

VIABILIDADE ECONÔMICA E RISCOS DO USO DE BIODIGESTORES NA PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS¹

ECONOMIC VIABILITY AND RISKS OF USING BIOGAS DIGESTERS IN ELECTRICITY PRODUCTION FROM BIOGAS

Matheus Henrique Ramos Mendes ²
Alex Silas Capana *

RESUMO

Este trabalho ilustra o aproveitamento da fonte de energia biogás para redução dos custos relativos da Academia da Força Aérea (AFA) no futuro, bem como, mostra em que medida a instalação de um biodigestor pode ser uma viabilidade econômica ou um risco para a segurança operacional da unidade. Dessa forma, a proposta é abordar, inicialmente, o contexto no qual o Brasil está inserido de escassez de recursos monetários, bem como, a dependência de um sistema obsoleto baseado na geração de energia proveniente das fontes não renováveis, que poluem e degradam o ambiente. Nesse sentido, o método de pesquisa baseia-se em bibliografias e referências apresentando os tipos e características de um projeto com biogás e, por conseguinte, a utilização dos fatores de produção e de energia elétrica de um biodigestor no âmbito militar. O artigo desenvolve o raciocínio apresentado por outros autores pertinente ao tema como, por exemplo: o funcionamento do sistema de energia por biodigestor demonstrando desde sua composição, passando brevemente pelo funcionamento, até a entrega do produto final que é o biogás e o fertilizante. Frente a tais considerações, após pesquisar se há algum impedimento quanto à segurança e instalação dessa fonte de energia alternativa, o objetivo analisa a viabilidade, principalmente, na redução dos custos tendo em vista a produção de energia sobressalente os riscos envolvidos e a autossuficiência para uma organização militar.

Palavras-chave: Biodigestor; Energia alternativa; Biogás; Segurança operacional.

¹Artigo de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Formação de Oficiais Aviadores (CFOAv) da Academia da Força Aérea (AFA).

² Cadete Aviador do 4º Esquadrão (Turma Orthrus, 2023).

* 2º Ten QOConMQS Alex Silas Capana. Mestre pelo Instituto de Química da UNESP de Araraquara. E-mail: Alexcapana@gmail.com

ABSTRACT

This work illustrates the utilization of biogas as an energy source to reduce the relative costs of the Air Force Academy (AFA) in the future, as well as to determine the extent to which the installation of a biodigester can be an economic feasibility or a risk to the operational security of the unit. Thus, the proposal is to address, initially, the context in which Brazil is inserted, characterized by a scarcity of monetary resources and a dependence on an outdated system based on the generation of energy from non-renewable sources, which pollute and degrade the environment. In this sense, the research method is based on bibliographies and references presenting the types and characteristics of a biogas project and, consequently, the utilization of production factors and electrical energy from a biodigester in the military scope. The article develops the reasoning presented by other authors relevant to the topic, such as the functioning of the energy system through a biodigester, demonstrating its composition, briefly explaining its operation, and describing the delivery of the final products, which are biogas and fertilizer. In light of these considerations, after researching any impediments regarding the security and installation of this alternative energy source, the objective is to analyze the feasibility, particularly in cost reduction, taking into account the production of surplus energy, the risks involved, and the self-sufficiency for a military organization.

Keywords: Biodigester. Alternative energy. Biogas. Operational security.

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento humano ao longo dos anos assegurou melhores perspectivas de bem-estar e longevidade devido aos progressos na agricultura, medicina e, principalmente, na produção energética. Por outro aspecto, a densidade populacional do planeta aumentou e, com isso, a procura por mais fontes de energia, acarretando impactos diretos e indiretos ao ambiente. Este assunto é amplamente discutido pela sociedade acadêmica mundial mediante conscientização sobre um progresso econômico de maneira limpa. Dessa forma, a crescente preocupação com a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis vem fomentando a realização de pesquisas que visam implementar o aprendizado e a consequente redução dos custos para gerar eletricidade (FREITAS & DATHEIN, 2013). Nesse ínterim, o aproveitamento correto das fontes renováveis mostra-se um excelente modo de substituir as “energias sujas” e evitar danos ambientais ao planeta. Há várias justificativas para o avanço das fontes de energia alternativas, dentre as quais se inclui o aquecimento global causado pelo uso de combustíveis fósseis e a preocupação com questões

ambientais. Desde a década de 70, ocorreram conferências internacionais importantes para discutir o meio ambiente: A Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente, COP15, Rio+10, Rio+20 e Rio+30. Em 1997, com o Protocolo de Quioto, os países signatários se comprometeram a reduzir drasticamente as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) a fim de minimizar os efeitos das alterações climáticas e pautar a temática ambiental ao desenvolvimento das nações de forma a criar mecanismos e propostas de ações contrárias aos impactos ambientais (FASOLIN et al., 2014).

Outra grande preocupação atual, adicional ao uso de combustíveis fósseis, é a geração de resíduos sólidos, cada vez mais crescentes e, muitas vezes, sem a destinação correta. Assim sendo, de acordo com (EDUARDO & MOREIRA, 2010; MONTEIRO et al., 2013) existem recursos provenientes de matéria orgânica produzida em um ecossistema (vegetal ou animal), que podem ser utilizados na produção de energia elétrica, a Biomassa. Por meio da biodigestão anaeróbia, que se traduz em uma tecnologia eficiente, a biomassa pode ser convertida em biogás e biofertilizante, cuja disponibilidade, além de contribuir para amortecer o custo de instalação da tecnologia, soluciona o problema de saneamento e da disposição destes resíduos no meio ambiente. Portanto, o uso de biodigestores, além de agregar valor aos dejetos de animais, é uma fonte de energia limpa e renovável (SILVA et al., 2015).

Desta maneira, ao trazer para a realidade da Academia da Força Aérea em Pirassununga, pode-se observar que todos os dejetos relativos ao envolvimento de pessoas e animais na organização militar podem ter um fim ecologicamente correto. Assim, este trabalho de pesquisa ilustra o aproveitamento do biogás como fonte de energia para reduzir os custos no âmbito militar. A proposta utiliza como objeto de estudo a possibilidade de ampliar o projeto de biodigestor vigente delimitando-se à questão central: em que medida a instalação de um biodigestor pode ser uma viabilidade econômica ou um risco para a segurança operacional da unidade?

Frente a tais considerações, entende-se que as contribuições que a pesquisa pode trazer tem o intuito de colaborar na conservação do meio ambiente e, cumulativamente, na redução dos custos relativos à energia, pois uma instituição militar possui a necessidade de ter autossuficiência a fim de se manter nas adversidades que podem ocorrer em um cenário de guerra.

O objetivo geral deste trabalho é analisar a possibilidade de ampliar uma central elétrica de energia renovável por meio da biomassa, levando em consideração o custo-benefício e os riscos

envolvidos na produção de energia pelo gerador. Para alcançar esse objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos.

Em primeiro lugar, é necessário definir os componentes do biogás, que é o combustível utilizado para gerar energia elétrica a partir da decomposição anaeróbica da biomassa. Esses componentes incluem principalmente metano e dióxido de carbono, mas também podem conter pequenas quantidades de outros gases.

Além disso, é importante diferenciar os tipos de biodigestores disponíveis no mercado, a fim de identificar qual é o mais adequado, pois existem diversos tipos de biodigestores, cada um com características específicas que podem influenciar o processo de geração de biogás.

Outro objetivo específico deste estudo é identificar os custos e benefícios envolvidos na produção de energia elétrica em um biodigestor. Para isso, é necessário avaliar o investimento inicial na instalação do sistema de geração de biogás, bem como os custos operacionais e de manutenção ao longo do tempo. Também é importante considerar os riscos associados à produção de biogás, como os riscos de incêndio e explosão, e adotar medidas preventivas para minimizá-los.

1 REFERENCIAL TEÓRICO

1.1 MODELO DE RESIDÊNCIA SUSTENTÁVEL DA FORÇA AÉREA BRASILEIRA

A Prefeitura de Aeronáutica de Guaratinguetá adotou medidas focadas na sustentabilidade visando atender ao documento da Conferência das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Sustentável (Rio+20) e garantir a viabilidade do processo de preservação ambiental. Os imóveis foram reformados para incluir captação e reuso de água, aquecimento solar, sensor de iluminação, redimensionamento elétrico e reutilização de materiais de construção. A instalação de estações compactas de tratamento de esgoto domiciliar, dotada de reator e filtro anaeróbio, resultou em um efluente não agressivo ao meio ambiente e economias significativas para os permissionários e para a administração pública (RIBEIRO et al.,2015).

Segundo o site oficial da Força Aérea Brasileira:

“[...] A implantação dos critérios de sustentabilidade implica em economias significativas para os permissionários, bem como de custos para a administração pública. Além disso, segundo o Prefeito de Aeronáutica de Guaratinguetá, Tenente-Coronel Intendente Moisés

Gomes da Motta, em declaração publicada no portal de notícias da FAB “Se comparar o tratamento de esgoto que foi implantado, no formato convencional o investimento é de R\$ 2.420,00, com vida útil de 20 anos para manutenção, com o biodigestor, o valor é de R\$ 2.200,00, com vida útil de 100 anos. A diferença chega a R\$ 220,00 de economia neste item, além do esgoto sair com 85% de tratamento”, afirma o Prefeito (FORÇA AÉREA BRASILEIRA, 2022).

Nesse sentido, a Força Aérea tem buscado uma base sustentável para operar com o biodigestor, e a Academia da Força Aérea possui grande potencial para produzir energia renovável. O presente trabalho investiga se o biodigestor pode ser uma viabilidade econômica frente aos riscos para a segurança operacional da unidade. Portanto, ao adotar medidas sustentáveis, é possível obter benefícios econômicos, ambientais e sociais, contribuindo para o desenvolvimento sustentável da região.

1.2 BIOGÁS

A presente dissertação definiu uma base teórica para investigar uma central elétrica de energia renovável através da decomposição anaeróbica da biomassa. Desse modo, para embasar a proposta evidenciou-se os autores com conhecimento acerca dos componentes do Biogás, fatores de produção e de energia em um biodigestor e os tipos de biodigestores.

A compreensão dos componentes do biogás depende dos processos de biodigestão anaeróbica que evoluíram de maneira promissora tanto no tratamento quanto na destinação correta dos resíduos sólidos que seriam alocados em aterros e locais inapropriados. A digestão resultante da ação das bactérias gera o biogás, composto com grande poder calorífico, que pode ser utilizado na produção de energia elétrica ou térmica (KHALID et al., 2011; MALANCONI & CABRAL, 2012). Nesse contexto, a degradação orgânica feita pelos grupos de microrganismos transformam a matéria complexa em substâncias mais simples por meio de quatro etapas conhecidas como: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese que serão explicadas logo abaixo. Após a conversão desta matéria complexa obtém-se uma mistura de gases composta por metano, amônia, gás carbônico, gás sulfídrico. A figura 1 apresenta detalhes a respeito dos gases produzidos no processo de biodigestão anaeróbica. Além dos gases, água e células bacterianas também fazem parte do produto, compondo assim, o biogás (XAVIER & LUCAS JÚNIOR, 2010).

| Gás | Concentração típica | Densidade (kg. m ⁻³) | Poder Calorífico (kJ .m ⁻³) | Solubilidade em água (g.l ⁻¹) | Propriedades gerais |
|------------------|---------------------|----------------------------------|---|---|--|
| CH ₄ | 45 -60 % | 0,717 | 35.600 | 0,0645 | Incolor, inodoro, asfixiante Inflamável |
| CO ₂ | 35 -50 % | 1,977 | --- | 1,688 | Incolor, inodoro, asfixiante |
| N ₂ | 0 -10 % | 1,250 | --- | 0,019 | Incolor, inodoro, |
| O ₂ | 0 – 4 % | 1,429 | --- | 0,043 | Incolor, inodoro, |
| CO | < 0,1 % | 1,250 | 12,640 | 0,028 | Incolor, inodoro, inflamável, tóxico |
| H ₂ | < 0,1% | 0,090 | 10.760 | 0,001 | Incolor, inodoro, inflamável |
| H ₂ S | 0 - 70 ppm | 1,539 | --- | 3,846 | Incolor, tóxico |

Figura 1 Composição e propriedades do biogás

Fonte: (Maciel, 2003).

Deublein e Steinhauser (2008) explicam que o processo de produção de energia em um biodigestor é embasado na hidrólise, que é a conversão de matéria orgânica em compostos de menor peso molecular. Esse processo é realizado por meio de enzimas excretadas por bactérias e ocorre em três etapas.

Na primeira, a hidrólise, ocorre a degradação de proteínas em aminoácidos e de lipídios em glicerina e gorduras de longa cadeia de carbono. Na segunda etapa, a acidogênese, os compostos obtidos anteriormente são degradados em proteínas de cadeia curta, como ácido propiônico e butírico para carboidratos, acetatos para gorduras e gás sulfídrico para aminoácidos. Na terceira etapa, a acetogênese, compostos de cadeia curta são transformados em substratos como gás carbônico, acetatos e hidrogênio, que são utilizadas pelas bactérias metanogênicas na quarta etapa, a metanogênese. Nessa etapa, ocorre a formação do metano em condições anaeróbias com bactérias altamente sensíveis a mudanças de temperatura e pH. (Deublein & Steinhauser, 2008). As etapas do processo de biodigestão podem ser analisadas pelo fluxograma da figura 2.

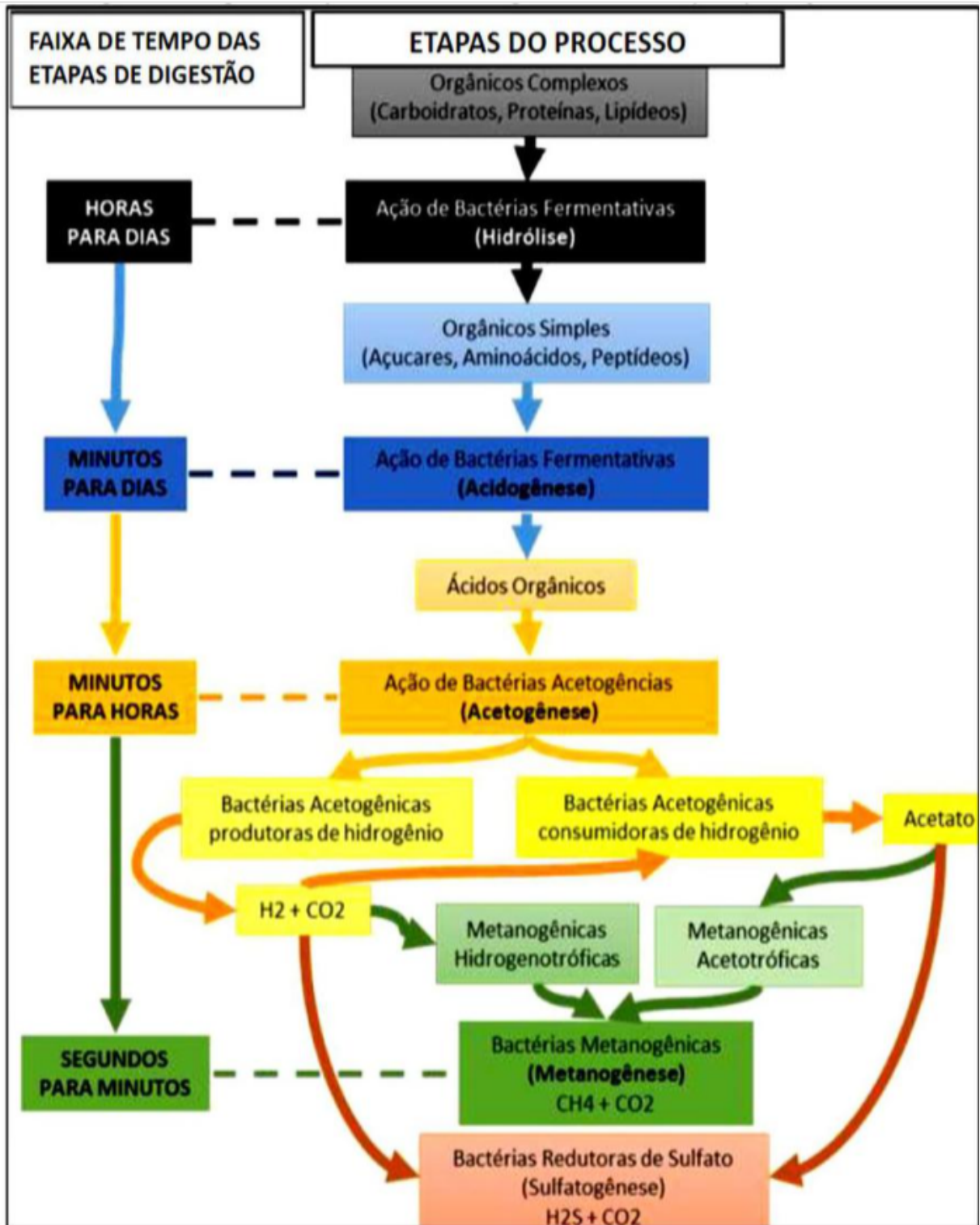


Figura 2 Fases da biodigestão anaeróbica

Fonte:(Silva, 2016).

1.3 BIOGÁS NO BRASIL

Historicamente o Brasil incentivou a utilização do biogás a partir da crescente no preço do petróleo em 1970. Na década de 80, o financiamento e doações de recursos através do governo e empresas privadas contribuíram para que em 1984 cerca de 3.000 biodigestores fossem instalados no país com base no modelo indiano (BLEY, 2015). Entretanto, houveram problemas técnicos que tornaram o biodigestor inviável ao uso no primeiro momento e agravou-se com a queda do petróleo nos anos subsequentes. Somente entre 1990 e 2000 o tema voltou a ser pauta como forma de redução dos gases estufa e por meio do incentivo à venda de créditos de carbono abordado pelo Protocolo de Quioto. Esta iniciativa não deu certo, pois os ganhos eram baixos e economicamente inviáveis. Com isso, o desempenho da fonte alternativa abriu margem para o governo federal investir mais esforços em grandes centrais hidrelétricas e derivados do petróleo. Em contrapartida, a Europa passava por uma mudança na sua matriz energética, principalmente, devido às leis de subsídios e incentivos fiscais que proporcionaram um rápido desenvolvimento do setor. Assim, o Brasil retoma as iniciativas para centros de pesquisas e desenvolvimento devido ao grande potencial de produção e aos chamados dos grandes eventos e noticiários sobre a preocupação com o meio ambiente (PALHARES, 2008). Hodiernamente, o Brasil tanto em termos de produção de energia quanto de tratamento de resíduos orgânicos realiza pesquisas científicas nesse campo e tem sido fundamental para o desenvolvimento de tecnologias e processos mais eficientes e sustentáveis. Neste artigo, será apresentada uma análise da quantidade e da distribuição geográfica dos grupos de pesquisa em biodigestores e biogás no Brasil.

Segundo o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), existem atualmente 85 grupos de pesquisa cadastrados no Diretório de Grupos de Pesquisa (DGP) com a temática de biodigestores e biogás. Esses grupos estão distribuídos por diversas regiões do país, sendo a maioria localizada na região Sudeste (42%), seguida da região Sul (24%), Nordeste (18%), Centro-Oeste (11%) e Norte (5%) . Entre as unidades federativas com maior concentração de grupos de pesquisa em biodigestores e biogás, destacam-se São Paulo, com 22 grupos, seguidos por Rio Grande do Sul (14), Minas Gerais (10), Paraná (9) e Santa Catarina (9), conforme pode-se observar na Figura 3 (CNPq, 2015).



Figura 3 Grupos de pesquisa em biodigestores e biogás no Brasil.

Fonte : (CNPQ, 2015).

Essas unidades federativas representam juntas mais de 70% dos grupos de pesquisa cadastrados no CNPq. Além disso, é importante destacar que a maioria dos grupos de pesquisa em biodigestores e biogás no Brasil é composta por equipes multidisciplinares, com pesquisadores de diferentes áreas, como Engenharia Ambiental, Química, Biologia, Agronomia isso demonstra a importância dessas unidades federativas (CNPq, 2015).

1.4 FATORES QUE AFETAM A PRODUÇÃO

Para medir a evolução das etapas alguns elementos devem ser monitorados e regulados como: alcalinidade, temperatura, pH, ácidos voláteis e quantidade de oxigênio que normalmente é utilizado para aferir e estimar a massa transformada em biogás, além disso, é capaz de mensurar o desempenho e viabilidade do processo (CHERNICHARO, 2007). A produção de biogás pode ser afetada devido aos seguintes fatores:

1) pH: é fundamental a manutenção dos parâmetros, pois está diretamente relacionado à concentração de ácidos no meio, o pH ótimo é próximo de neutro entre 6,5 e 7,5 (Deublein &

Steinhauser, 2008) .

2) Tempo de retenção: é o período entre a entrada e saída do substrato do biodigestor e depende da biomassa utilizada (SALOMON,2007).

3) Umidade : quanto maior a umidade mais biogás será produzido.

4) Temperatura: em grande parte devido ao fato dos microrganismos não possuírem meios de controle de temperatura, segundo Chernicharo (2007) duas faixas mostram-se ótimas: 30 a 35 °C na faixa mesófila e de 50 a 55 °C na faixa termófila.

5) Composição: resíduos de lenta decomposição produzem menos gás (COSTA,2006).

1.5 BIODIGESTOR

De maneira similar, a produção de biogás e os tipos de biodigestores inovaram devido a maneira simples de produzir, pois trata-se de uma câmara onde os resíduos orgânicos são despejados, geralmente, restos de alimentos e fezes de animais acrescidos de água para iniciar o processo de biodigestão. O equipamento conta com um orifício na parte superior para liberar o biogás canalizado, e, na parte inferior da câmara, obtém-se adubos e fertilizantes que são subprodutos do biodigestor. Existem alguns modelos diferentes do equipamento, mas de maneira geral cava-se um buraco no chão ,vedando-o com tijolos e cimento (BARRERA ,et al. ,2011).

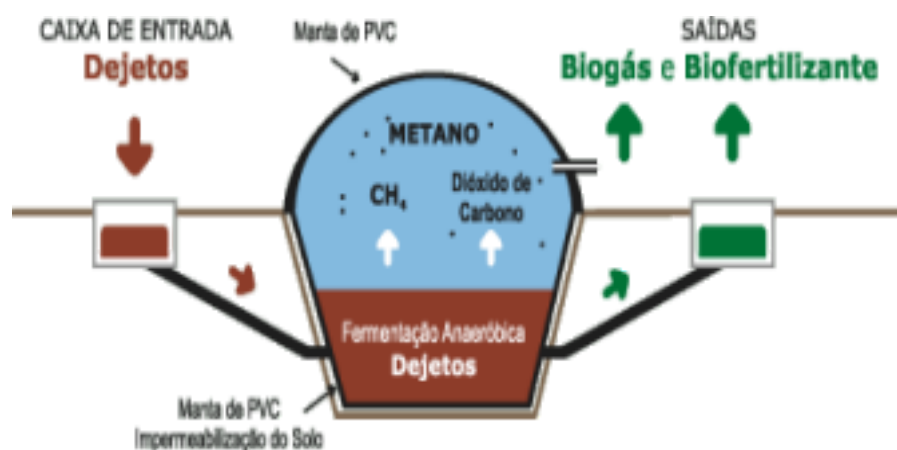


Figura 4 Princípio básico de funcionamento do biodigestor

Fonte: (EDUARDO, C.; MOREIRA, S. 2010).

1.5.1 Modelos de biodigestor

No âmbito mundial, dois países se destacaram no desenvolvimento do biodigestor: a China e a Índia. Na China, o grande desafio era alimentar milhões de pessoas sem mecanizar de forma abrupta a zona rural, o que poderia resultar em elevados níveis de desemprego. Assim, o objetivo principal era obter biofertilizante para a agricultura, já que o país possuía autossuficiência em energia através do petróleo. Já na Índia, as causas foram diferentes: a miséria assolava as populações marginais e o desenvolvimento dos biodigestores surgiu como uma forma de suprir a demanda energética do país, que não possuía autossuficiência em petróleo, como resultado, obteve-se um equipamento mais modernizado capaz de aproveitar de forma mais eficiente o biogás para produzir energia elétrica. Desses dois modelos têm-se a base da tecnologia utilizada no Brasil e no mundo (RIBEIRO et al., 2020, p.10) Para Barrera (2011,p.19):

“[...] As diferenças entre os modelos indiano e chinês de biodigestores não são expressivas. O detalhe mais significativo refere-se à cúpula do gasômetro, região onde fica armazenado o biogás gerado pela fermentação. O biodigestor indiano tem uma cúpula móvel, de metal; e o chinês, uma cúpula fixa, de alvenaria. No modelo indiano, a cúpula vai subindo em torno de uma guia de metal, à medida que se enche de biogás. Esta cúpula funciona como um verdadeiro gasômetro, já que, pelo seu próprio peso, acaba imprimindo uma certa compressão ao gás estocado. Esta compressão pode ser aumentada por meio da fixação de pesos especiais na cúpula de metal. Através desse sistema simples, imprime-se maior pressão quando for necessário aumentar a velocidade de saída do gás. No modelo chinês a cúpula é fixa, de alvenaria, guarnecida por uma espécie de válvula, que é composta por uma tampa e pressionada por um depósito de água. A característica deste modelo exige que se esgote o gás com mais frequência, a fim de evitar-se o desperdício ” (BARRERA , 2011, p.19).

A Figura 5 aponta três modelos de biodigestores indiano, chinês e canadense .

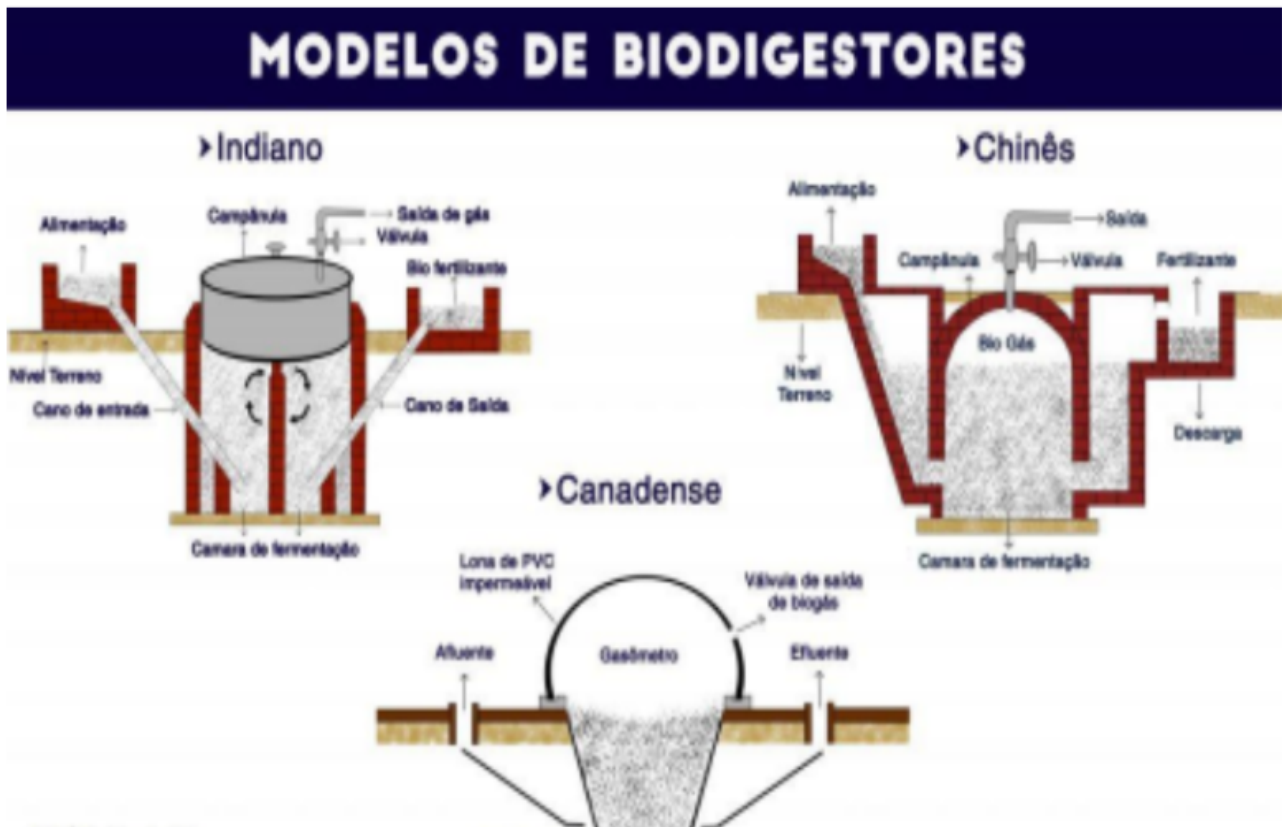


Figura 5 Modelos de biodigestor

Fonte : (CHERNICHARO, 2007).

1.6 AUTOSSUFICIÊNCIA: GERAÇÃO DE ENERGIA A PARTIR DO TRATAMENTO DOS RESÍDUOS DA SUINOCULTURA

Em termos geográficos, a criação de suínos no Brasil está concentrada principalmente na região Sul, onde aproximadamente 60% das matrizes tecnificadas estão alojadas. O estado de Santa Catarina se destaca como o principal produtor nessa região. Além disso, a região Sudeste também possui uma presença significativa nesse segmento, conforme ilustrado na tabela abaixo. Por exemplo, o estado de Minas Gerais possui um total de 241 mil matrizes, ocupando a posição de quarto maior produtor do país, de acordo com dados do IBGE de 2009.

Tabela 3 Matrizes de porcos por unidade federativa

| Unidade Federativa | Número de matrizes tecnificadas |
|---------------------------|--|
| Santa Catarina | 400.000 |
| Rio Grande do Sul | 314.000 |
| Paraná | 265.000 |
| Minas Gerais | 245.000 |
| Mato Grosso | 106.000 |
| Goiás | 83.000 |
| São Paulo | 82.000 |
| Mato Grosso do Sul | 51.749 |
| Espírito Santo | 18.660 |
| Distrito Federal | 11.000 |
| Ceará | 8.000 |
| Bahia | 6.000 |
| Outros | 9.591 |
| Total | 1.600.000 |

Fonte: ABCS, 2015.

De acordo com a matéria do site da suinocultura industrial: “Produção de suínos mantém crescimento em 2022²”, os dados preliminares de abate divulgados pelo IBGE apontam que o setor de produção suína no Brasil apresentou um crescimento contínuo no primeiro semestre de 2022, mesmo diante da crise econômica. No segundo trimestre do ano, registrou-se um recorde na produção de 1,3 milhão de toneladas de carcaças, representando um aumento de 6,78% em relação ao mesmo período do ano anterior e um crescimento de 4,53% em comparação ao abate do primeiro trimestre de 2022. Esses números demonstram a resiliência e o dinamismo da indústria suína brasileira, que tem se mantido em expansão mesmo em meio a desafios econômicos e adversidades.

A análise do potencial energético da suinocultura brasileira leva em consideração a medição do volume total de efluentes produzidos pelos sistemas de criação de suínos e a geração de biogás através da implementação de biodigestores. Para realizar esse artigo, foi necessário obter informações sobre o número de matrizes suínas em ciclo completo, conforme mencionado por Souza, Pereira e Pavan (2004), que estima a geração de 72 litros de dejetos por dia para cada animal cujos dejetos possuem um potencial de geração de biogás de 0,775 m³ por dia. O poder calorífico do biogás é de 6,5 KWh/m³, e a eficiência de conversão em energia elétrica por meio de grupos geradores (motores ciclo Otto) é de aproximadamente 25% (CCE, 2000).

2

<https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/producao-de-suinos-mantem-crescimento-em-2022/20220825-083752-k478> >. Acesso em: 18 de jun, de 2023

Outro estudo aponta que o poder calorífico do gás aproxima-se de 21.600kJ/m³ ou 6,0 kWh/m³. O cálculo da energia elétrica produzida pelo biogás foi realizado conforme FONSECA et al. (2009), segundo o autor é a quantidade de metano presente no biogás que define o alto poder calorífico, quando o gás está altamente purificado pode-se obter até 12.000 Kcal por metro cúbico. Dado a tabela abaixo é possível comparar a equivalência com outras fontes de energia. Já segundo Florentino (2003), quando puro em condições normais de temperatura e pressão o metano tem um poder calorífico inferior (PCI) de 8,8 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 48 e 79% terá um poder calorífico inferior entre 5,0 e 7,85 kWh/m³.

Tabela 4 Energia para 1m³ de biogás

| Equivalência energética para 1 m³ de Biogás | Fonte Energética |
|---|-------------------------|
| 2,50 kg | Lenha |
| 1,50 m ³ | GLP |
| 1,34 kWh | Energia Elétrica |
| 0,79 L | Alcool Combustível |
| 0,66 L | Gasolina |
| 0,58 L | Querosene |
| 0,55 L | Óleo Diesel |

Fonte: Oliver (2008) .

Para transformar o biogás em energia elétrica, é necessário acoplá-lo a um gerador de ciclo Otto. O gerador de ciclo Otto é um tipo de motor de combustão interna que utiliza a combustão do biogás para movimentar um pistão, gerando eletricidade. O processo é vantajoso pois o biodigestor é capaz de tratar efluentes e resíduos orgânicos, reduzindo o impacto ambiental gerado por esses materiais. Segundo pesquisas, a eficiência energética do sistema pode chegar a 40% e isso significa que boa parte da energia presente no biogás é convertida em eletricidade (COSTA,2006).

Ao retomar o raciocínio sobre o rebanho de matrizes suínas no Brasil, foi possível calcular o volume total de dejetos gerados por dia 72 litros (Souza, Pereira e Pavan, 2004). Dessa forma, esse valor foi convertido para metros cúbicos 0,775 m³ e multiplicado pelo valor correspondente à potência de geração de biogás. Com essas informações, foi possível quantificar a produção de biogás por hora (dividindo o valor por 24). Finalmente, para estimar a produção de energia em

KW/h, foi realizado um cálculo multiplicando o valor encontrado por 1,625 ($6,5 \text{ KWh/m}^3 \times 0,25\%$). Dessa forma, foi possível obter o potencial de geração de energia elétrica a partir do tratamento dos dejetos suínos e subsequente utilização do biogás.

2 METODOLOGIA

A análise do projeto consiste na possibilidade de ampliar o biodigestor, fonte de energia alternativa na Academia da Força Aérea, apresentando a viabilidade do estudo, principalmente, se há algum custo-benefício ou risco para a segurança da unidade, bem como, redução dos gastos. A abordagem será de natureza qualitativa, de modo que a finalidade da pesquisa será básica, ou seja, sem o objetivo comercial. Dessa forma, o seu tipo será baseado majoritariamente em bibliografias e referências de pessoas competentes na área por meio de fluxogramas, tabelas, citações diretas e indiretas. Com isso, enunciar os detalhes e a realidade do objeto de estudo. Nesse sentido, também conta com a exposição de dados levantados a partir de publicações, documentos, sites e termo de referência acerca dos gastos com a manutenção do biodigestor na Academia da Força Aérea ,mais especificamente, na Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga (FAYS).

O trabalho justifica a utilização da pesquisa bibliográfica e tem-se o método empregado com base em textos de livros e artigos científicos visando a análise de conteúdo, pois há muito conteúdo sobre biodigestor e energia elétrica, mas não correlacionando ambos no âmbito militar . Ao final desse processo, a conclusão aborda a produção de energia, além disso, a importância da autossuficiência para uma organização militar. Com isso, para cumprir o objetivo a base da pesquisa apoia-se nos componentes do Biogás e nos Biodigestores através dos fatores de produção, energia e os tipos de equipamentos utilizados.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 PURIFICAÇÃO DO GÁS E RISCOS PARA A SEGURANÇA OPERACIONAL.

Conforme observado nas etapas do processo de obtenção do gás (Figura 2) pode-se notar que o grau de pureza do metano depende da purificação do biogás bruto. Dentre os principais contaminantes que afetam o potencial energético do biogás, destacam-se o dióxido de carbono

(CO₂), o sulfeto de hidrogênio (H₂S) e a amônia (NH₃). De acordo com Mendonça (2002) as etapas de purificação do gás são:

- Remoção de dióxido de carbono (CO₂) e sulfeto de hidrogênio (H₂S) por hidróxido de potássio (KOH), sódio (NaOH), e cálcio (Ca(OH)₂).
- Remoção de umidade
- Retirada do gás sulfídrico através do óxido férrico Fe₂O₃

A produção de biogás pode ser uma fonte de energia renovável e sustentável, mas também apresenta alguns riscos que devem ser levados em consideração. Dessa forma, sabe-se que os gases resultantes da produção podem ser perigosos para a saúde humana e os trabalhadores envolvidos na operação e manutenção do sistema podem estar expostos a riscos ocupacionais, quedas e lesões (BRASIL, 2015 b). Riscos ambientais: contaminação da água e do solo por meio dos resíduos da produção caso não sejam tratados adequadamente e ocorra algum vazamento, o biogás emite gases de efeito estufa como por exemplo o metano se não for utilizado e coletado de maneira adequada. (BRASIL, 2015 b). Riscos financeiros: a produção pode se tornar de alto custo, principalmente, se o sistema de produção não for eficiente. Ademais, se a obtenção dos resíduos for vulnerável pode haver flutuação dos preços em relação a obtenção de materiais (MARCHIORO et al., 2018). Riscos de segurança: a produção envolve o armazenamento de grandes quantidades de gases inflamáveis e tem-se a ameaça de incêndio ou explosão, tal qual o uso de equipamentos eletroeletrônicos, fumar ou qualquer fonte de centelha ou chama não devem ser factíveis nas áreas de operação (FATMA, 2014). A mistura que compõe o gás tem propriedades asfixiantes e provoca o sufocamento, o metano e o hidrogênio são inflamáveis, o sulfeto de hidrogênio é tóxico e corrosivo e a amônia possui toxicidade. O metano em baixas concentrações em contato com o oxigênio em ambiente fechado é capaz de ocasionar uma explosão no caso de uma possível combustão juntamente com a remoção do ácido sulfídrico injetando oxigênio não pode-se ultrapassar 4,5% em sua concentração (FATMA, 2014).

O próximo parágrafo aborda a segurança no manuseio do produto “sol. sulfeto de hidrogênio saturada” segundo a Ficha de informação de segurança de produto químico (FISPQ):

O Sulfeto de hidrogênio possui líquido e vapor extremamente inflamáveis, apresentando riscos à saúde humana. Neste artigo, serão apresentadas as precauções necessárias para o manuseio

seguro deste produto, destacando suas propriedades inflamáveis e nocivas por ingestão. Para complementar, serão discutidas as medidas de segurança a serem adotadas, como a prevenção de fontes de ignição, o armazenamento adequado, o uso de equipamentos de proteção individual e a ventilação adequada dos ambientes conforme a FISPQ. O contato inadequado com este composto pode resultar em irritação da pele, irritação ocular e problemas respiratórios. Armazenamento: O recipiente contendo o sulfeto de hidrogênio saturado deve ser mantido bem fechado para evitar vazamentos e possíveis reações perigosas. Além disso, é fundamental que o local de armazenamento seja isolado de fontes de calor, faíscas e chamas abertas. A ligação à terra/equipotencial do recipiente e do equipamento receptor também devem ser estabelecidas para evitar o acúmulo de cargas estáticas (FISPQ,2020).

Utilização de Equipamentos Adequados: Durante o manuseio do produto, é essencial utilizar equipamentos elétricos, de ventilação e de iluminação à prova de explosão. Recomenda-se o uso exclusivo de ferramentas anti-faísca para evitar ignições acidentais. **Proteção Pessoal:** Os operadores devem utilizar luvas de proteção, vestuário apropriado, proteção ocular e proteção facial para minimizar o contato direto com o produto. É importante ressaltar que a exposição prolongada ou repetida deve ser evitada. **Ventilação Adequada:** A manipulação deve ser realizada apenas em áreas ao ar livre ou em locais bem ventilados. Isso auxilia na dispersão de vapores e minimiza o risco de inalação. **Higiene Pessoal:** Após o manuseio do produto, é imprescindível lavar cuidadosamente a pele com água e sabão. Logo, não se deve comer, beber ou fumar durante a utilização do produto (FISPQ,2020).

Medidas de primeiros socorros a serem adotadas em casos de exposição ao produto químico "sol. sulfeto de hidrogênio saturada", segundo a Ficha de informação de segurança de produto químico são descritas as ações recomendadas para situações de inalação, contato com a pele, contato com os olhos e ingestão acidental. Ressalta-se a importância de consultar um médico e apresentar a ficha de segurança para um atendimento adequado. **Medidas de Primeiros Socorros:** **Inalação:** Caso ocorra inalação, é fundamental mover a pessoa para uma área com ar fresco imediatamente. Se a vítima não estiver respirando, deve-se iniciar a respiração artificial e procurar auxílio médico. **Contato com a pele:** Em situações de contato com a pele, é necessário lavar a área afetada com água em abundância e sabão. É recomendado buscar atendimento médico para avaliação e tratamento adequados. **Contato com os olhos:** No caso de contato com os olhos, é

essencial lavar cuidadosamente com água em abundância por pelo menos quinze minutos. Consultar um médico para avaliação oftalmológica é recomendado. Ingestão: Em situações de ingestão acidental, não se deve induzir o vômito. Nunca dar nada pela boca a uma pessoa inconsciente. Enxaguar a boca com água é indicado, seguido de busca imediata de assistência médica. Até o momento os sintomas e efeitos mais importantes, as propriedades químicas, físicas e toxicológicas da "sol. sulfeto de hidrogênio saturada" não foram completamente investigadas (FISPQ,2020).

Portanto, é importante estar atento aos sinais e sintomas e buscar orientações médicas para uma avaliação apropriada. A aplicação correta das medidas de primeiros socorros é fundamental para minimizar os riscos à saúde em casos de exposição. A consulta a um médico e a apresentação da ficha de segurança auxiliam na garantia de um atendimento adequado e na prevenção de complicações relacionadas ao contato com o produto químico.

Monitorar as tubulações e os reservatórios do biodigestor possui muita importância na prevenção de acidentes, vazamentos e o excesso de pressão. Para contornar esses problemas pode-se utilizar água com detergente e se verificado a existência de bolhas está constatado o vazamento nas tubulações, por outro lado, a instalação de um manômetro é essencial para verificar a pressão vigente nos tubos (BRASIL,2015a). A Figura 6 mostra as válvulas que são responsáveis por aliviar a pressão do gás e um sistema d'água que equaliza a pressão no interior do biodigestor.



Foto: Ricardo Luis Radis Steinmetz

Figura 6 Equalizador d'água de pressão e válvula de alívio

Fonte: Recuperado de (SOUZA, S.N.M.; PEREIRA, W.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; PAVAN, A.A.; SORDI, A.,2004).

Não obstante, é desejável a instalação de corta-chamas e registros para separar o reator

anaeróbio da câmara de gás, vale ressaltar que, os materiais devem ser resistentes à corrosão e deve-se conter registros antes e após o corta-chamas para que não entre ar nas tubulações durante as manutenções (BRASIL,2015a).

Frente a tais considerações, entende-se que para minimizar os riscos é importante o sistema de obtenção do gás ser bem projetado, operado e mantido conforme os padrões de leis ambientais e protocolos de segurança aplicáveis. Os colaboradores da produção devem receber qualificação e treinamento prático de como aplicar as medidas de segurança, bem como, incluir o uso de equipamentos de proteção individual, sistemas de ventilação adequados e procedimentos de emergência bem definidos. As regulamentações de segurança para gases inflamáveis podem variar de acordo com a região e o país e os resíduos orgânicos utilizados na produção de biogás devem ser gerenciados adequadamente para minimizar o impacto ambiental e a exposição a riscos de saúde (KOTHARI et al.,2014).

3.2 BIODIGESTOR E OS BENEFÍCIOS DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

O biogás pode oferecer diversos benefícios econômicos para (CERVI et al.,2010):

1. Obtenção de receita: O excesso de energia produzida pode ser comercializado para gerar um ganho maior.
2. Redução dos custos com energia: A geração de energia por meio do biogás pode reduzir consideravelmente os custos com energia para os produtores.
3. Crédito de energia: Em alguns países inclusive no Brasil é comum um sistema de compensação de energia renovável em que o excesso de energia produzida é convertido em crédito na conta de luz, regulado pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Para instalar necessita-se criar um registro na concessionária de energia elétrica da região e a energia excedente será injetada na rede elétrica e será convertida em créditos de energia elétrica, que podem ser utilizados para reduzir o valor da conta de luz em períodos em que a produção de energia não é suficiente para atender a demanda. Pode-se utilizar por um período de 5 anos contados a partir da data de emissão dos créditos. Vale ressaltar que em alguns estados brasileiros como São Paulo e Minas Gerais é possível vender os créditos de energia renovável no mercado de carbono e gerar uma receita adicional para os produtores do biogás (ANEEL,2014).

3.3 CUSTOS RELACIONADOS À GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NO BIODIGESTOR

No entanto, a geração de energia elétrica no biodigestor também pode apresentar alguns custos, incluindo:

1. Custos de instalação e manutenção do sistema: O investimento inicial necessário para instalar o sistema de geração de eletricidade pode ser significativo, assim como os custos contínuos de manutenção do sistema (SOUZA et al.,2004). A Tabela 1 expõe os valores referentes aos materiais necessários para a instalação de biodigestores com volumes distintos. As informações referentes a esses orçamentos e os gastos com a manutenção foram coletadas diretamente com o fornecedor e antes da pandemia de covid 19, mais adiante tem-se dados atuais dos valores das peças de reposição e serviços para funcionamento do biodigestor no ano de 2022.

Tabela 1 Custo médio do Biodigestor com base no volume

| Descrição | Volume do Biodigestor (m ³) | | | |
|---------------------------------|---|------------------|------------------|------------------|
| | 625 | 875 | 1.125 | 1.375 |
| Terraplenagem e escavação | 5.181,00 | 5.619,00 | 7.059,00 | 8.686,00 |
| Parte civil e bomba hidráulica | 11.398,00 | 11.665,00 | 13.778,00 | 15.865,00 |
| Tubos e conexões | 1.428,00 | 1.327,00 | 1.753,00 | 1.783,00 |
| Manta superior e inferior - PVC | 24.956,00 | 28.425,00 | 35.556,00 | 42.327,00 |
| Acessórios - fixação | 5.008,00 | 5.319,00 | 6.206,00 | 7.527,00 |
| Mão de obra | 4.030,00 | 4.645,00 | 5.648,00 | 6.312,00 |
| Total | 52.000,00 | 57.000,00 | 70.000,00 | 82.500,00 |

Fonte :Franco M. Martins & Paulo A. V. de Oliveira (2011).

Foi realizado um estudo segundo os autores Franco M. Martins & Paulo A. V. de Oliveira para estimar o custo anual de manutenção dos biodigestores, que foi equivalente a 2,5% do valor inicial. Para tal, considerou-se o valor de aquisição do conjunto motor-gerador em R\$45.000,00 e os custos de manutenção foram calculados conforme orientação do fabricante. O programa previu a necessidade de substituição de velas, troca de óleo lubrificante e retífica do motor a cada 180, 400 e 10.000 horas, respectivamente, sendo que os valores correspondentes a essas intervenções foram R\$72,00, R\$28,00 e R\$2.500,00, respectivamente. A quantidade de interrupções em cada componente foi determinada pela divisão do tempo anual de geração pelo intervalo de tempo entre as interrupções (FRANCO et al.,2011). A Tabela 2 mostra os custos anuais com a manutenção do

conjunto motor-gerador.

Tabela 2 Custos anuais com a manutenção do conjunto motor-gerador

| Período de Geração | | Intervenções por Ano | | | | Custos Anuais: R\$ ano ⁻¹ | | | |
|---------------------|---------------------|----------------------|---------------|----------|----------|--------------------------------------|----------|----------|--|
| h dia ⁻¹ | h dia ⁻¹ | Troca de velas | Troca de óleo | Retifica | Velas | Óleo Lubrif. | Retifica | Total | |
| 10 | 3.600 | 20 | 9 | 0,36 | 1.440,00 | 252,00 | 900,00 | 2.592,00 | |
| 14 | 5.040 | 28 | 12,6 | 0,50 | 2.016,00 | 352,80 | 1.260,00 | 3.628,80 | |
| 18 | 6.480 | 36 | 16,2 | 0,65 | 2.592,00 | 453,60 | 1.620,00 | 4.665,60 | |
| 22 | 7.920 | 44 | 19,8 | 0,79 | 3.168,00 | 554,40 | 1.980,00 | 5.702,40 | |

Fonte :Franco M. Martins & Paulo A. V. de Oliveira (2011).

2. Riscos de flutuação de preços: Os preços da eletricidade no mercado podem mudar significativamente ao longo do tempo, o que pode afetar a rentabilidade da geração de eletricidade no biodigestor. No âmbito domiciliar, o biogás foi aproveitado para o aquecimento de água e iluminação e resultou em uma economia anual significativa de R\$ 3.698,00 e uma recuperação do investimento em 2,5 anos. Na produção, a energia foi utilizada em diversos equipamentos, proporcionando uma economia anual de R\$ 9.080,57, com recuperação do investimento em apenas 11 meses. Os resultados mostram o potencial do uso do biogás na substituição de fontes de energia tradicionais (ESPERANCINI et al.,2007).

3. Custos operacionais: A manutenção de um sistema de geração de energia elétrica a partir de fontes renováveis, como o biogás, são relativamente baixos em comparação com outras fontes de geração de energia elétrica. No entanto, é necessário realizar manutenções regulares no sistema de geração de biogás para garantir o seu bom funcionamento e a segurança dos operadores (STOKES et al.2008).

Avaliando os custos e benefícios da energia elétrica no biodigestor é importante considerar uma série de fatores, como o custo da eletricidade na região, a disponibilidade de créditos de energia renovável e os custos associados à instalação e manutenção do sistema. Além disso, é importante considerar o uso final da eletricidade gerada e se ela será usada para reduzir custos operacionais ou para gerar receita adicional.

Frente a tais considerações, entende-se que a geração de energia elétrica no biodigestor pode oferecer diversos benefícios econômicos, mas é importante avaliar cuidadosamente os custos e

benefícios antes de investir em um sistema. O biogás produzido em biodigestores apresenta custos significativos relacionados à instalação, operação e manutenção do sistema. No entanto, a possibilidade de compensação de energia elétrica e a receita gerada pela venda de créditos de energia renovável podem tornar essa alternativa economicamente viável

3.4 BIODIGESTOR NA ACADEMIA DA FORÇA AÉREA

O biodigestor desempenha um papel crucial na transformação de resíduos orgânicos em energia renovável, como o biogás. Na Academia da Força Aérea, esse sistema é uma peça fundamental para alcançar a sustentabilidade e a redução do impacto ambiental, bem como para promover a utilização de fontes de energia limpa e renovável. Este artigo científico tem como objetivo apresentar detalhes sobre os materiais adquiridos no sistema de tratamento de dejetos da Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga (FAYS), ressaltando sua condição atual, materiais e valores individuais. As informações foram obtidas através do site API de compras governamentais por meio do Pregão 120065.05.00042.2011.

Em 2011, a Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga abriu um pregão para a aquisição de um biodigestor destinado à suinocultura. O processo, identificado como N.º 67511-000644/2011-70, foi conduzido pela União por meio da modalidade de licitação denominada Pregão, realizada de forma eletrônica e com critério de seleção baseado no menor preço. O objetivo da licitação era contratar o serviço de implantação de um biodigestor na área da suinocultura e a iniciativa visava atender às demandas da Divisão de Produção da Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga. Ao tornar público o pregão, possibilitou-se que interessados no fornecimento e implantação do biodigestor pudessem participar do processo licitatório de acordo com as especificações e requisitos definidos no edital.

A Justificativa segundo o edital mencionado acima: Os biodigestores são projetados para se integrar perfeitamente às diversas atividades realizadas no meio rural, oferecendo benefícios significativos, como a geração de energia renovável, a reciclagem de nutrientes para as plantas e a melhoria do saneamento ambiental. Ao instalar o biodigestor, espera-se uma redução considerável no consumo de energia elétrica, trazendo benefícios econômicos e ambientais para a fazenda. Além disso, a instalação do equipamento traz outras vantagens notáveis:

1. Maior eficiência na remoção de resíduos orgânicos: Com apenas ajustes mínimos nos

métodos já utilizados, é possível obter uma remoção mais eficiente dos resíduos orgânicos, contribuindo para uma gestão mais eficaz desses materiais.

2. Estabilização da matéria orgânica e utilização como adubo: Durante o processo de digestão anaeróbica, a matéria orgânica é estabilizada, e o efluente resultante pode ser utilizado como adubo, desde que sejam seguidos os princípios e normas ambientais adequados para determinar as doses apropriadas.

3. Redução de odores desagradáveis: A implementação do biodigestor permite um melhor controle e tratamento dos resíduos, resultando em uma redução significativa dos odores indesejáveis normalmente associados a esses materiais.

4. Contribuição para a recuperação do solo e a despoluição do meio ambiente: Ao utilizar o biodigestor, a fazenda estará adotando práticas sustentáveis que ajudam a melhorar a fertilidade do solo e a diminuir a poluição ambiental.

Essas vantagens ressaltam o valor da instalação do biodigestor na fazenda, não apenas como uma solução para a gestão de resíduos, mas também como uma maneira de promover a eficiência energética, a sustentabilidade e a preservação do meio ambiente. O serviço de implantação do biodigestor na área da suinocultura da FAYS inclui as seguintes especificações, juntamente com o preço total estimado:

| Item | Descrição | Quantidade | Valor Estimado (R\$) |
|--|--|------------|----------------------|
| Geomembrana de PVC - Vinimanta (aditivada) | Espessura de 1,00 mm, cor branco avesso preto, pré-confeccionada | 1 conjunto | - |
| Geomembrana de PVC - Vinimanta (aditivada) | Espessura de 1,00 mm, cor preto, pré-confeccionada | 1 conjunto | - |
| Grupo gerador de 30 KVA | - | 1 peça | - |
| Queimador com painel | - | 1 peça | - |
| Sistema de válvulas | - | 1 conjunto | - |
| Sistema completo de fixação | - | 1 conjunto | - |
| Sistema completo de tubulação do vinil | - biodigestor | 1 conjunto | - |
| Sistema completo de tubulação da lagoa | - | 1 conjunto | - |
| Sistema completo de recirculação do vinil | - biodigestor | 1 conjunto | - |
| Projeto completo de obra civil | Planta baixa | 1 conjunto | - |
| Visita técnica - Locação e orientação | Para escavação | 1 visita | - |
| Visita técnica - Inspeção da obra civil | - | 1 visita | - |
| Visita técnica - Instalação do conjunto | Vinil do biodigestor | 1 visita | - |
| Visita técnica - Entrega da obra | Com treinamento, manual do proprietário e guia de operação do conjunto | 1 visita | - |

Figura 7 Componentes e Acessórios para o Biodigestor e Valores Estimados

Fonte: Edital do pregão de compra. Adaptado pelo autor. Obs.: Os valores estimados para cada item não foram fornecidos no edital.

Esses itens adicionais são essenciais para a instalação completa e adequada do biodigestor na área da suinocultura da FAYS. Eles incluem a tubulação da lagoa, o sistema de recirculação do vinil do biodigestor, o projeto completo da obra civil, bem como visitas técnicas para orientação, inspeção, instalação e treinamento, garantindo um processo eficiente e seguro. É importante ressaltar que os custos podem variar dependendo das especificidades do projeto, dos fornecedores envolvidos e das condições locais.

No ano de 2016, ocorreu uma visita técnica realizada por Jorge de Lucas Neto, representante da empresa Sansuy, responsável pela instalação do sistema de biodigestor. De acordo com o relatório disponibilizado pela fazenda, o sistema foi instalado na FAYS acima das instalações da suinocultura, e requer o bombeamento diário dos resíduos. Antes do bombeamento, os resíduos passam por caixas decantadoras que ajudam na remoção de areia e calcário. Observou-se que a caixa estava com um acúmulo excessivo de areia decantada, e a empresa recomendou a limpeza semanal, com acompanhamento regular.

A cúpula do sistema, assim como todo o conjunto, apresenta sinais de deterioração natural, o que também foi observado nas cintas de fixação. No entanto, não foram encontrados vazamentos ou furos aparentes na cúpula. Ao examinar o sistema de fixação das membranas, constatou-se que

os parafusos de aço inoxidável estavam em boas condições, mas as porcas de aço galvanizado e as chapas metálicas estavam em estágio avançado de degradação. As válvulas de alívio estavam em bom estado, mas precisavam de limpeza mais frequente, assim como a água do sistema, devido à presença de lodo.

A empresa Sansuy observou a remoção do painel de controle no queimador e recomendou a instalação de um novo painel, pois sem ele o queimador não funcionará adequadamente. No que diz respeito à lagoa após o biodigestor, a empresa relatou que o projeto como um todo foi bem implementado, mas destacou a necessidade de cuidados adicionais, como controle de ervas daninhas ao redor do conjunto.

O relatório propõe o aproveitamento do biogás de outras maneiras além do conjunto moto gerador, sugerindo o uso para aquecimento de água e dos leitões, embora a opção mais eficiente seja a produção de energia elétrica. Quanto ao biofertilizante produzido pela FAYS, a empresa constatou boa qualidade, sem odores característicos dos resíduos de suínos e sem a presença de moscas. Atualmente, o biofertilizante é utilizado no cultivo de cana-de-açúcar, mas a fazenda também possui uma área destinada ao pastejo de bovinos. Uma sugestão para agregar valor é utilizar o fertilizante nesse cultivo e adotar um sistema de cultivo rotacionado, dividindo a área em piquetes nos quais o gado permaneceria por períodos pré-determinados. Para isso, seria necessário implementar um sistema de fertirrigação.

O sistema em questão atualmente encontra-se em manutenção e os dados foram fornecidos pela fazenda com base no Termo de Referência de novembro de 2022: Modelo para Pregão Eletrônico, do Objeto: Contratação de serviço de manutenção do biodigestor e aquisição de equipamentos/máquinas para o transporte, tratamento e reaproveitamento dos dejetos visando atender as necessidades da Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga, conforme condições, quantidades e exigências estabelecidas no instrumento e seus anexos aprovado pela Cel Int Simone Cezar da Rocha Ordenadora de Despesas da FAYS. Os serviços abordados no termo contém manutenção do biodigestor a aquisição de materiais como revestimento para impermeabilização das lagoas, vigas e caixas de concreto, tubulações de PVC, bombas, registros, além de outros componentes como parafusos, cantoneiras e chapas de inox. Os benefícios do uso desses materiais na manutenção do sistema de tratamento de dejetos são discutidos, destacando-se a impermeabilização das lagoas, evitando vazamentos e contaminação do solo e água subterrânea,

bem como, a eficiência e durabilidade proporcionadas pelos materiais de alta qualidade e pré-confeccionados.

A tabela a seguir detalha os materiais de consumo necessários para a manutenção do sistema de tratamento de dejetos na FAYS, a fim de assegurar o correto funcionamento do sistema e a qualidade do tratamento dos dejetos. Com base nesses materiais, é previsto que o sistema de biodigestor retorne à operacionalidade após março de 2024.

| ETAPA | DESCRIÇÃO | PRAZO DIAS | VALOR | SIMULAÇÃO DE INÍCIO | TOTAL POR EXERCÍCIO |
|-------|--|------------|--|---------------------|---------------------|
| 1 | SERVIÇO DE LIMPEZA. 976-98 | 15 | R\$ 30.000,00 | 15/10/2023 | |
| 2 | SERVIÇO DE REMOÇÃO DAS LONAS. Mão de obra de remoção dos materiais existentes (lonas). (ITEM 2.2 DO ADENDO A). | 4 | R\$ 3.000,00 | 30/10/2023 | |
| 3 | FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UM NOVO SISTEMA DE DRENAGEM DE GASES. Membrana de revestimento para impermeabilização das lagoas. Geomembrana: Laminado de PVC, obtido por processo de calandragem, espessura 1,00 mm na cor preta, acoplada a geotêxtil, totalizando 1,30 mm de espessura final. O material será fornecido em módulos pré-confeccionados em fábrica para evitar perdas na soldagem em campo e proporcionar alta qualidade, otimizando a aplicação do material. Este material terá a função de revestimento do biodigestor e lagoas. (ITEM 1.1 DO ADENDO A). Mão de obra de instalação de um novo sistema de drenagem de gases sob a membrana de revestimento. (ITEM 2.3 DO ADENDO A). | 7 | R\$ 57.500,00 R\$ 5.000,00 | 3/11/2023 | |
| 4 | SERVIÇO DE READEQUAÇÃO CIVIL NECESSÁRIAS DO BIODIGESTOR E LAGOA (VIGAS, CAIXAS DE PASSAGEM E TUBULAÇÕES). Viga de concreto (20x30 cm). (ITEM 1.2 DO ADENDO A). Caixas de passagem de concreto (1 x 1 m). (ITEM 1.3 DO ADENDO A). Tubulação de PVC 8" (barra de 6 m). (ITEM 1.4 DO ADENDO A). Mão de obra de readequação civil nas partes do biodigestor e lagoa que se façam necessárias (vigas, caixas de passagem e tubulações). (ITEM 2.4 DO ADENDO A). | 30 | R\$ 0,00 R\$ 26.400,00 R\$ 4.500,00 R\$ 3.250,00 R\$ 20.000,00 | 10/11/2023 | |

| | | | | | |
|---|--|----|----------------|------------|----------------|
| 5 | FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO DE LODO NO BIODIGESTOR. | 7 | - | 10/12/2023 | R\$ 426.310,50 |
| | Tubulação de PVC 3" (barra de 6 m). (ITEM 1.5 DO ADENDO A). | | R\$ 3.360,00 | | |
| | Bomba helicoidal, bombeamento de efluente, vazão de 15 m3/hora, motor elétrico, trifásica. (ITEM 1.6 DO ADENDO A). | | R\$ 20.000,00 | | |
| | Registro de gaveta/esfera de 3". (ITEM 1.7 DO ADENDO A). | | R\$ 1.500,00 | | |
| | Mão de obra de instalação de um sistema de recirculação de lodo no biodigestor, através de tubulação de PVC 3, e bomba modelo Helicoidal (15m3/hora) e registros. (ITEM 2.5 DO ADENDO A). | | R\$ 5.000,00 | | |
| 6 | FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UM NOVO SISTEMA DE FIXAÇÃO DAS LONAS. | 7 | - | 17/12/2023 | R\$ 426.310,50 |
| | Parafusos com porca e arruela tipo L, em inox, medidas ½"x200mm. (ITEM 1.8 DO ADENDO A). | | R\$ 4.387,50 | | |
| | Cantoneiras em inox, medidas ¼" x 3m. (ITEM 1.9 DO ADENDO A). | | R\$ 3.000,00 | | |
| | Chapa de inox. (ITEM 1.10 DO ADENDO A). | | R\$ 4.500,00 | | |
| | Mão de obra de instalação de um novo sistema de fixação de lonas. (ITEM 2.6 DO ADENDO A). | | R\$ 3.000,00 | | |
| 7 | FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE NOVA CÚPULA DE BIODIGESTOR COM MATERIAL APROPRIADO, PVC FLEXÍVEL ADITIVADO AUTO EXTINGUÍVEL (NÃO PROPAGA CHAMA). | 5 | - | 24/12/2023 | R\$ 426.310,50 |
| | Cúpula de biodigestor com material apropriado, PVC flexível aditivado auto extingüível (não propaga chama). Geomembrana: Laminado PVC, obtido por processo de calandragem, com espessura de 1,00 mm na cor branco/preta. O material será fornecido em 1 (um) único módulo pré confeccionado em fábrica, para evitar perdas na soldagem em campo e proporcionar alta qualidade, otimizando a aplicação do material. Contém cintas de poliéster de alta tenacidade, para garantir maior resistência mecânica. Este material terá a função de cúpula do biodigestor, para contenção do gás produzido. Com aditivação especial própria para biogás, auto extingüível (não propaga chama). (Garantia de 5 anos). (ITEM 1.11 DO ADENDO A). | | R\$ 50.000,00 | | |
| | Mão de obra de instalação de nova cúpula de biodigestor com material apropriado PVC flexível aditivado auto extingüível. (ITEM 2.7 DO ADENDO A). | | R\$ 7.000,00 | | |
| 8 | CONFECCÃO SISTEMA DE RECEPÇÃO DE DEJETOS SUÍNO E BOVINO, COMPOSTO POR: TANQUE DE RECEPÇÃO DE DEJETOS COM CAPACIDADE DE 50 M3 EM ALVENARIA DE CONCRETO ARMADO (D= 5 M E H= 3M), ABRIGO PARA SEPARADOR DE SÓLIDO (LAJE ELEVADA) 3MX3M E PÁTIO PARA RECEPÇÃO DOS SÓLIDOS (PISO DE CONCRETO ARMADO FCK =20) 6 MX4M COM 15 MM DE ESPESSURA. | 30 | - | 29/12/2023 | R\$ 426.310,50 |
| | Tanque de concreto armado 50m3 em alvenaria (Diámetro= 5 m e altura= 3m). (ITEM 1.12 DO ADENDO A). | | R\$ 123.233,00 | | |
| | Laje pré moldada de 3mx3m. (ITEM 1.13 DO ADENDO A). | | R\$ 3.780,00 | | |
| | Piso de concreto armado, FCK 20, 6x4m com 15cm de espessura. (ITEM 1.14 DO ADENDO A). | | R\$ 22.900,00 | | |
| | Mão de obra de confecção do tanque de recepção de dejetos suíno e bovino. (ITEM 2.8 DO ADENDO A). | | R\$ 25.000,00 | | |

| | | | | | |
|--------------------------------------|--|------------|-------------------------|-----------------|-------------------------|
| 9 | FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA DE SEPARAÇÃO DE DEJETOS. | 30 | - | 28/1/2024 | R\$ 1.294.430,00 |
| | Agitador homogeneizador submersível (5.5 CV, trifásico) para tanque com capacidade de até 180 m3. (ITEM 1.15 DO ADENDO A). | | R\$ 30.000,00 | | |
| | Bomba submersa especial para dejetos, vazão 45 m3/hora, 5 CV, motor elétrico, trifásico. (ITEM 1.16 DO ADENDO A). | | R\$ 15.000,00 | | |
| | Separador de sólidos, 10 CV, em sistema de extrusão, vazão 45 m3/hora, com rosca helicoidal, comprimida em tela-filtro todos em inox 304. (ITEM 1.17 DO ADENDO A). | | R\$ 112.500,00 | | |
| | Painel de controle automático, modelo P/1 para comandar todos os equipamentos. (ITEM 1.18 DO ADENDO A). | | R\$ 7.500,00 | | |
| | Mão de obra de instalação do sistema de separação de dejetos. (ITEM 2.9 DO ADENDO A). | | R\$ 10.000,00 | | |
| 10 | FORNECIMENTO E INSTALAÇÃO DA TUBULAÇÃO E ACESSÓRIOS DE GÁS E QUEIMADOR. | 5 | - | 27/2/2024 | R\$ 1.294.430,00 |
| | Conjunto de tubulação e acessórios para biogás em aço inox, com instalação (mão de obra). (ITEM 1.19 DO ADENDO A). | | R\$ 11.590,00 | | |
| | Queimador para biogás, ignição automática com centelha elétrica consecutiva, com instalação (mão de obra). (ITEM 1.20 DO ADENDO A). | | R\$ 21.874,00 | | |
| 11 | FORNECIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA A BIOGÁS. | 60 | - | 3/3/2024 | R\$ 1.720.740,50 |
| | Grupo gerador a Biogás (75 KW). (ITEM 3 DO GRUPO 1 DO ADENDO A). | | R\$ 240.000,00 | | |
| | Instalações elétricas do quadro de comando e transferência (da geração até o ponto de entrega). (ITEM 2.10 DO ADENDO A). | | R\$ 15.566,00 | | |
| | Readequação da cabine de energia conforme normativa da concessionária local, incluindo medidores bidirecionais. (ITEM 2.11 DO ADENDO A). | | R\$ 18.100,00 | | |
| | Projeto aprovado na concessionária de energia. (ITEM 2.12 DO ADENDO A). | | R\$ 12.000,00 | | |
| | Comissionamento, Start-up e treinamento. (ITEM 2.13 DO ADENDO A). | | R\$ 8.000,00 | | |
| | Caminhão equipado com motor a diesel turbo intercooler 6 Cilindros (ITEM 4) | | R\$ 553.500,00 | | |
| | Distribuidor de adubo orgânico líquido com bomba vácuo anel líquido (ITEM 5) | | R\$ 166.000,00 | | |
| | Distribuidor de adubo, calcário, fertilizante e composto orgânico (ITEM 6) | | R\$ 72.800,00 | | |
| TOTAL | | 200 | R\$ 1.720.740,50 | 2/5/2024 | R\$ 1.720.740,50 |
| 6 MESES E 20 DIAS DE EXECUÇÃO | | | | | |

Figura 8 Material de Consumo para a Manutenção do Sistema de Tratamento de Dejetos na FAYS.

Fonte: Termo de Referência de novembro de 2022. Adaptado pelo autor.

A análise do projeto consiste na possibilidade de ampliar o biodigestor. Porém, para ampliar o projeto conforme foi proposto, é crucial garantir a funcionalidade do sistema vigente. Portanto, é de suma importância que a FAYS dedique recursos e esforços para manter funcional o sistema de tratamento de dejetos, a fim de garantir o correto funcionamento do sistema e a qualidade do tratamento dos dejetos. Somente assim será possível ampliar o projeto e promover um impacto positivo ainda maior no meio ambiente e na preservação dos recursos naturais, contribuindo para

um futuro mais limpo e sustentável.

Considerando um total aproximado de 1.200 matrizes suínas conforme informado em visita a Fazenda da Aeronáutica de Pirassununga, cada uma com uma potência de geração de biogás de 0,775 m³ por dia, seria possível produzir um volume total de 930 m³ de biogás por dia. Dividindo esse valor por 24 horas, tem-se uma produção de aproximadamente 38,75 m³ de biogás por hora. Multiplicando esse valor pela taxa de conversão de 1,625 KWh (6,5 KWh/m³ x 0,25%), obteríamos um total de 62,96 KW/h de energia. Isso significa que, com base nesses dados, seria possível gerar uma quantidade significativa de energia elétrica a partir do tratamento dos dejetos suínos e aproveitamento do biogás no âmbito militar.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Em considerações finais, é evidente que a preocupação com o desenvolvimento sustentável e a implementação de soluções energéticas limpas está ganhando destaque na sociedade acadêmica mundial. A busca por progresso econômico aliado a práticas sustentáveis tem impulsionado a realização de pesquisas com o objetivo de reduzir os custos e promover a geração de energia de maneira mais eficiente. Além da questão do uso de combustíveis fósseis, a crescente geração de resíduos sólidos e a necessidade de destinação adequada também são preocupações atuais. Nesse contexto, a pesquisa desempenha um papel fundamental ao colaborar para a conservação do meio ambiente e a redução dos custos relacionados à energia. No caso específico da FAYS, a manutenção do sistema de tratamento de dejetos é essencial para assegurar seu correto funcionamento e a qualidade do tratamento dos dejetos. Isso contribui para a preservação do meio ambiente e promove a autossuficiência da instituição militar em situações adversas. O biodigestor mostra-se como uma alternativa viável, desde que os riscos para a segurança operacional sejam avaliados e mitigados de forma adequada.

No cenário brasileiro, é notável o potencial do país tanto na produção de energia quanto no tratamento de resíduos orgânicos. O Brasil tem investido em pesquisas científicas nessa área e desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de tecnologias mais eficientes e sustentáveis. A análise da quantidade e distribuição geográfica dos grupos de pesquisa em biodigestores e biogás no Brasil evidencia o crescimento desse campo. Com 85 grupos de pesquisa cadastrados, distribuídos por diferentes regiões do país, há um enfoque especial nas regiões Sudeste

e Sul. Esses grupos estão contribuindo para o avanço do conhecimento e o desenvolvimento de soluções mais eficientes. Faz-se necessário continuar o incentivo à pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias sustentáveis no Brasil, visando à promoção do desenvolvimento econômico aliado à proteção ambiental.

O presente artigo destacou a importância da manutenção do sistema atual do biodigestor existente na Academia da Força Aérea, como etapa fundamental para a ampliação desse sistema. A pesquisa bibliográfica foi utilizada como base para embasar o estudo, com foco na análise de conteúdo relacionado ao biodigestor, energia elétrica e sua aplicação no âmbito militar. Ao longo do trabalho, foram discutidos os resultados e as discussões sobre a purificação do gás no processo de obtenção do biogás, ressaltando a importância da remoção de contaminantes como dióxido de carbono, sulfeto de hidrogênio e amônia. Além disso, foram abordados os riscos para a segurança operacional, tanto para a saúde humana quanto para o meio ambiente e as questões financeiras relacionadas à produção de biogás. A segurança no manuseio do produto químico "sol. sulfeto de hidrogênio saturada" foi discutida, destacando-se as medidas de proteção necessárias, o armazenamento adequado, o uso de equipamentos de proteção individual e a ventilação adequada dos ambientes. Foi enfatizada a importância do monitoramento das tubulações e reservatórios do biodigestor para prevenir vazamentos e excesso de pressão, além da instalação de corta-chamas e registros para separar o reator anaeróbio da câmara de gás, visando a segurança do sistema.

No que diz respeito aos benefícios da geração de energia elétrica por meio do biodigestor, destacou-se a obtenção de receita, a redução dos custos com energia e a possibilidade de créditos de energia, regulamentados pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). No entanto, também foram discutidos os custos relacionados à instalação e manutenção do sistema de geração de eletricidade no biodigestor.

Em suma, para ampliar o biodigestor existente na Academia da Força Aérea, é crucial realizar a manutenção adequada do sistema atual. A produção de energia sobressalente e a importância estratégica da autossuficiência foram abordadas, destacando-se a necessidade de conhecimento e treinamento dos colaboradores, o cumprimento das regulamentações de segurança e a gestão adequada dos resíduos orgânicos utilizados na produção de biogás. Em conclusão, a ampliação do biodigestor na Academia da Força Aérea requer ações que garantam a segurança operacional e a manutenção do sistema atual, a eficiência na geração de energia elétrica e a

conformidade com as normas ambientais e de segurança. Com uma abordagem adequada, o biodigestor pode se tornar uma fonte sustentável e econômica de energia, contribuindo para a autossuficiência da organização militar.

REFERÊNCIAS

ABCS –Associação Brasileiro dos Criadores de Suínos. **Manual brasileiro de boas práticas agropecuárias na produção de suínos**. Elaboração de Conteúdo Técnico: Alexandre César Dias. Brasília DF: ABCS, MAPA, 2011. 140p

ANEEL. **Diretoria. Micro e Minigeração Distribuída: Sistema de Compensação de Energia Elétrica. Cadernos Temáticos. Brasília: ANEEL, 2014.** Disponível em: http://www.aneel.gov.br/do_cuments/656877/14913578/Caderno+tematico+Micro+e+Minigera%C3%A7%C3%A3o+Distribuida+-+2+edicao/716e8bb2-83b8-48e9-b4c8-a66d7f655161 . Acesso em 26 jun 2023.

API de compras governamentais. Compras Dados Gov. <https://compras.dados.gov.br/licitacoes/doc/licitacao/12006505000422011> . Acessado em 21 de junho de 2023.

AZEVEDO, P.J.S. **Uma análise dos efeitos da crise econômica-financeira sobre as políticas de incentivo às energias renováveis**. [Dissertação] Universidade do Porto, 2013.

BARRERA, P. **Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural**. 3ª ed. São Paulo: Ícone, 2011.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. **PROBIOGÁS. Guia técnico de aproveitamento energético de biogás em estações de tratamento de esgoto**. Brasília, DF: Projeto Brasil, 2015a. 183 p. Disponível em: <http://www.cidades.gov.br/images/stories/ArquivosSNSA/probiogas/probiogasguia-etes.pdf>. Acesso em: 25 fev. 2023.

BRASIL, Ministério do Trabalho. **Normas Regulamentadoras**. Brasília, DF: 2015b. Disponível em:

<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>

Acesso em: 27 jan. 2023.

CENTRO PARA CONSERVAÇÃO DE ENERGIA -CCE. **Guia técnico do biogás**. Algés:JE92. Projetos de Marketing Ltda, 2000.

CERVI, R. G.; ESPERANCINI, M. S. T.; BUENO, O. C. **Viabilidade econômica da utilização do biogás produzido em granja suinícola para geração de energia elétrica**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.5, p.831-844, 2010.

CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG. 379p, 2007.

CNPq. (2015). **Grupos de pesquisa em biodigestores e biogás no Brasil**. Recuperado em 06 de

janeiro de 2023, de

<https://www.gov.br/cnpq/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/programas/rhae/2-e-3-edicoes-catalogo-de-projetos-67-2008-e-62-2009.pdf/view> e

http://dgp.cnpq.br/dgp/faces/consulta/consulta_parametrizada.jsf. Acesso em: 06 de janeiro de 2023.

COSTA, D.F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás do tratamento de esgoto**. 2006. 176 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

DEUBLEIN, D. & STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: An Introduction**. 2^a. ed. Weinheim: Wiley-VCH. 443 p, 2008.

EDUARDO, C.; MOREIRA, S. **Fontes alternativas de energia renovável, que possibilitam a prevenção do meio ambiente**. Revista de Divulgação do Projeto Universidade PETROBRAS/IF Fluminense, v. 1, p. 397-402, 2010.

ESPERANCINI, M.S.T.; COLEN, F.; BUENO, O. de C.; PIMENTEL, A.E.B.; SIMON, E.J. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do Estado de São Paulo**. Revista de Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, 2007.

FASOLIN, L. B.; KAVESKI, I. D. S.; CHIARELLO, T. C., MARASSI, R. B.; HEINN, N. **Relação entre o Índice de Sustentabilidade e os Indicadores Econômico-financeiros das empresas de energia brasileiras**. Revista em Gestão, Educação e Tecnologia, (REGET). v. 18, n. 2. Mai-Ago, p. 955-981, 2014.

FATMA - FUNDAÇÃO DO MEIO AMBIENTE. **Instrução Normativa n. 11**, Suinocultura. Florianópolis, 2014. 37p. Disponível em:

<http://www.fatma.sc.gov.br/ckfinder/userfiles/arquivos/ins/11/IN%2011%20Suinocultura.pdf>

Acesso em: 25 jan. 2023.

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.

FRANCO, M. MARTINS & PAULO A.V. DE OLIVEIRA. **Análise econômica da geração de energia elétrica a partir do biogás na suinocultura**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.31, n.3, p.477-486, maio/jun, 2011.

FREITAS, G.C.; DATHEIN, R. **As energias renováveis no Brasil: uma avaliação acerca das implicações para o desenvolvimento socioeconômico e ambiental**. Revista Nexos Econômicos, v. 7, n. 1, p. 71-94, 2013.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. **The anaerobic digestion of solid organic waste**. Waste Management, v. 31, n. 8, p. 1737-1744, 2011.

KHAN, M. I., AL-SHANNAQ, R., & HAIDER, M. A. **Biogas purification technologies: Current**

- progress and future challenges. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 100, 57-73,2019.
- KOTHARI, R.; PANDEY, A. K.; KUMAR, S.; TYAGI, V. V.; TYAGI, S. K. Different aspects of dry anaerobic digestion for bio-energy: an overview. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 174–195, 2014
- MACIEL, F.J. **Estudo da geração, percolação e emissão de gases no aterro de resíduos sólidos da Muribeca/PE**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco,173 p., 2003.
- MALANCONI, R. & CABRAL, R.C. **Impactos e Benefícios da Produtividade de Biogás em Aterro Sanitário**. RevInter Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade, v. 5, n. 2, p. 135-158, 2012.
- MARCHIORO, V.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C.; GASPARETO, T. C.; TREICHEL, H.; KUNZ, A. Poultry litter solid state anaerobic digestion: effect of digestate recirculation intervals and substrate/inoculum ratios on process efficiency. **Frontiers in Sustainable Food Systems**, v. 2, p. 1-10, 2018
- OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. **Manual de treinamento em biodigestão**. Salvador: Instituto Winrock – Brasil, 2008
- PRODUÇÃO DE SUÍNOS MANTÉM CRESCIMENTO EM 2022.Suinocultura industrial, São Paulo, 25 de Ago.de 2022. Disponível em : <
<https://www.suinoculturaindustrial.com.br/imprensa/producao-de-suinos-mantem-crescimento-em-2022/20220825-083752-k478>>. Acesso em: 18 de jun, de 2023
- RIBEIRO, L. R., NETO, J. R. A., & LELIS, D. C. C. **Residência sustentável: Proposta de uma habitação ecoeficiente. Revista Eletrônica de Arquitetura e Urbanismo**, 10(1), 124-138,2015.
- RIBEIRO, M. F. S. **Sistemas de bioenergias**. Curitiba: Contentus, 2020.
- SALOMÃO, R. . **Biodigestores: tipos, funcionamento e aproveitamento agrícola do biogás**. Embrapa Agrobiologia, Circular Técnica 9,(2007).
- SILVA, M.S.T.; BRITO, S.O. **Impactos ambientais associados á construção de empreendimentos elétricos no setor de distribuição de energia**. Revista Faroeciância, v. 1, n. 1, p. 266-280, 2016.
- SOUZA, S.N.M.; PEREIRA, W.C.; NOGUEIRA, C.E.C.; PAVAN, A.A.; SORDI, A. **Custo da eletricidade gerada em conjunto motor-gerador utilizando biogás da suinocultura**. Acta ScientiarumTechnology, Maringá, v.26, n.2, p.127-133, 2004.
- STOKES, J.R.; RAJAGOPALAN, R.M.; STEFANOEU, S.P. **Investment in a methane digester: An application of capital budgeting and real options. Review of agricultural economics, Amsterdam**,v.30, n.4, p.664-676, 2008.
- XAVIER, C. A. N; LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo**. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.30, n.2, p.212-223, mar./abr. 2010.