar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do sistema proposto, identificando possíveis limitações e oportunidades para o seu aprimoramento e disseminação em diferentes contextos. Deste modo, atingir a sustentabilidade ambiental e social, contribuindo para a melhoria da qualidade de vida em comunidades rurais e urbanas.

Metodologia

a. Preparação dos materiais e equipamentos:

Materiais Utilizados:

- Reservatório de reator: Utilizou um recipiente cilíndrico de plástico com tampa hermética (adquiridos de um fornecedor especializado de materiais de construção civil).
- Tubos e conexões: Assegurou-se de ter um conjunto de tubos e conexões para entrada de resíduos orgânicos, saída de efluente e entrada de gás (adquiridos de um fornecedor especializado de materiais de construção civil).
- Reservatório do Filtro primário: Preparou um recipiente de acrílico com três furos (adquiridos localmente).
- Reservatório do Filtro secundário: Utilizou um recipiente cilíndrico com dois furos (adquiridos localmente).
- Tecnologia embarcada: Inclui sensores de temperatura e pressão, sistema de controle microprocessado (por exemplo, ESP8266), e um dispositivo de monitoramento remoto (Servidor e clientes conectados) (dispositivos adquiridos localmente e softwares desenvolvido pela a equipe).
- Misturador e acessórios: Utilizou um motor de 300w com um conjunto de polias e um misturador (adquiridos localmente).
- Pressurização do sistema: Utilizou-se um compressor de ar para sucção do biometano produzido para armazenamento (adquirido localmente).
- Armazenamento do Gás: Utilizou-se uma câmara de pneu para armazenar o biometano pressurizado (adquirido localmente).

Procedimento:

- Posicionou-se o reservatório do reator em uma área adequada, com fácil acesso aos componentes e espaço para conexões;
- Instalou-se os tubos de entrada e saída de forma a permitir um fluxo contínuo de resíduos orgânicos e efluentes;
- Fixou-se o motor e seu conjunto na estrutura principal e conectou-o ao reservatório do reator;
- Instalou os filtros e o compressor na saída do biogás;
- Por fim, instalou-se a câmara de pneu na saída do compressor para armazenamento do biometano.

b. Coleta de resíduos orgânicos

Materiais Utilizados:

- Recipientes de plástico para coleta de resíduos orgânicos (adquiridos localmente).
- Luvas descartáveis (compradas em uma loja de suprimentos médicos).

Origem dos Resíduos Orgânicos:

- Resíduos de alimentos: Coletados de residências.
- Estercos: Obtidos de fazendas locais.

Destinação após Exposição:

- Devido ao regulamento, na exposição não haverá qualquer utilização de recursos orgânicos usados nos testes internos em nossa instituição. Sendo assim, haverá a exposição apenas da tecnologia e não da produção do biogás.

c. Coleta de dados ambientais

Materiais Utilizados:

- Sensores de temperatura e pressão (adquiridos de um fornecedor especializado).
- Sistema de controle microprocessado (ESP8266).
- Dispositivo de monitoramento remoto (montagem interna).

Origem dos Dados Ambientais:

- Sensores instalados no interior do biodigestor para monitorar as condições de temperatura e pressão.

d. Análise de desempenho do biodigestor

Materiais Utilizados:

- Computador com o software desenvolvido para recebimento e análise de dados.

Origem dos Dados:

- Dados coletados pelos sensores de temperatura e pressão.

Procedimento:

- Os dados foram transferidos para um computador e analisados usando software desenvolvido para avaliar o desempenho do biodigestor.
- Resultados foram registrados em relatórios técnicos para futuras referências.

e. Limpeza regular

Materiais Utilizados:

- Equipamento de limpeza padrão, incluindo escovas e baldes.

Procedimento:

- Realização de limpezas regulares no biodigestor para evitar acúmulos de resíduos sólidos.
- Resíduos removidos foram compostados ou enviados para tratamento adequado.

f. Calibração de sensores

Materiais Utilizados:

- Equipamentos de calibração de sensores (adquiridos de um fornecedor especializado).

Procedimento:

- Verificação e calibração periódica dos sensores para garantir medições precisas.
- Documentação detalhada das calibrações foi mantida em registros.

g. Utilização de dados para otimização

Procedimento:

- Utilização dos dados coletados pelos sensores para avaliar o desempenho do biodigestor.
- Ajustes no sistema de controle com base nas informações obtidas para otimizar o processo.
- Resultados de otimização foram compartilhados com a equipe de pesquisa e documentados para referência futura.

h. Acompanhamento contínuo

Materiais Utilizados:

- Dispositivos móveis e computadores para acessar o monitoramento remoto.

Procedimento:

- Monitoramento contínuo das condições do biodigestor por meio de dispositivos móveis ou computadores.
- Notificações automáticas foram configuradas para alertar a equipe em caso de condições fora dos parâmetros desejados.

Desenvolvimento

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) 2030 foram a fonte de inspiração para este projeto. As ODS são um apelo global à ação para acabar com a pobreza, proteger o meio ambiente e o clima e garantir que as pessoas, em todos os lugares, possam desfrutar de paz e de prosperidade. Estes são os objetivos para os quais as Nações Unidas estão contribuindo a fim de que possamos atingir a Agenda 2030 no Brasil. (NAÇÕES UNIDAS Brasil, 2015).

A ideia partiu da carência de energias renováveis de custo baixo, servindo tanto ao mercado urbano quanto rural. A partir disso se iniciou uma série de pesquisas bibliográficas e de campo sobre a melhor maneira de se produzir uma energia acessível pensando nas famílias de baixa renda. Hoje uma família em média utiliza 1 botijão de gás (13kg) por mês com custo em torno de R\$ 110,00, sendo que muitas não têm condições para tal aquisição.

Neste processo utilizou-se a metodologia científica para a coleta de informações e análise. Para melhor compreensão do assunto, se faz necessário uma revisão bibliográfica, deste modo, serão explicados os fundamentos e termos chaves para o desenvolvimento de biodigestores.

O biogás

O biogás é um gás combustível que consiste principalmente em metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), com traços de outros gases, como nitrogênio, hidrogênio e sulfeto de hidrogênio. Sua formação ocorre através de um processo natural chamado digestão anaeróbica, que é a decomposição da matéria orgânica na ausência de oxigênio (CHIUI, 2017).

O processo de formação do biogás começa quando resíduos orgânicos, como restos de alimentos, esterco de animais, resíduos agrícolas, esgoto e outros materiais biodegradáveis são acumulados em ambientes anaeróbicos, como em aterros sanitários, lagoas de tratamento de esgoto ou biodigestores. Nessas condições, bactérias especializadas, conhecidas como bactérias metanogênicas, começam a degradar a matéria orgânica em diferentes etapas.

Primeiramente, ocorre a hidrólise, onde enzimas quebram as moléculas complexas da matéria orgânica em moléculas menores, como açúcares e aminoácidos. Em seguida, acontece a acidogênese, em que outras bactérias convertem essas moléculas em ácidos orgânicos.

Posteriormente, durante a etapa acetogênese, as bactérias transformam os ácidos em ácido acético, hidrogênio e CO₂.

A etapa final é a metanogênese, onde as bactérias metanogênicas convertem o ácido acético, hidrogênio e CO₂ em metano e dióxido de carbono, que compõem o biogás. Esse processo biológico é uma forma natural de reciclagem dos elementos e acontece em diversas situações na natureza, como em pântanos e áreas alagadas.

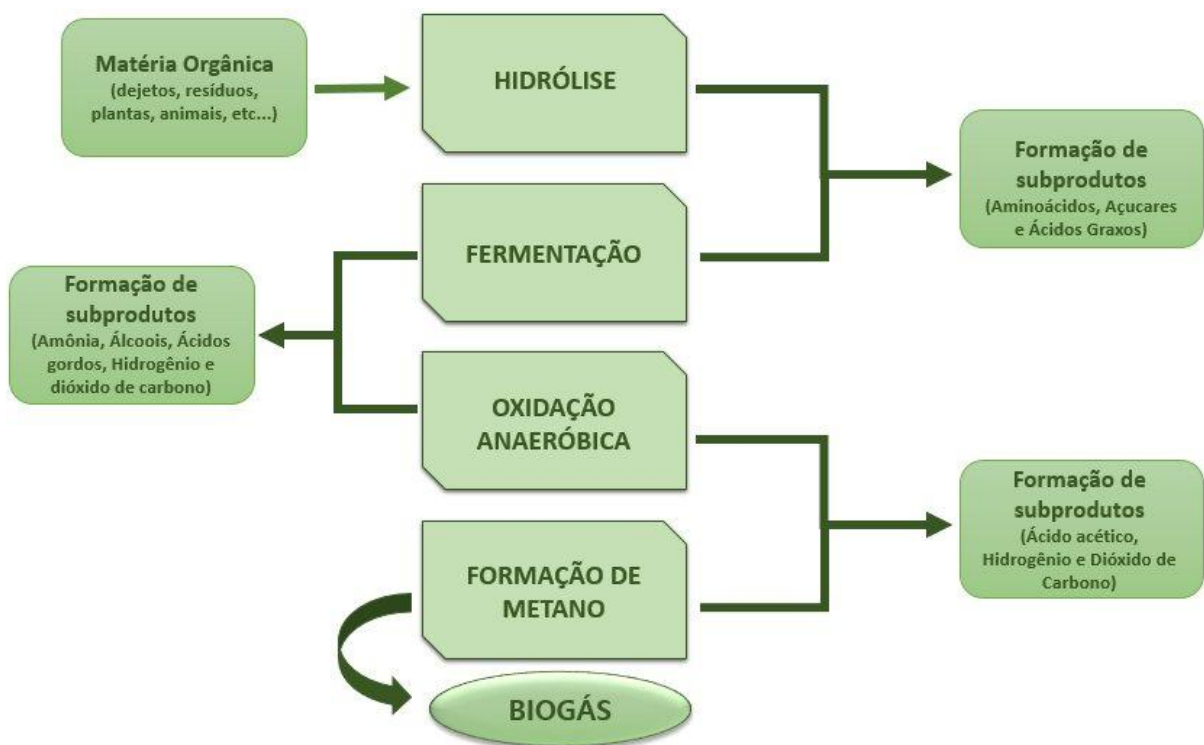


Figura 1: Ciclo da Produção de Biogás.

Fonte: InfoEscola.

A digestão anaeróbica

A digestão anaeróbica é um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio e envolve uma série de etapas que resultam na decomposição da matéria orgânica, transformando-a em biogás, um importante combustível renovável.

O biodigestor é um reator biológico projetado para criar um ambiente propício à digestão anaeróbica. A estrutura básica do biodigestor é composta por um reservatório hermeticamente fechado, no qual a matéria orgânica é inserida e o processo de digestão anaeróbica é realizado. Essa matéria-prima pode ser constituída de diferentes resíduos, como restos de alimentos, esterco de animais, resíduos agrícolas, lodo de esgoto, entre outros materiais biodegradáveis.

Segundo Monnet (2003), a digestão anaeróbia (DA) é um processo que requer algumas etapas de pré-tratamento da matéria-prima antes de sua submissão ao biodigestor. Essas fases de pré-tratamento podem variar de acordo com a natureza da matéria orgânica a ser processada. Dentre os tipos de pré-tratamento possíveis, destacam-se os mecânicos, os químicos e os térmicos.

Os pré-tratamentos mecânicos consistem em operações como a moagem, que visa a redução do tamanho das partículas da matéria orgânica (LUSTOSA, 2014). Isso aumenta a área superficial do material, tornando-o mais acessível às bactérias no processo de digestão anaeróbia. Já os pré-tratamentos químicos envolvem a aditivação da matéria-prima com substâncias específicas que podem acelerar ou melhorar o processo de decomposição, otimizando a produção de biogás.

Outra opção é o pré-tratamento térmico, que inclui a higienização da matéria-prima através do controle de temperatura. Nesse processo, a matéria orgânica é aquecida a temperaturas adequadas para eliminar patógenos e microrganismos indesejáveis, garantindo assim a segurança e a qualidade do produto final.

Vale destacar que a digestão anaeróbica é altamente dependente de condições controladas, como a temperatura, o pH e a concentração de nutrientes. Para garantir a eficiência do processo, é essencial que esses fatores sejam monitorados e ajustados, conforme necessário.

As condições que influenciam a digestão anaeróbica em biodigestores

Com base na pesquisa de Monnet (2003), a digestão anaeróbica em um biodigestor é influenciada por diversas variáveis que desempenham papéis cruciais na eficiência do processo e na produção de biogás. A dissertação de Mestrado de Monnet, realizada na Universidade de Lisboa, Portugal, aborda a utilização de um reator anaeróbio de leito fluidificado expandido para a produção de energia renovável a partir da digestão anaeróbica de resíduos sólidos orgânicos. Nesse contexto, é essencial explorar com mais detalhes algumas das variáveis que impactam a digestão anaeróbica em biodigestores.

Composição do substrato:

A composição do substrato é uma variável-chave que influencia diretamente a eficiência da digestão anaeróbica. Diferentes tipos de resíduos orgânicos possuem proporções distintas de nutrientes, como carbono, nitrogênio e outros elementos essenciais para a atividade microbiana.

Em primeiro lugar, a presença de compostos ricos em carbono é essencial. O carbono é um elemento fundamental para a produção de biogás, já que é convertido pelas bactérias em metano, o principal componente do biogás. A fonte de carbono pode ser obtida a partir de diferentes materiais orgânicos, como restos de alimentos, resíduos agrícolas, esterco de animais e lodo de esgoto.

Além do carbono, o nitrogênio é outro nutriente importante para o funcionamento adequado do biodigestor. O nitrogênio é essencial para a síntese de proteínas pelas bactérias, contribuindo para seu crescimento. Uma relação equilibrada entre carbono e nitrogênio, conhecida como relação C/N, é crucial para evitar problemas como a acidificação do meio ou a produção excessiva de ácidos graxos voláteis.

Relação C/N (carbono/nitrogênio):

A relação entre a quantidade de carbono e nitrogênio no substrato é um fator crítico na digestão anaeróbia. Uma relação C/N inadequada pode resultar em uma taxa de degradação lenta ou desequilibrada, levando à produção excessiva de ácidos orgânicos ou à inibição do processo como um todo.

Quando a relação C/N é muito alta, ou seja, há uma quantidade excessiva de carbono em relação ao nitrogênio, ocorre o fenômeno conhecido como carbono-limitação. Nesse cenário, as bactérias metanogênicas responsáveis pela produção de biogás encontram uma disponibilidade limitada de nitrogênio em relação à demanda, o que resulta em uma produção reduzida de metano (CH₄). Consequentemente, a formação de biogás é prejudicada, afetando a eficiência e o rendimento do biodigestor.

Por outro lado, quando a relação C/N é muito baixa, ocorre a nitrogenação. Nesse caso, há uma quantidade excessiva de nitrogênio em relação ao carbono, o que pode levar à formação excessiva de amônia (NH₃) no sistema. A amônia é tóxica para os microrganismos envolvidos na digestão anaeróbia, podendo inibir sua atividade e comprometer a estabilidade do processo.

Temperatura:

A temperatura é uma variável ambiental crucial para o funcionamento adequado do biodigestor e influencia diretamente a atividade das bactérias anaeróbias. Os biodigestores podem operar em faixas de temperatura distintas, cada uma com impactos específicos na digestão anaeróbia. A escolha da temperatura depende do tipo de bactérias presentes no sistema e do tipo de resíduo utilizado. Temperaturas mesofílicas (25-40°C) são comuns em biodigestores devido à eficiência das bactérias nessa faixa (MONNET, 2003).

Ph do meio:

O pH é outro fator crucial para o bom funcionamento do biodigestor. Diferentes grupos de bactérias têm faixas de pH ótimas para atuar de forma eficiente. É fundamental manter o pH do meio dentro dessas faixas para garantir que as bactérias desempenhem suas funções adequadamente e, assim, evitem problemas como a acidificação ou a alcalinização do sistema.

Tempo de retenção hidráulica (TRH):

O TRH é o tempo médio que o substrato permanece dentro do biodigestor. Essa variável está diretamente relacionada à taxa de degradação dos resíduos orgânicos (MONNET, 2003). Um TRH adequado é fundamental para permitir que as bactérias tenham o tempo necessário para quebrar os componentes orgânicos e produzir biogás de forma eficiente. O TRH ideal varia de 20 a 40 dias para a biodigestão mesofílica e de 10 a 15 dias para a biodigestão termofílica.

Presença de Inibidores:

A presença de compostos inibidores, como substâncias tóxicas ou produtos químicos nocivos, pode afetar negativamente a atividade microbiana e a eficiência da digestão anaeróbia. Os tipos mais comuns de inibidores são:

- **Compostos Tóxicos:**

Compostos tóxicos, como metais pesados (chumbo, mercúrio, cádmio, etc.) e alguns produtos químicos, representam um dos principais tipos de inibidores que podem prejudicar a digestão anaeróbia. Essas substâncias podem ser introduzidas no biodigestor juntamente com os resíduos orgânicos e, em concentrações elevadas, afetam diretamente a atividade e a viabilidade das bactérias anaeróbias.

Os compostos tóxicos podem inibir enzimas específicas, danificar a membrana celular dos microrganismos e alterar o equilíbrio dos ecossistemas microbianos no biodigestor.

- **Antibióticos:**

Antibióticos presentes nos resíduos orgânicos, seja de origem doméstica, agrícola ou industrial, podem ser inibidores potenciais da digestão anaeróbia. A presença desses compostos pode levar à seleção de microrganismos resistentes, causando desequilíbrios na comunidade microbiana responsável pelo processo de degradação. A resistência bacteriana

adquirida pode diminuir a capacidade do biodigestor de degradar a matéria orgânica de forma eficiente.

- **Ácidos Orgânicos e Álcoois de Cadeia Longa:**

Ácidos orgânicos de cadeia longa, como ácido propiônico, ácido butírico e ácido valérico, bem como álcoois de cadeia longa, como o metanol e o etanol, são produtos intermediários da digestão anaeróbia. Se em excesso, esses compostos podem agir como inibidores, afetando o pH do meio e prejudicando o desenvolvimento das bactérias metanogênicas responsáveis pela produção de biogás.

- **Amoníaco:**

A presença excessiva de amoníaco nos resíduos orgânicos pode ser prejudicial para a digestão anaeróbia. O amoníaco é tóxico para algumas bactérias metanogênicas, inibindo sua atividade e reduzindo a produção de biogás. Concentrações elevadas de amoníaco também podem causar um aumento no pH do meio, prejudicando o funcionamento do biodigestor.

- **Substâncias Inertes e Não-Biodegradáveis:**

Algumas substâncias presentes nos resíduos orgânicos podem ser consideradas inertes e não-biodegradáveis. Esses materiais não são convertidos em compostos mais simples durante a digestão anaeróbia e permanecem no biodigestor, ocupando espaço e reduzindo a disponibilidade de nutrientes para as bactérias responsáveis pelo processo.

Agitação e mistura:

A agitação e a mistura do substrato dentro do biodigestor são cruciais para garantir uma distribuição uniforme dos microrganismos e dos nutrientes. A homogeneização adequada evita a formação de zonas mortas no reator, onde a digestão pode ser inibida devido à falta de contato entre os microrganismos e o substrato.

Com os dados supracitados pesquisados e catalogados pela a equipe, houve a pesquisa sobre os benefícios que os biodigestores proporcionam. Esses sistemas convertem resíduos orgânicos, como restos de alimentos e esterco, em biogás e fertilizante orgânico.

Os principais benefícios incluem a produção de energia renovável, a redução da emissão de gases de efeito estufa, o tratamento de resíduos e a produção de fertilizantes naturais. No entanto, além desses benefícios evidentes, os biodigestores também desempenham um papel vital na resolução de problemáticas mais amplas.

Uma das problemáticas mais prementes em áreas urbanas e rurais é o gerenciamento adequado de resíduos orgânicos. A disposição inadequada de resíduos pode levar à poluição do solo e da água, além de contribuir para a proliferação de doenças. Os biodigestores proporcionam uma solução eficaz, pois tratam resíduos orgânicos de forma segura, reduzindo o impacto ambiental negativo e promovendo uma gestão mais sustentável dos resíduos.

Ademais que, em muitas comunidades rurais, o acesso à eletricidade é limitado ou inexistente. Os biodigestores permitem a geração de biogás que pode ser utilizado para produzir eletricidade ou para suprir necessidades energéticas locais. Isso não apenas melhora a qualidade de vida das comunidades rurais, mas também contribui para a redução da dependência de combustíveis fósseis e a mitigação das mudanças climáticas.

Ainda no ambiente rural, elenca outra problemática que, a agricultura enfrenta desafios significativos, como a degradação do solo e a dependência de fertilizantes químicos (WARD, 2008). Os resíduos do biodigestor podem ser transformados em fertilizante orgânico rico em nutrientes, proporcionando uma alternativa sustentável aos fertilizantes sintéticos. Isso não apenas melhora a fertilidade do solo, mas também reduz a exposição a produtos químicos nocivos. Além de que o processo de biodigestão também contribui para a redução da demanda de água na agricultura, uma vez que o fertilizante orgânico resultante tem uma maior capacidade de retenção de água no solo.

Após a análise das possíveis hipóteses de solução de engenharia para as problemáticas elencadas, chegou-se à conclusão que, para atingir-se a meta de indicadores de alta eficiência na produção de biometano juntamente com o desenvolvimento prático e adaptável, exploramos as tecnologias em biodigestão de reatores contínuos de fluxo misto (CSTR), que tem ótimos índices de eficiência além de ampla bibliografia. Contudo, no projeto, houve a necessidade de alterar o fluxo misto para fluxo fixo, acarretando assim, em desenvolvimento

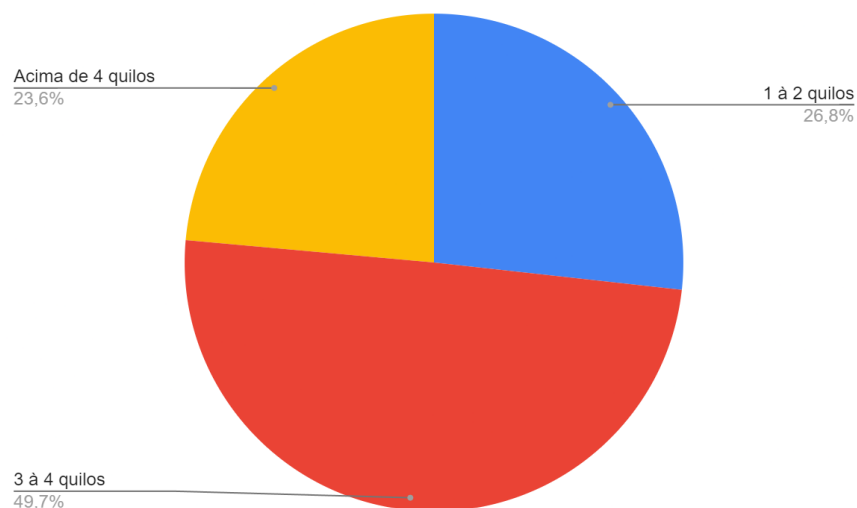
de tecnologias por parte do grupo, por exemplo, as técnicas de filtração por carvão ativado juntamente com pó de grafite, além do uso de microalgas para a purificação do biogás, as quais possibilitaram essa adaptação.

Com a fundamentação do projeto construída e com a prototipação da tecnologia a ser usada já desenvolvida, foi utilizado o método de montagem já citado para a confecção do primeiro protótipo, o qual ainda se encontra ao presente momento (14/09/23) em fase de análise de dados e aperfeiçoamento.

Resultados e Discussões

De acordo com a pesquisa de campo feita, os resultados foram favoráveis ao desenvolvimento do projeto. De 158 entrevistados ao todo 42 pessoas dizem que produzem de 1 a 2 quilos de restos alimentares mensalmente, já 78 pessoas responderam que produzem de 3 a 4 quilos mensalmente, e 37 pessoas dizem que produzem acima de 4 quilos. Com esses dados pode-se afirmar que a quantidade mensal que as pessoas produzem de restos alimentares é razoavelmente grande, assim viabilizando o projeto de energia renovável.

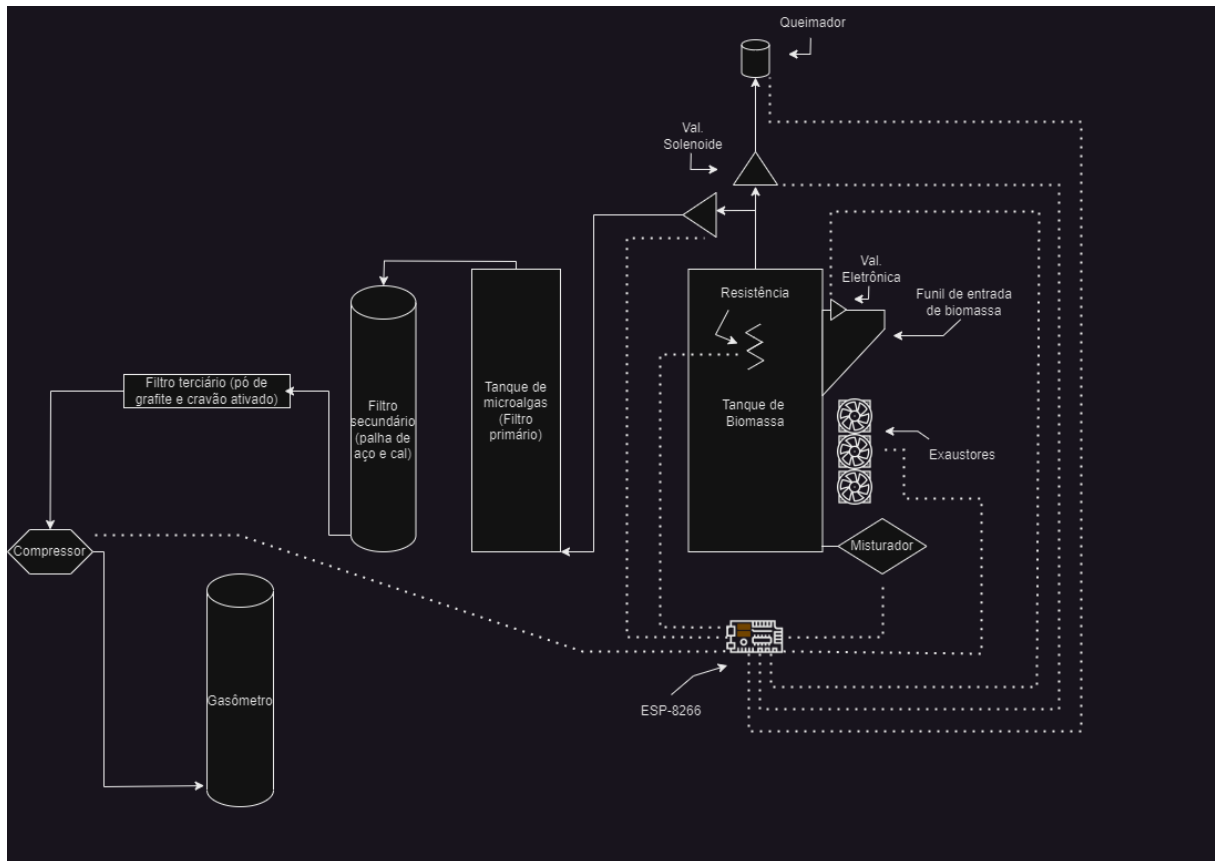
Gráfico: Quantidade de pessoas que usam qualquer tipo de energia renovável em casa.



Fonte: Autores (2023)

Levando em consideração os dados supracitados neste relatório, se deu início a fase de elaboração do esquema de funcionamento do primeiro protótipo, sendo nomeado como SIERRA.

Diagrama: Esquema de funcionamento do protótipo.



Fonte: Autores (2023)

Deste modo, a visualização de como deveria se montar o primeiro protótipo começou a clarear, e a partir disso, desenvolvemos o modelo conceitual no SolidWorks de como ficaria o produto final.

Imagem: Modelo conceitual 3D.



Fonte: Autores (2023)

No tocante ao estudo de viabilidade para o projeto de desenvolvimento do biodigestor baseado na tecnologia CSTR, concluiu-se que é altamente promissor e apresenta diversas vantagens. O fato de o biodigestor ser não contínuo e ter controle sobre as variáveis das condições de produção do gás torna-o mais flexível e adequado para atender tanto pequenos quanto grandes negócios, bem como atender às necessidades de pessoas que desejam reduzir significativamente o uso de gás GLP. Essa versatilidade proporciona uma ampla gama de possibilidades de mercado, tornando-o um projeto viável economicamente.

Um biodigestor CSTR é um sistema anaeróbico de tratamento de resíduos orgânicos que utiliza um Reator Contínuo de Fluxo Misturado (Continuous Stirred Tank Reactor, em inglês). Este tipo de biodigestor é utilizado para a produção de biogás a partir da decomposição de matéria orgânica, como restos de comida, esterco animal, resíduos agrícolas, entre outros.

O funcionamento do biodigestor CSTR é baseado na manutenção de uma mistura homogênea e contínua dos resíduos orgânicos dentro do reator, evitando a formação de camadas sólidas e promovendo a digestão anaeróbica eficiente. Ele consiste em um tanque fechado, onde os resíduos orgânicos são alimentados continuamente, e o processo de decomposição ocorre na presença de bactérias anaeróbias, que quebram a matéria orgânica em um ambiente sem oxigênio (MAHDY, 2020).

A reformulação de um biodigestor CSTR, ou seja, a redução de seu tamanho em relação a modelos maiores, desenvolvimento de tecnologia de purificação do biogás, sistema automatizado de controle e monitoramento e alteração do ciclo de biodigestão trazem várias vantagens significativas. Além disso, aumentar o tempo de retenção hidráulica no reator também é uma estratégia vantajosa para promover a digestão completa do substrato. Quanto maior o tempo de retenção hidráulica, mais tempo as bactérias têm para degradar completamente o material e converter a maior parte da matéria orgânica em biogás.

Ademais, ser pioneiro nesse tipo de biodigestor representa uma vantagem competitiva significativa, pois a ausência de projetos semelhantes em bibliografias e artigos científicos de engenharia no mundo indica a inovação e originalidade do produto. Isso permite a exploração de nichos de mercado ainda não atendidos e a conquista de uma posição diferenciada na indústria. No mercado brasileiro, a presença de apenas cinco possíveis concorrentes com biodigestores que não apresentam tecnologia embarcada e produção inferior reforça a oportunidade de se destacar e ganhar espaço rapidamente.

A produção planejada do equipamento é superior à dos concorrentes, o que evidencia a eficiência e capacidade de suprir uma demanda maior de biogás. Essa vantagem competitiva será amplamente analisada e explorada para conquistar uma fatia significativa do mercado brasileiro, além de permitir a expansão para mercados internacionais.

Outro aspecto importante é o potencial ambiental do projeto. A adoção de um sistema que promove a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos contribui diretamente para a redução de gases de efeito estufa e a sustentabilidade ambiental, o que pode atrair o interesse de empresas e consumidores cada vez mais conscientes da importância da preservação do meio ambiente.

Com base nos dados citados, se deu a construção do protótipo de ensaios, para a demonstração da tecnologia e sua aplicabilidade, bem como para aprimoramentos e geração de dados para protótipos futuros. Este equipamento tem a capacidade operacional para até 20 quilos de biomassa, e levando em consideração a fórmula geral de produção de biogás, estima-se que, haverá uma produção máxima de 2 m^3 de biogás por dia.

Considerações Finais

Com base nos resultados das pesquisas, levantamentos e análises, conclui-se que o biogás ou gás natural é uma alternativa de energia renovável, limpa e barata, tendo como insumo principal os resíduos alimentares. Atualmente o projeto apresentado está em fase de testes e análise bioquímica para validação das equações desenvolvidas para previsão da performance e eficácia de purificação do biogás.

Até o presente momento, os índices preliminares apontam para um avanço gradual do projeto além de sua viabilidade técnica e econômica, sendo assim, ainda haverá aprofundamento dos estudos para conclusão desta fase do projeto e para o início do planejamento estratégico para comercialização futura desta tecnologia.

Referências Bibliográficas

WARD, A. J., HOBBS, P. J., HOLLIMAN, P. J., & JONES, D. L. (2008). Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, 99(17), 7928-7940.

MAHDY, A., REZK, T., & GOMAA, M. (2020). Effects of different pH values on anaerobic digestion of kitchen waste: Comparative study between batch and continuous systems. **Environmental Science and Pollution Research**, 27(17), 20734-20742.

CHIU, Y. S., HUANG, H. C., HO, S. H., WU, Y. H. & CHEN, C. Y. (2017). Biogás de esterco suíno como fonte de energia para comunidades rurais. **Renewable Energy**, p. 104, 241-249.

SILVA, Carolina da Silva; VIEIRA, Bruno Muller; CORRÊA, Anderson Gabriel; PIAIA, Eduarda; HAERTEL, Paula Lemões. **GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS: UM COMPARATIVO ENTRE POTENCIAL E DEMANDA NACIONAL**. Disponível em:
<<https://www.ibeas.org.br/conresol/conresol2021/IV-016.pdf>>. Acesso em: 2 nov. 2022.

MONNET, Fabien. An introduction to anaerobic digestion of organic wastes. **Remade Scotland**, p. 1-48, 2003.

LUSTOSA, Gleidson Neires; MEDEIROS, Icaro H. Borges. **PROPOSTA DE UM BIODIGESTOR ANAERÓBIO MODIFICADO PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**. Disponível em:
<https://bdm.unb.br/bitstream/10483/12346/1/2014_GleidsonNeresLustosa_IcaroHendrixBorgesdeMedeiros.pdf>. Acesso em: 2 nov. 2022.

ARAÚJO, Ana Paula Caixeta. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZANDO BIODIGESTOR ANAERÓBICO**. Disponível em:
<<https://repositorio.ufu.br/bitstream/123456789/20292/3/Produ%C3%A7%C3%A3oBiog%C3%A1sRes%C3%ADduos.pdf>> Acesso em: 2 nov. 2022.

Casa ONU Brasil. “**Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável no Brasil**”. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br>>. Acessado em 26/09/2021.