



ANÁLISE PRODUTIVA DE BIOGÁS E FERTILIDADE DO DIGESTATO ATRAVÉS DOS DEJETOS DE OVINOS E DA SILAGEM DE MILHO

Vinicius Do Carmo

Willian Ataides Stadler

Prof. Dra. Mônica Jasper

Prof. Ma. Kamila Santana Rogenski

RESUMO

A biodigestão é o processo amplamente utilizado nos sistemas de suinocultura, bovinocultura e avicultura para o correto manejo e destinação dos dejetos animais e outros resíduos, contribuindo para a redução dos riscos de contaminação ao ambiente. O presente estudo analisou a possibilidade de utilização da biodigestão na ovinocultura e na silagem de milho visando mensurar o seu potencial na produção do biogás. A coleta de dados de pesquisa envolveu pesquisas bibliográficas, visita técnica à uma unidade produtora, e o desenvolvimento de um sistema de batelada com esterco ovino e silagem de milho, no intuito de determinar a sua viabilidade na produção de biogás, através de análises laboratoriais e instrumentais. Além disso, também estudou-se, a aplicação do digestato em mudas de alface. Os experimentos se iniciaram no dia 14 de julho de 2024, com a adição da biomassa nos biodigestores construídos para este fim, o tempo de digestão total foi de 60 dias. Durante esse tempo foram observados os seguintes processos: produção de gás mediante a temperatura diária, concentração de metano e a obtenção do digestato produzido. Na segunda etapa da pesquisa, em uma casa de vegetação o digestato (resultado da biodigestão do esterco ovino), serviu para o desenvolvimento de mudas de alface como biofertilizante. Para isso, utilizou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial $3 \times 5 + 1$ (esterco ovino *in natura*, esterco ovino biodigerido e silagem biodigerida x doses de 5, 10, 20, 30 e 40g + testemunha). Os resultados evidenciaram que o rendimento produtivo de biogás para esterco ovino garante médias produtivas de $0,0323 \text{ m}^3$ de biogás por kg de esterco adicionado desempenho promissor para o digestato produzido. Também foi possível verificar que o subproduto do biodigestor de esterco ovino, como fertilizante em alfaces, obteve resultados similares ao esterco *in natura* favorecendo o desenvolvimento da planta, mas toxidade nos tratamentos com digestato de silagem, com isso o biofertilizante de esterco ovino pode ser considerado como um subproduto viável à agricultura.

Palavras-chave: Experimentação. Gás. Biofertilizante. Energia Renovável.



PRODUCTIVE ANALYSIS OF BIOGAS AND FERTILITY OF DIGESTATE THROUGH SHEEP MANURE AND CORN SILAGE

ABSTRACT

Anaerobic digestion is a process widely used in swine, cattle, and poultry systems for the proper management and disposal of animal waste and other residues, helping to mitigate environmental contamination risks. This study analyzed the potential of using anaerobic digestion in sheep farming and corn silage to assess its capacity for biogas production. The research data collection involved bibliographic research, a technical visit to a production unit, and the development of a batch system with sheep manure and corn silage to determine its viability in biogas production through laboratory and instrumental analysis. Additionally, the application of digestate to lettuce seedlings was also studied. Experiments began on July 14, 2024, with the addition of biomass to biodigesters constructed for this purpose, with a total digestion time of 60 days. Throughout this period, the following were monitored: gas production relative to daily temperature, methane concentration, and the production of digestate. In the second stage of the research, in a greenhouse, digestate (the result of sheep manure biodigestion) was used as a biofertilizer to promote the growth of lettuce seedlings. A completely randomized design was used in a 3 x 5 +1 factorial scheme (raw sheep manure, biodigested sheep manure, and biodigested silage x doses of 5, 10, 20, 30, and 40g + control). The results demonstrated that the biogas yield from sheep manure achieved an average of 0.0323 m³ of biogas per kg of added manure, showing promising performance for the produced digestate. It was also observed that the sheep manure biodigester byproduct, when used as fertilizer for lettuce, produced similar results to raw manure, supporting plant development. However, toxicity was noted in treatments with silage digestate, suggesting that sheep manure biofertilizer can be considered a viable agricultural byproduct.

Keywords: Experimentatio. Gas. Biofertilizer. Renewable Energy.



1 INTRODUÇÃO

Diante do enorme desafio global do combate às alterações climáticas, faz-se necessário incentivar o uso de fontes de energia renováveis. Além das questões ambientais, o domínio dos combustíveis fósseis enfrenta cada vez mais obstáculos, como flutuações de preços a médio e longo prazo e tendências de declínio da oferta. Neste contexto, o biogás torna-se uma das alternativas mais sustentáveis, representando um estágio avançado de desenvolvimento tecnológico em escala industrial (MILANEZ et al., 2018).

A biodigestão é um campo que tem atraído muita atenção nos últimos anos, isso se deve ao seu alto potencial para processamento de resíduos orgânicos, geração de energia e produção de biofertilizantes tendo implicações importantes para a sustentabilidade ambiental e agrícola.

A descoberta da produção do biogás de resíduos remonta o século XVII, onde Jan Batista Helmont observou e provou a existência dos gases e sua inflamabilidade no processo de decomposição na ausência de ar (LIMA, 2020 *apud*. SILVA, 2022). No ano de 1776 o italiano Alessandro Volta, conseguiu determinar com sucesso a composição química do gás combustível, resultantes da decomposição de restos vegetais em ambientes confinados, conhecidos a partir dessas evidências como metano (CH₄) após dois anos de pesquisas e experimentos (VIEIRA, 2017).

O biogás é composto pela mistura de gás metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). Desse modo, que o biogás seja produzido a partir de materiais orgânicos faz-se necessário diversos grupos de microrganismos, que atuam juntamente com uma série de fatores, afetando diretamente na eficiência do processo como o seu pH, temperatura e tipo de substrato, bem como na composição final do biogás produzido (KARLSSON *et al.*, 2014).

Segundo ESALQ (2013), a composição do biogás pode variar conforme o tipo e quantidade de biomassa empregada, além de outros fatores como os climáticos e o dimensionamento do biodigestor, porém sua composição básica ideal não deve ter grandes variações, conforme pode ser observado na Tabela 1.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Tabela1. Composição geral do biogás.

TIPO DE GÁS	COMPOSIÇÃO NO BIOGÁS EM %
Metano (CH ₄)	55 a 70
Gás Carbônico (CO ₂)	30 a 45
Outros gases	Traços

Fonte: Adaptado de DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008b.

Segundo KARLSSON *et al.*, (2014) diversos materiais orgânicos podem ser decompostos em um biodigestor, mas alguns possuem maior potencial que outros, visto que fatores como quantidade de substrato, temperatura, tempo de retenção, entre outros ~~que~~ influenciam no pré-tratamento do material na produção de biogás. Essas influências interferem na maneira como o material será digerido ou não na presença de outro substrato, já que muitas vezes é adicionado inóculo para acelerar o processo de decomposição. A presença de substâncias tóxicas e lignina, que não são metabolizadas durante a digestão anaeróbica, também limita a produção de biogás.

Deste modo todo material é passível de ser utilizado em unidades de biodigestão pela ação de diferentes tipos de microrganismos são denominadas de biomassa. Esta pode ser obtida tanto de vegetais herbáceos e lenhosos, como de resíduos orgânicos de diferentes origens, e biofluidos, a exemplo dos óleos vegetais (ARAÚJO, 2017).

Neste contexto da produção de biomassa oriunda de ovinos no Brasil. Segundo Vieira (2019) a criação de ovinos em território nacional ocorre tanto de forma extensiva ou semiextensiva, como também de modo mais tecnificado, ou seja, os animais são confinados ou semi-confinados e por meio de a uma série de técnicas e cuidados, busca-se a manutenção das condições sanitárias do rebanho. Neste modelo de produção, o esterco deve ser retirado periodicamente dos estábulos, sendo acondicionado em esterqueira, que embora seja um local adequado para esta função, fica ao ar livre liberando diversos gases de efeito estufa, além de favorecer o aumento e proliferação de insetos e outros animais, doenças, além de forte odor. Assim, como observado na Tabela 2, há existência de um potencial a ser explorado na produção de biogás oriundo desta biomassa, além de propiciar a geração do digestato, o qual é definido por EMBRAPA (2019), como o material que passou pelo processo de biodigestão anaeróbica, o qual possui as suas características fertilizantes muito semelhantes a de um dejetos maturado.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

De acordo com os dados do censo agropecuário realizado pelo IBGE (2022), o Paraná possui 550.564 cabeças de ovinos, as quais estão distribuídas principalmente nos campos gerais e centro-sul do Estado.

CARDOSO & SILVA (1995) definem silagem como toda a forragem verde, succulenta, conservada por meio de um processo de fermentação anaeróbica, na qual mantém-se seu o valor nutritivo na silagem. O processo descrito é semelhante ao da forragem verde.

No contexto da produção de biomassa como fonte energética o milho (*Zea mays* L.), é atualmente a cultura que apresenta a maior relevância mundial na produção de biogás, por sua alta produção de matéria seca, composição química e elevada produção de metano (Windpassinger et al. 2015; Wannasek et al. 2017; Samarappuli & Berti 2020 *apud*. BEM, 2021). A exemplo da Alemanha, que atualmente faz uso de 50% da sua terra para a produção de biogás, cultivando milho, devido seu alto rendimento, situado entre 13 e 23 t de MS/ha (WÜNSCH; GRUBER; CLAUPEIN, 2012).

A produção do biogás oriundo de culturas energéticas, como cereais em geral como o caso do milho e do sorgo, as quais podem serem realizadas a partir da matéria prima *in natura* ou ensilada, após o processo de fermentação em silo (BEM, 2021).

Na região dos Campos Gerais, no Paraná, a produção de silagem atualmente tem como principal objetivo a nutrição animal. Conforme FUNDAÇÃO ABC, (2022) por meio da realização da análise produtiva de MS/ha considerando a safra verão e analisando 45 híbridos obtendo a produtividade máxima de 33 t MS/ha e mínima de 24 t MS/ha.

Segundo KUNZ & OLIVEIRA (2006) a capacidade da geração de biogás está ligada a vários fatores, dentre eles a dieta fornecida aos animais bem como as características de cada sistema digestivo, assim ocasionando em diferentes características dos resíduos de modo a proporcionar distintas potencialidades no sistema de produção de biogás, conforme é possível evidenciar nos dados da Tabela 2. A geração de biogás descrita por BARROS (2021), via resíduos vegetais em geral são capazes de gerar 0,04 m³/kg do gás, onde em geral cada metro cúbico de biogás equivale a 0,66 litros de diesel ou 0,7 litros de gasolina, com poder calorífico entre 5.000 e 7.000 kcal/m³ de gás. Conforme FRIEHE; WEILAND; SCHATTAUER (2010), indicam a produção de biogás oriundo da silagem de milho variando entre 170 a 230 Nm³/t da biomassa.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Tabela 2. Expectativa de produção de biogás por biomassa

Biomassa utilizada (Dejetos)	Produção de Biogás m³.t⁻¹ (material seco)	Gás metano produzido %
Bovinos	270	55
Suínos	560	50
Equinos	260	Variável
Ovinos	250	50
Aves	285	Variável

Fonte: SGANZERLA, (1983), adaptado por SANTOS; JUNIOR, (2013).

Destaca-se que na composição do estrume líquido de todas as espécies animais pode conter substâncias estranhas que podem ainda serem processadas na planta de biogás, como os resíduos de forragem, porém a entrada de materiais indesejados como a areia de materiais minerais presentes na ração de suínos e aves, serragem, solo, pele e pelos da cauda, cerdas e penas, além de cordas, pedras, plásticos, entre outros materiais, os quais são indesejados e prejudicam a eficiência da fermentação do o estrume líquido (DEUBLEIN & STEINHAUSER, 2008a), este que determina também a produção de diferentes fontes de biomassa (Tabela 3).

Tabela 3. Composição e produção de biogás conforme origem.

Biomassa utilizada	Matéria seca (%)	Produção de Biogás m³.kg⁻¹
Estrume líquido bovino	6 – 11	0,1 - 0,8
Estrume bovino fresco	25 – 30	0,6 - 0,8
Estrume líquido suíno	3 – 10	0,3 - 0,8
Estrume suíno	20 – 25	0,27 - 0,45
Estrume ovino fresco	18 – 25	0,3 - 0,4
Estrume de frango	10 – 29	0,3 - 0,8

Fonte: Adaptado de DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008a.

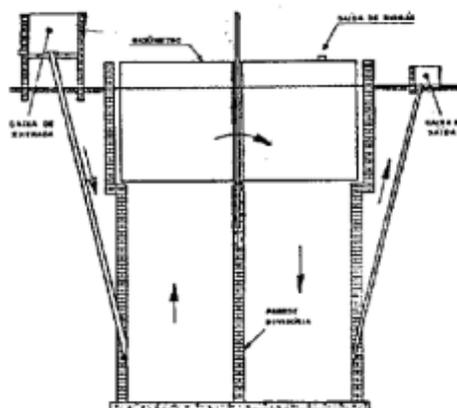
Dentre as potencialidades apontadas para a o processo de biodigestão anaeróbica por meio de biodigestores, são o fornecimento de combustível por meio do biogás, tanto para geração de energia elétrica, térmica, como para o uso em maquinários e veículos, fornecimento

de nutrientes por intermédio do biofertilizante gerado além da redução da poluição do meio por patógenos, entre outros. Além de ser uma alternativa que utiliza de um pequeno espaço para sua instalação e permitir um menor tempo de detenção hidráulica. Outro ponto observado é a ser geração de créditos de carbonos para atividade que reduzem sua emissão de gases do efeito estufa (PEREIRA, 2005; SANTOS & JUNIOR, 2013).

Conforme ESALQ (2013) os biodigestores podem ser classificados pelo seu tipo de abastecimento, como os do tipo Batelada - que consiste em um recipiente fechado de abastecimento único até que seja cessada a sua produção de biogás - tendo maior utilização em granjas avícolas de corte, como o sistema contínuo – recipientes com um sistema de entrada orgânico a ser processado e da saída de material que já foi processado de maneira diária - tendo uma maior utilização nos sistemas de produção de bovinos e suínos que possuem uma maior regularidade no fornecimento de dejetos para o sistema. O sistema semi-contínuo, em geral, possui as mesmas características do sistema contínuo porém o seu abastecimento ocorre em períodos maiores de tempo sem um período fixo de tempo entre estas.

Estes também podem ser classificados pelos seus modelos, sendo o modelo Indiano – tendo sua estrutura em alvenaria e com campânula metálica (Figura 1) selada por água ou pela solução de biomassa que permite se deslocar mantendo a pressão do gás produzido no interior da estrutura. A parede divisória central tem como função permitir com que o material circule em todo interior da estrutura (DEGANUTTI *et al.*, 2002).

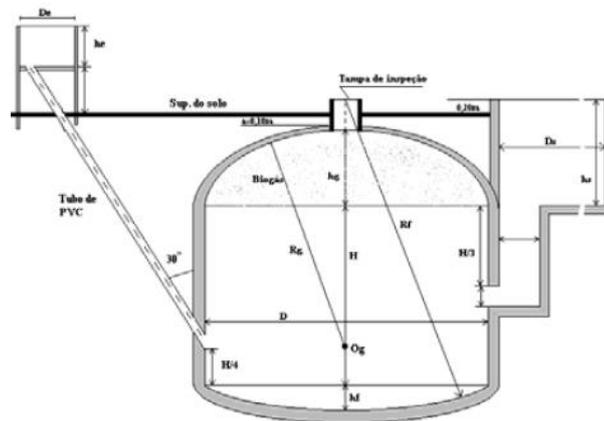
Figura 1 – Biodigestor do tipo Indiano



Fonte: ESALQ, 2013.

Para o modelo Chinês, sua estrutura é toda em alvenaria (Figura 2), de menor custo de instalação, necessitando de um abastecimento contínuo de biomassa. Porém, devido as características climáticas e do solo brasileiro, podem ocorrer constantes rachaduras ocasionando o vazamento de gás, não sendo recomendada para estruturas de grande porte (ESALQ, 2013).

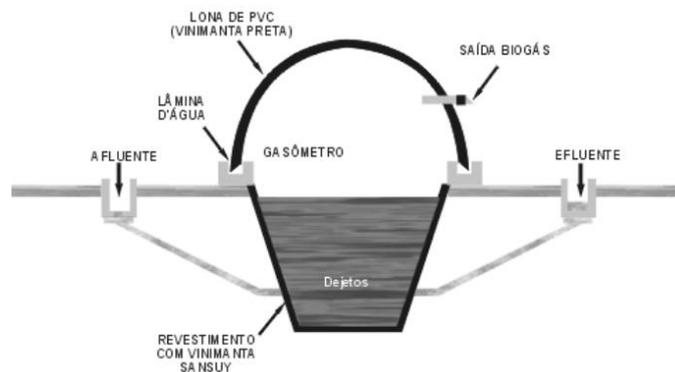
Figura 2 – Biodigestor do tipo Chinês



Fonte: DEGANUTTI et al., 2002.

O modelo canadense, mais comumente encontrado nas propriedades rurais brasileiras devido ao seu baixo custo e facilidade de implantação, é construído em lona, podendo comportar grandes volumes de dejetos (ESALQ, 2013).

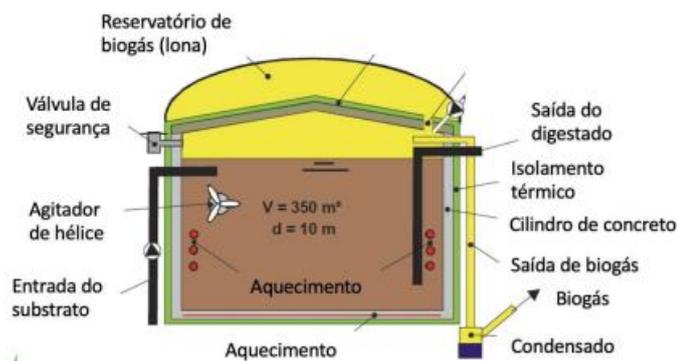
Figura 3 – Biodigestor do tipo Canadense/ Lagoa Coberta



Fonte: ESALQ, 2013.

Biodigestor do tipo CSTR (*Continuous Stirred Tank Reactor*) ou “Alemão” - Figura 4 - consiste em um tanque de agitação completa e contínua, com sistemas próprios de automação, visando a máxima eficiência dos microrganismos digestores, comportando uma maior concentração de sólidos em relação aos anteriores, porém este é o modelo com maior valor agregado para implantação.

Figura 4 – Biodigestor CSTR/ “Alemão”.



Fonte: AZEVEDO, 2021.

Visando o correto desenvolvimento dos experimentos, foi realizada uma visita técnica em uma propriedade na cidade de Castro, PR. A propriedade conta com área de produção agrícola, especialmente voltada para a produção e comercialização de pré-secado, além da produção pecuária com suínos. Para melhor aproveitamento dos dejetos dos suínos, a propriedade utiliza da tecnologia de biodigestão através de biodigestor do tipo CSTR (Figura 5). A visita para a coleta de dados na referida propriedade proporcionou a compreensão da dinâmica da produção e dos mecanismos que favorecem a biodigestão.

Figura 5 – Biodigestor do tipo CSTR visitado na cidade de Castro – Pr.



Fonte: MAPA, 2023.

No dia da visita o biodigestor estava em manutenção, o que permitiu observar o seu interior (Figura 6). Foi possível observar que a rede ou malha suporte que tem um papel fundamental no processo de dessulfuração, pois serve como suporte para a precipitação do enxofre removido no processo (COLTURATO, 2015). O biodigestor ~~Este~~ também possui controle automatizado por software e sensores internos, com controle de temperatura (máxima e mínima) com sistema de aquecimento, gerenciamento do agitador (velocidade e ciclos), sistemas de bombeamento próprio, sistema de alívio, gerenciamento remoto e sistema de gerador.

Figura 6 – Interior do biodigestor do tipo CSTR visitado na cidade de Castro – Pr.



Fonte: Os autores, 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

O processo de biodigestão, independente de qual biodigestor seja utilizado para isto, - bem como os subprodutos gerados no processo - está alinhado com vários Objetivos de Desenvolvimento Sustentável, as ODS (ONU, 2024). Entre elas, destacam-se a ODS 7 - Energia Acessível e Limpa, de modo que esta é uma fonte de energia renovável que pode garantir o acesso a serviços de energia sustentável e de baixo custo, a ODS 12 - Consumo e Produção Responsáveis, reduzindo a quantidade de resíduos orgânicos descartados, promovendo a gestão sustentável de resíduos além de contribuir para a economia circular, aproveitando resíduos para produzir energia e fertilizantes, a ODS 13 - Ação Contra a Mudança Global do Clima, com a redução da emissão de gases de efeito estufa (GEE), pois o biogás gerado por este processo é uma alternativa mais limpa quando comparada ao uso de combustíveis fósseis comuns, além de evitar a liberação direta do gás metano diretamente na atmosfera, a ODS 15 - Vida Terrestre, contribuindo para a gestão sustentável transformando resíduos orgânicos em novos recursos.

A produção de biogás, em território nacional, relacionada a fontes agropecuárias, segundo dados da CIBIOGÁS (2022), correspondeu a 295,93 Mi m³/ ano. No Brasil, 686 plantas de produção (instalações que produzem biogás através da decomposição anaeróbica de matéria orgânica), tendo fontes relacionadas a agropecuária como substrato, estão em operação, além de outras 19 em processo de implantação ou reformulação/reforma. Dasquelas em operação, no Paraná, estão presentes 136 plantas e com produção anual de 51,34 Mi m³, onde 67% da produção do Estado corresponde a plantas de pequeno porte.

Para o estabelecer de definições, critérios, procedimentos e diretrizes para licenciamento ambiental de biodigestores, para fins de tratamento de efluentes e de resíduos orgânicos, visando o aproveitamento energético de biogás no Estado do PARANÁ (2021), estabeleceu a resolução SEDEST 08 a qual trata do assunto no Estado.

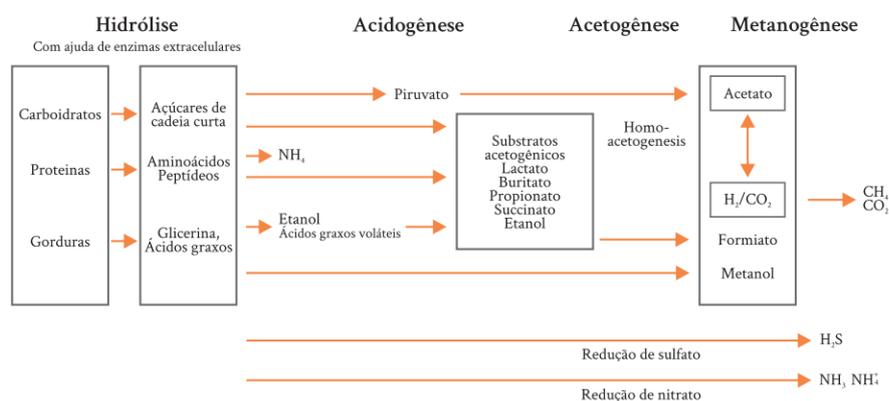
Segundo MILANEZ & GUIMARÃES (2018), o principal método de produção do biogás é a quebra biológica de material orgânico (M.O.) na ausência de oxigênio, conhecida como digestão anaeróbica. Em plantas industriais, os microrganismos digerem a matéria-prima em um reator controlado, produzindo biogás com 50% a 70% de metano.

Sobre os elementos mais importantes resultantes da degradação bioquímica da M.O. conforme PESCADOR, (2001) são os ácidos voláteis de cadeia curta, como os ácidos fórmico, acético, propiônico, butírico, além dos ácidos valéricos e isovalérico em menor proporção, visto

que eles apresentam compostos intermediários que produzem grande parte do metano por meio da transformação por microrganismos metanogênicos. Os demais processos envolvidos podem ser observados na Figura 7.

Sabendo-se que a energia elétrica é um dos insumos mais importantes nos vários setores da produção agropecuária, e sendo assim quaisquer problemas no seu fornecimento, afetam diretamente a atividade. Segundo ANÍBAL (2024), dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) apontam para um aumento de 23,6% nas interrupções de distribuição de energia registradas no Paraná em 2023, em relação ao mesmo período observado (último quadrimestre) de 2022. Diante das incertezas energéticas no Estado principalmente em unidades de produção animal, o uso do sistema de biodigestão vem como alternativa trazendo uma segurança energética, possibilidade do uso como energia térmica, além da venda para a companhia de energia elétrica do excedente. Além disso, o biofertilizante gerado que pode ser utilizado tanto na propriedade como na venda para terceiros, dando um destino correto a todo dejetos gerado pela atividade.

Figura 7 – Processos envolvidos na digestão anaeróbia.



Fonte: AMARAL; STEINMETZ; KUNZ (2019) adaptado de DEUBLEIN; STEINHAUSER (2008).

Conforme NICOLOSO et al., (2019) a aplicação qualquer fonte de fertilizantes ao solo, sendo ela de origem mineral ou orgânica, visa o suprimento da demanda de nutrientes das culturas agrícolas de modo que estas expressem o seu máximo potencial produtivo. Assim, a reciclagem dos resíduos orgânicos, entre eles os oriundos do processo de biodigestão como



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

fonte de nutrientes para a agricultura cada vez mais tem se apontado uma alternativa técnica e viável economicamente, desde que corretamente manejado e observado a legislação vigente.

Deste modo, visando observar a viabilidade do uso e bem como a resposta em cultivos foi utilizada a cultura da alface Americana (*Lactuca sativa* L.) que conforme HENZ; SUINAGA, (2009) é uma planta anual e oriunda de regiões de clima temperado, pertencente à família Asteracea, onde grande maioria da cultivares de alface desenvolvem-se bem em climas amenos, especialmente no período de crescimento vegetativo, a qual é uma das hortaliças mais bem aceitas e mais populares consumidas no Brasil e no mundo.

Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é conhecer a geração de subprodutos a partir da biodigestão, avaliar a produção de biogás advinda da digestão anaeróbia do esterco ovino e da silagem, para assim analisar o seu potencial no plantio de hortaliças, avaliando os efeitos do uso agrônomico do digestato de resíduos e aplicado na cultura da alface, englobando biofertilizantes, biocombustíveis e a geração de energia. Além disso, esta pesquisa se desenvolveu com a coleta de informações bibliográficas referente a diversas formas de obtenção de biogás e uma visita técnica em propriedade que utiliza desta tecnologia com dejetos suínos.

2 DESENVOLVIMENTO

2.1 OBJETIVOS

2.1.1 Objetivo geral

Determinar a possibilidade de geração de biogás sobre esterco ovino e silagem de milho, comparando seu potencial produtivo neste sistema de produção e o potencial para o resíduo final como fertilizante.

A geração de subprodutos como o fertilizante líquido e especialmente o biogás como uma alternativa limpa para produção de energia elétrica dentro da propriedade, buscando uma maneira de reduzir custos com uma menor dependência de fertilizantes químicos.

2.1.2 Objetivos específicos

O enfoque principal deste trabalho determina, por meio da pesquisa, a confecção de equipamentos, a experimentação e a média produtiva de biogás para esterco ovino e silagem de



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

milho em biodigestores em sistema batelada, além de comparar, a partir dos resíduos, seus potenciais como fertilizantes agrícolas no plantio de alfaces.

2.2 MATERIAS MÉTODOS

O presente trabalho buscou analisar as potencialidades do esterco ovino e da silagem de milho em um sistema de batelada para determinação da produção de biogás através da biomassa adicionada, bem como a viabilidade em unidades produtivas de pequena escala.

Desta forma para determinação do potencial produtivo do esterco ovino e da silagem na produção de biogás, foram realizadas pesquisas em biodigestores confeccionados no município de Ibituva-PR, com a adição dos resíduos em 14 de julho a 12 de setembro em processo anaeróbico, com coletas da produção de gás dos biodigestores e a utilização dos digestatos na produção de alface do dia 12 de setembro a 8 de outubro no município de Ponta Grossa-PR, em casa de vegetação. Para a montagem do sistema batelada, foram utilizados 6 bombonas de 200 litros lacradas com tampa e adaptadores para retirada do gás, bem como medição do volume de gás gerado durante o período de 60 dias (Figura 8).

Figura 8 – Bombonas utilizadas na produção de biogás e subprodutos, ao lado sistema de remoção e medição utilizado (Gasômetro).



Fonte: Os autores, 2024

A montagem do sistema ocorreu da seguinte forma:



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

- Para o tratamento com esterco de ovinos utilizou-se 3 bombonas com 40 Kg da biomassa e, nas outras 3 bombonas com silagem de milho, também foram adicionadas 40 kg da biomassa (Figura 10).
- Para ambos os tipos de biomassa (esterco ou silagem), a cada bombona, foram adicionados 80 litros de água de modo a favorecer a incorporação dessas.
- Com o objetivo de acelerar o processo de biodigestão foi utilizado uma fonte de inóculo (Figura 9), a qual foi produzida anteriormente com 36 dias em outra bombona selada, em proporção suficiente para facilitar a fluidez do esterco.
- A partir do processo descrito, produzindo e desenvolvendo os microrganismos de interesse para a produção do inóculo, utilizou-se 12 litros por bombona, totalizando-se aproximadamente 75% da capacidade do recipiente com a mistura da biomassa nas 6 bombonas. Ou seja, 2 tratamentos e 3 repetições no esquema de delineamento inteiramente casualizado (DIC).

Figura 9 – Natureza da biomassa utilizada no sistema: esterco ovino, a esquerda, e silagem de milho ao centro e a adição da fação do inóculo a direita.



Fonte: Os autores, 2024.

Após 7 dias da montagem e selamento, se iniciaram as medições por meio de análise instrumental com o aparelho gasômetro (Figura 8). Este mensura o volume do gás gerado diretamente em m³. Esta medição foi realizada a cada 2 dias em todas as bombonas durante os 60 dias, a cada mensuração o gás fluía pelo gasômetro sendo automaticamente registrado pelo leitor e passava para o teste de chama.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Ao fim do período de 60 dias, iniciou-se a segunda parte do experimento. Nesta fase, o digestato (resultado da biodigestão da biomassa de esterco ovino e silagem de milho) foi incorporado em diferentes doses a um substrato comercial para testar o desenvolvimento de mudas de alface. A título de comparação acerca da eficiência do processo de biodigestão, adicionou-se também o esterco *in natura* (sem passar pelo biodigestor) como fator de teste.

Essa mistura se deu em vasos de 10cm comprimento x 8cm altura; (628.32 cm³), sendo o substrato comercial a base. Em cada um desses vasos, realizou-se a aplicação dos tratamentos em sistema de aplicação única para mudas de alface, totalizando com uma planta por vaso plantas. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado (DIC) em esquema fatorial 3x5 +1 (testemunha), com 3 repetições (Tabela 4). O primeiro fator correspondeu aos três tipos de condicionantes de solo: esterco *in natura*, digestato de esterco ovino e digestato de silagem de milho. O segundo fator correspondeu às doses aplicadas do primeiro fator no substrato comercial: 5mL, 10mL, 20mL, 30mL e 40mL. Os vasos com a testemunha receberam apenas o substrato comercial.

O desenvolvimento das alfaces foi avaliado a partir do comprimento de parte aérea e sistema radicular, massa verde e massa seca e número de folhas todos avaliados 25 dias após o plantio das mudas.

Tabela 4. Distribuição dos tratamentos e doses.

Fertilizante		Dose por vaso/planta				
Testemunha	T0	--	--	--	--	--
Esterco em natura	T1	5ml	10ml	20ml	30ml	40ml
Digestato de esterco	T2	5ml	10ml	20ml	30ml	40ml
Digestato de silagem	T3	5ml	10ml	20ml	30ml	40ml

Fonte: Os autores.

Visando a manutenção de um microclima estável, os vasos foram acondicionados em estufa (Figura 10) e mantidos em rega diária seguindo o mesmo padrão para todas as repetições.

Figura 10 – Acondicionamento dos vasos, plantio das alfaces e distribuição dos tratamentos



Fonte: Os autores, 2024.

2.2.1 Metodologia Analítica

Para a verificação da natureza da biomassa de entrada e saída, com o objetivo de analisar a composição dos materiais utilizados, tanto antes do processo de digestão e posterior, realizou-se as análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF), potencial hidrogeniônico (pH), análise da condutividade elétrica (CE), por meio das amostras de esterco e silagem de milho já incorporadas em água e fonte de inóculo, além da natureza líquida do digestato gerado por ambos os substratos foram enviados a um laboratório especializado na análise de efluentes, localizado na cidade de Ponta Grossa, Paraná.

As análises instrumentais do volume de gás gerado foram realizadas por meio do gasômetro, conforme descrito anteriormente. A presença ou ausência de gás metano (CH₄) foi determinada por meio do teste de chama. Este foi realizado a partir da combustão do gás após a saída do gasômetro. Para a obtenção dos dados climáticos foi utilizado a base de dados do INMET (2024), através da estação mais próxima operante, IRATI 83836 de Irati/ Pr.

O processo de análise dos tratamentos iniciou-se após 25 dias do transplante das mudas de alface, onde inicialmente foi realizada a retirada do substrato por meio da lavagem por imersão da raiz em água. A medição do comprimento radicular, número de folhas e da parte aérea (cm) se deu com o auxílio de régua comum. Para determinação de massa verde (g) utilizou-se de balança de precisão, conforme demonstrados na figura 11.

Figura 11 – Processo de lavagem e avaliação quantitativa na alface.



Fonte: Os autores, 2024.

As plantas, então, foram submetidas a secagem em Estufa de secagem e esterilização INOX - 50 a 250°C sob temperatura de 65 °C, durante 48 horas atingindo peso constante. Isto se deu para a determinação da massa seca, conforme Figura 12.

Figura 12 – Acondicionamento para secagem e determinação da massa seca.



Fonte: Os autores, 2024.



3 RESULTADOS

Os dados iniciais e finais obtidos na análise com os tratamentos dos biodigestores foram fundamentais para entender a composição do material orgânico utilizado no processo de produção de biogás. As amostras analisadas apresentaram os valores descritos na tabela 5. Esses parâmetros são indicativos da quantidade de material disponível para a digestão anaeróbica, que é crucial para a maximização da produção de biogás. Para digestores em estado líquido como o utilizado, a concentração de ST pode variar entre 8% e 12%, sendo que acima de 15% começam a prejudicar a mistura e a eficiência do processo, deste modo os valores obtidos para o esterco 6,23 % e 8,31 % inicial e final respectivamente estando dentro do aceitável para o processo de biodigestão, já para a silagem 2,6 % e 3,59 % inicial e final respectivamente indicando estar com ST mais baixa devido a tanto a dificuldade inicial de sua solubilização/decomposição tanto inicial quanto final devido ao seu pH que não permitiu o correto desenvolvimento do processo de biodigestão quando comparada ao esterco.

Segundo AMARAL et al., (2004) o melhor fator para definir o potencial da biomassa na produção de biogás está ligado a concentração de sólidos totais, pois elimina a interferência do teor de água presente na biomassa. Estatisticamente, há uma interação significativa entre modelos de biodigestores e tempo de retenção, quanto as porcentagens de redução dos teores de sólidos totais e voláteis, potencial de produção de biogás (m³ por dia) e para os teores de metano e dióxido de carbono.

Tabela 5. Valores obtidos por meio da análise da biomassa e do digestato final.

Amostras	Parâmetros				pH à 25° C (SMWW, 24 ^a Edição, Método 4500 - B - Eletrometric Method)
	Condutividade (mS/cm) (SMWW, 24 ^a Edição, Método 2510B)	Sólidos Voláteis (mg/kg) (SMWW, 24 ^a Edição, Método 2540C)	Sólidos Fixos (mg/kg) (SMWW, 24 ^a Edição, Método 2540C)	Sólidos Totais (mg/kg) (SMWW, 24 ^a Edição, Método 2540C)	
Esterco Inicial	4,90	44.959,9	17.415,4	62.375,3	6,98



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Esterco					
Final	25,70	47.160,3	35.965,1	83.125,4	7,66
Silagem					
Inicial	5,06	19.788,6	6.278,7	26.067,4	3,81
Silagem					
Final	6,68	28.843,3	7.146,7	35.989,9	3,43

Fonte: Os autores, 2024.

Além disso, a condutividade elétrica reflete a concentração de íons presentes, indicando assim, a presença de nutrientes como NPK, entre outros. Desse modo, o esterco digerido se apresentou superior aos demais, sugerindo cautela durante a sua aplicação em altas doses, devido ao efeito salino.

O pH é outro fator determinante no processo de digestão anaeróbica, sendo favorável para o esterco. Porém, para a silagem de milho é negativa por apresentar um meio ácido inicial (Tabela 5), sendo a dose de inoculante adicionada não sendo suficiente para neutralizá-la, interferindo diretamente sob o processo de biodigestão, limitando a sua produção de biogás (Figura 13).

A produção de biogás é diretamente ligada ao pH do composto, sendo seu rendimento superior em meios neutros ou próximos a (7,0 e 8,5), sendo crucial manter a alcalinidade constante durante o processo anaeróbio garantindo a capacidade tampão do processo e promovendo um pH estável e a produção de gás (KARLSSON et al., 2014). Desse modo a associação de baixas temperaturas e o pH inferior ao recomendado ocasionaram a queda da produção e a estagnação produtiva dos tratamentos com silagem, além de prejudicar a qualidade final do digestato.

A qualidade do resíduo final gerado e o seu potencial produtivo para uso agrônomico está ligado a diversos fatores; sua composição, variabilidade dos compostos presentes durante a biodigestão, tipo do biodigestor, tecnologias inseridas, quantidade de N, P, K e outros micronutrientes. KUNZ *et al.*, (2019) destaca que o fator limitante para a qualidade do digestato final sempre será o substrato utilizado na planta de biogás, aliado aos controles operacionais necessários. Na pesquisa aqui apresentada, estes elementos foram aplicados tomando os devidos cuidados em análise experimental, para verificação da dose ideal nesta condição e em



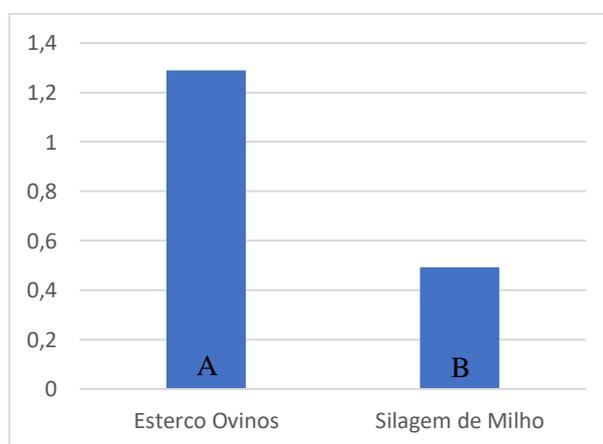
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

áreas agrícolas, garantindo a demanda por nutricional das culturas que serão adubadas e evitando a aplicação excessiva de nutrientes no solo favorecendo sua lixiviação e impactos ambientais associados.

A produção de biogás para os tratamentos de esterco e silagem alcançaram resultados distintos mesmo sendo submetidos as mesmas condições (Figura 13). A biodigestão com esterco ovino obteve a produção média por repetição de 1,2899 m³ de biogás (equivalente a 0,645 m³ ao GLP) no período de 60 dias correspondendo a 0,0323 m³ de biogás por kg de esterco adicionado, valor que também foi observado por AMORIM; JÚNIOR; RESENDE, (2004) avaliando a produtividade do estrume caprino, onde na mesma estação (Inverno) obteve a produção de 0,04 m³ de biogás por kg de estrume adicionado.

Para silagem de milho obteve-se uma produção inferior quando comparada ao esterco ovino resultando em uma produção média de 0,4923 m³ de biogás (equivale a 0,295 m³ de GLP) produzido em 60 dias e 0,0123 m³ de biogás por kg de silagem adicionada. Assim, a produção do esterco neste experimento correspondeu sua produtividade a 162 % superior quando comparada a silagem.

Figura 13 – Produção média total expressa em m³ do biogás produzido, deferida estatisticamente a Tukey a 5%.



Fonte: Os autores, 2024.

Em relação ao tratamento de esterco ovino, a silagem de milho obteve média produtiva a cada avaliação muito inferiores a partir do dia 28, com uma leve e lenta recuperação, afetando



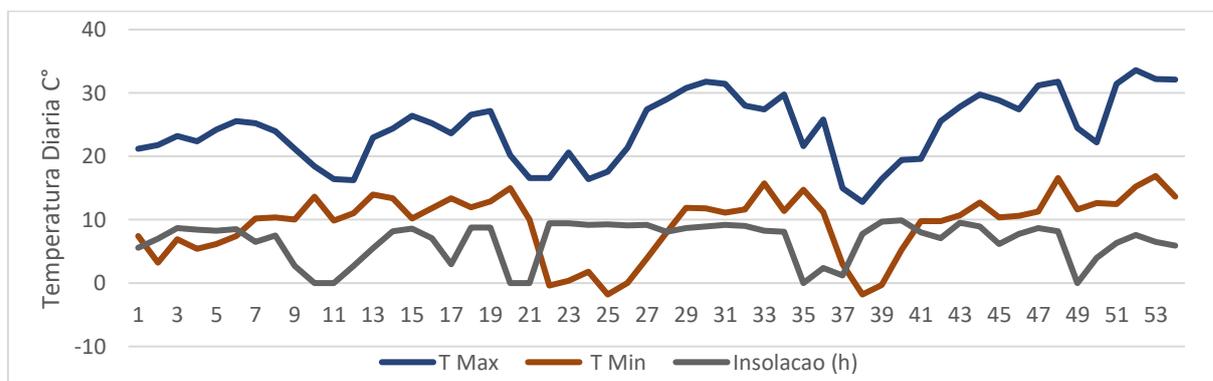
III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

a sobrevivência dos microrganismos, resultando em 5 dias sem produção devido as geadas dos dias 44 e 45. Durante todo o período da pesquisa os biodigestores sofreram a ação das baixas temperaturas na região, totalizando 5 geadas (considerando a temperatura \leq que 0) durante os dias de produção 28, 31, 32, 44 e 45, provocando queda na produção anaeróbica e consequentemente, na geração do biogás e na qualidade do digestato final (Figura 14).

Segundo JORDÃO, (2007) há três faixas de temperatura para que o crescimento microbiano seja possível; faixa psicrófila (entre 0 e 20 °C), mesófila (entre 20 e 45 °C) e termófila (entre 45 e 70 °C). Com isso para cada uma dessas faixas são associados três valores de temperaturas: temperaturas máximas e mínimas, as quais definem os limites da faixa de temperatura em que o crescimento microbiano é possível, e a temperatura ótima, cujo crescimento é máximo. Desta forma as baixas temperaturas durante o processo anaeróbio afetaram o estágio metanogênico, ocasionando perturbações durante 4 dias após cada geada, aumentando o nível de substancias toxicas no meio. Conforme KARLSSON *et al.*, (2014) temperaturas inferiores ao recomendado ocasiona a produção de ácidos graxos e álcoois pelos microrganismos, impedindo a formação de metano, redução do pH e interrupção do processo.

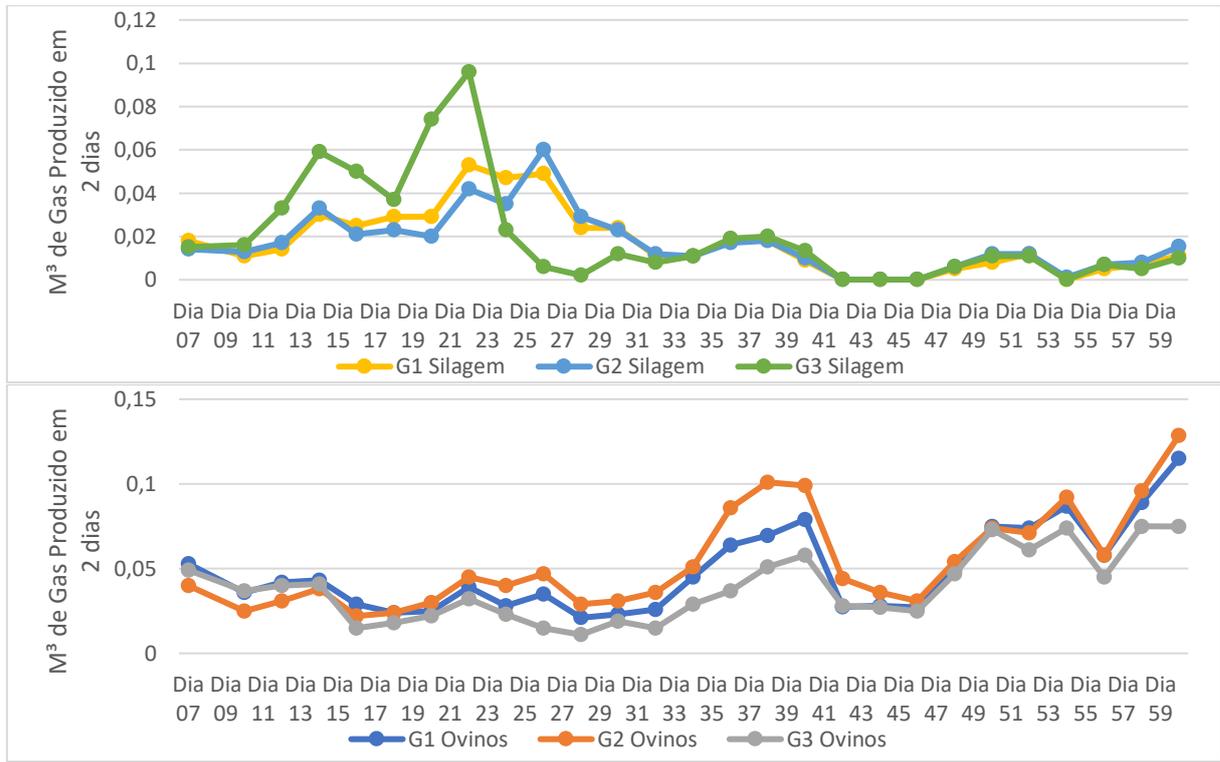
Após a última geada no período de avaliação, as temperaturas se mantiveram na faixa dos 20°C favorecendo a o desenvolvimento dos microrganismos e aumentando a média produtiva diária de gás para ambos os tratamentos a partir do dia 48.

Figura 14 – Produção expressa em m³ do biogás produzido referente ao dia de medição de cada tratamento e repetição correspondente.





III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias



Fonte: Os autores, 2024.

Conforme a figura 14 pode se verificar a natureza volátil da produtividade em ambos os tratamentos onde a temperatura e as horas de exposição ao sol tiveram papel crucial para o aumento da sua produção neste sistema, totalmente dependente da temperatura ambiente, onde a silagem foi a mais prejudicada com as baixas temperaturas e esterco sendo menos afetado.

Para a produção e análise dos dados referente as análises com os tratamentos de alface americana verificou-se após passados 25 dias do transplantio das mudas foram avaliadas (figura 15) altura da planta (cm), número de folhas por planta, comprimento do sistema radicular, peso da massa verde e matéria seca (g). Com o objetivo de avaliar o desenvolvimento das plantas e, o efeito da aplicação do digestato nas diferentes concentrações, buscando encontrar a concentração ideal além da melhor fonte de adubação a qual pode ser observada na tabela 6.

Figura 15 – Tratamentos de 30 g para ED, EC (esterco), SD, Testemunha (Acima), efeito toxico observado no tratamento SD 40g comparado a testemunha (Abaixo) durante o desenvolvimento.



Fonte: Os autores, 2024.

Tabela 6. Valores obtidos por meio da análise estatística* do software Minitab Statistical 22, utilizando o método de Tukey a 5%, dentro de cada variável para a cultura da alface após 25 dias.

Tratamentos	Média altura de planta (cm)	Média comprimento da raiz (cm)	Média número de folhas	Média massa verde (g)	Média massa Seca (g)
Testemunha	9,833 AB	25,500 A	6,333 AB	15,070 AB	1,495 AB
Esterco	10,367 A	16,467 B	7,933 A	20,080 A	1,935 A
ED	9,533 AB	17,467 AB	7,333 A	17,426 A	2,0158 A
SD	7,700 B	15,970 B	5,200 B	8,650 B	0,782 B

*ED (esterco decomposto), SD (silagem decomposta).

*Médias que não compartilham uma letra são significativamente diferentes.

Fonte: Os autores, 2024.

Conforme observado na tabela 6 todas as variáveis diferiram estatisticamente a Tukey a 5 %, onde para altura média de planta o uso do esterco cru obteve o melhor resultado. Porém, a testemunha e o digestato de esterco sendo iguais e o digestato de silagem sendo inferior devido

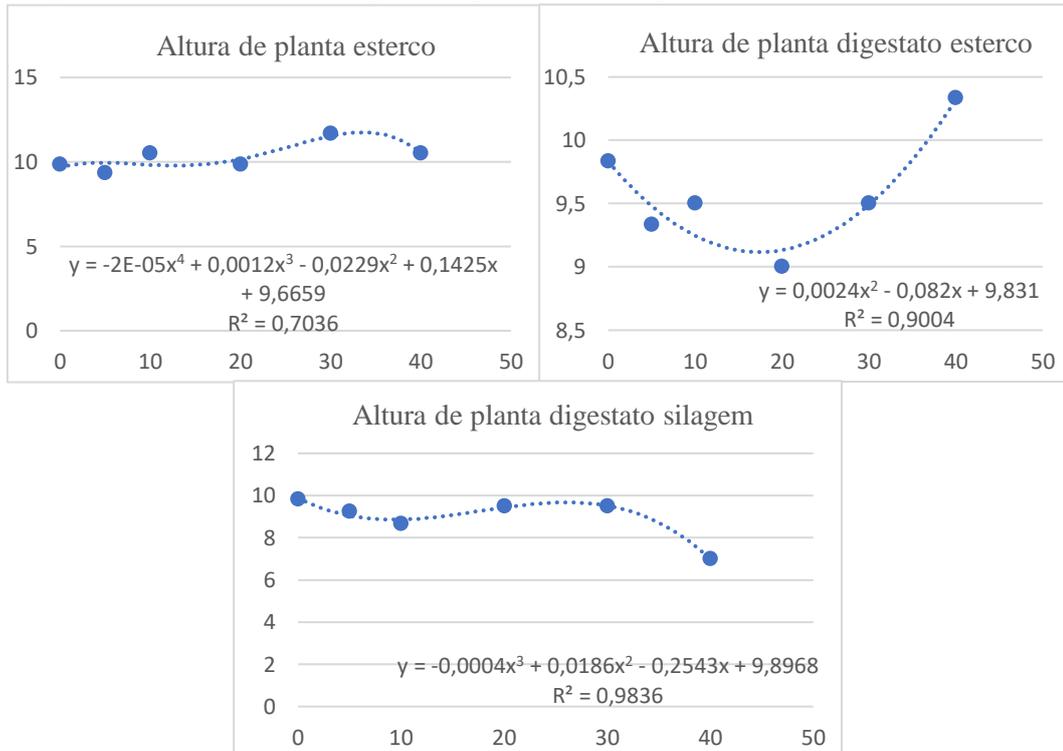


III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

à sua toxicidade. Já o comprimento radicular mostrou-se maior na testemunha devido a deficiência nutricional, gerando uma raiz profunda e pouco ramificada, para ED foi estatisticamente igual entre ambas, para esterco e SD não diferiram entre si com menor comprimento radicular.

Considerando o número de folhas o esterco e ED foram iguais, além da testemunha não diferir de ambos, onde SD novamente foi prejudicado sendo inferior aos demais. Para massa verde e massa seca teve o mesmo comportamento onde a testemunha não diferiu de ambos, esterco e ED novamente não diferiram entre si, somente silagem novamente tendo resultado inferior devido ao seu efeito tóxico observado nesta avaliação. Conforme MACHADO, (2022) as características do digestato, tais como condutividade elétrica, concentrações de elementos químicos e concentrações de sólidos requerem que sua aplicação ocorra de forma planejada e controlada, para que não gere danos no solo ou na planta.

Figura 16 – Gráficos de regressão para altura da planta (cm) de cada tratamento.



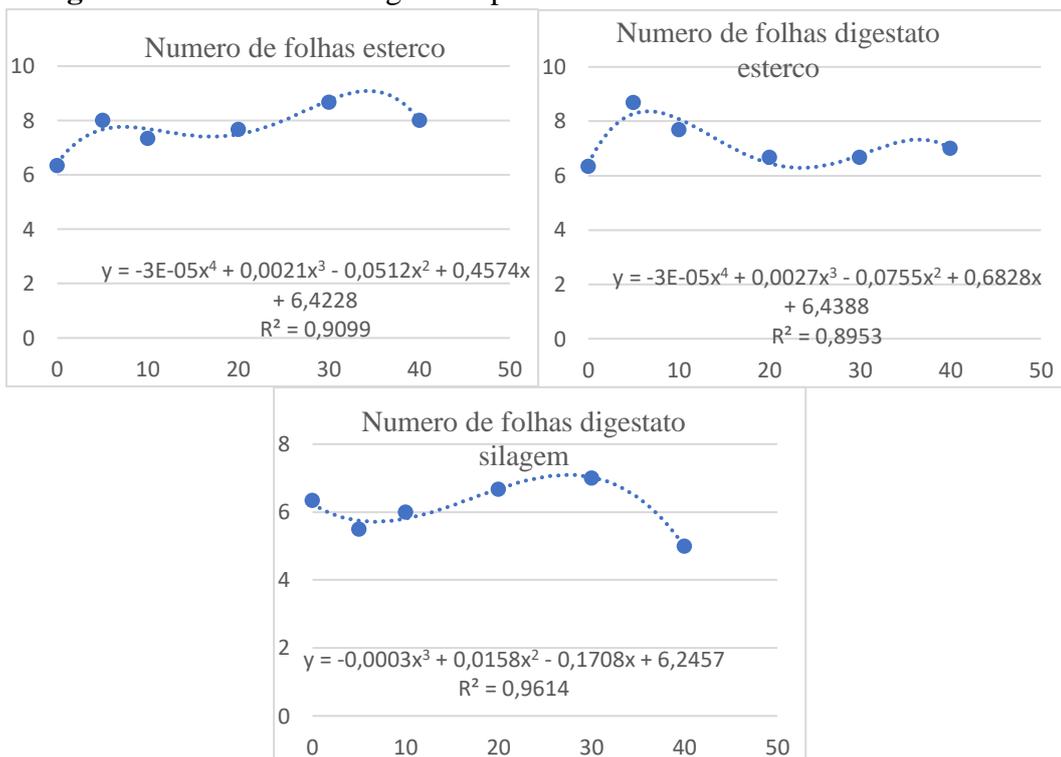
Fonte: Os autores, 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

Através dos dados obtidos referentes à altura de planta (Figura 16) foi possível comprovar o diferencial de cada tratamento, e em suas doses com ênfase para o esterco ovino cru como demonstrado no teste de tukey, que obteve a maior altura de planta quando comparado aos demais até a dose de 30 g por vaso após disso decrescendo, a qual também foi observada para o digestato de silagem, porém para o uso do digestato ovino obteve a melhor resposta após a dose de 40g.

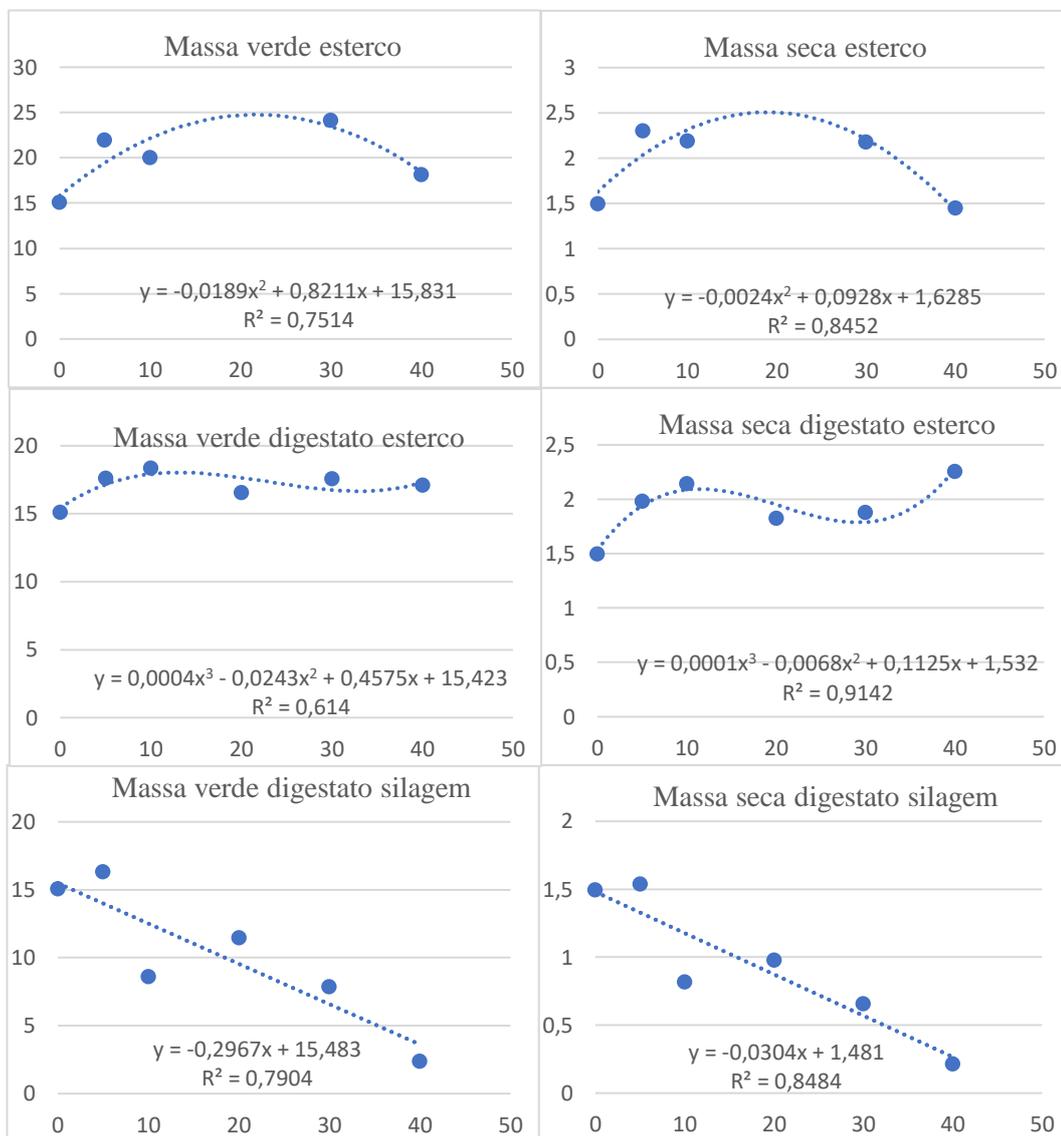
Figura 17 – Gráficos de regressão para o número de folhas de cada tratamento.



Fonte: Os autores, 2024.

Já para os dados para número de folhas (Figura 17), observou-se o aumento no número de folhas com o aumento da dose. Porém ocorreu uma queda abrupta após o ponto de máxima, onde esterco obteve melhor resposta na sua dose de 30g assim como a silagem digerida porem apresentou o menor número médio de folhas devido a limitação pela toxicidade além do tamanho de suas folhas ser inferior quando comparada as demais resultando em uma menor massa como poderá ser observada na figura 19, já para o esterco digerido obteve seu melhor resultado com a dose de 5g quando observada a altura.

Figura 18 – Gráfico de regressão para o peso da massa seca e massa verde (g), para a adição de esterco.

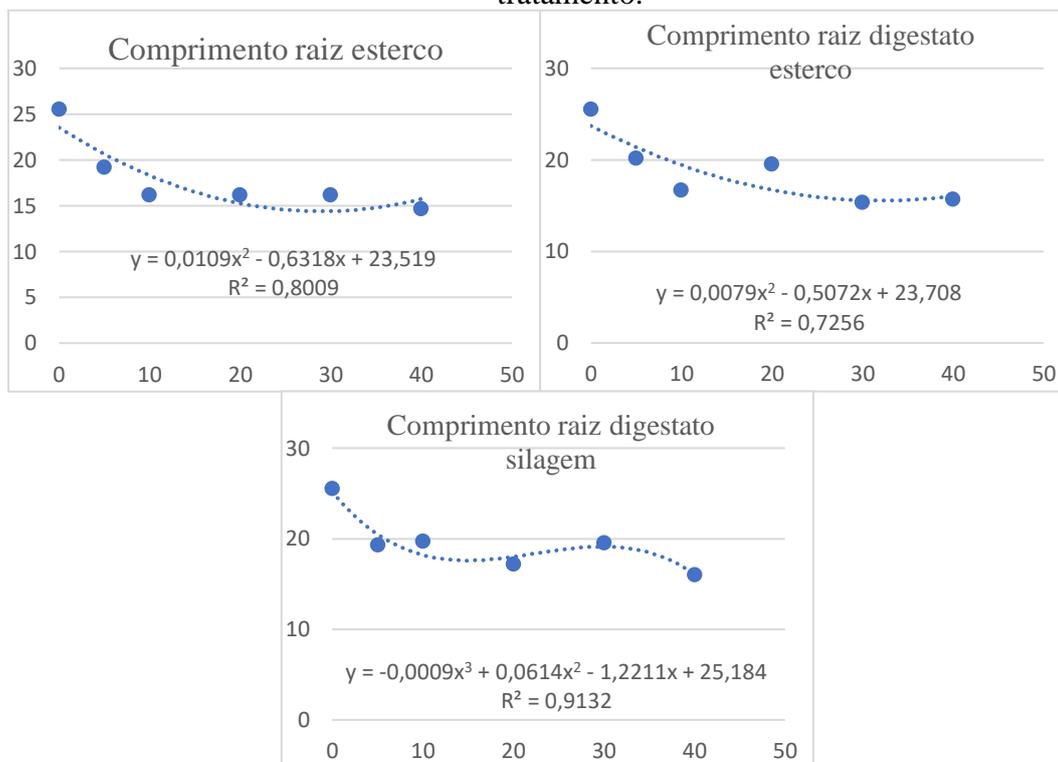


Fonte: Os autores, 2024.

Referente a massa das plantas (Figura 18) a toxidade do composto de silagem reduziu notavelmente o peso médio de plantas e conseqüentemente o tamanho de suas folhas conforme o aumento da dosagem. Já para os valores obtidos para o esterco cru e biodigerido, houve um acréscimo produtivo em ambos de modo que não diferiram estatisticamente, onde se obteve para o esterco a melhor dose próxima a 30g e para o digestato a dose de 10g. Assim, ambas demonstraram potencial para o uso na adubação da alface americana, somente o digestato de

silagem que a sua adição não foi favorável ao desenvolvimento e produção de massa verde e seca durante o período de 25 dias de desenvolvimento da cultura.

Figura 19 – Gráficos de regressão para o comprimento do sistema radicular (cm) de cada tratamento.



Fonte: Os autores, 2024.

Através dos dados representados através da figura 19 foi possível comprovar que a deficiência nutricional dos tratamentos testemunha favoreceram o crescimento do sistema radicular devido a busca por nutrientes, durante a lavagem das raízes foi observado que as raízes eram profundas e pouco ramificadas. Para os demais tratamentos e doses foi observada o menor comprimento radicular e desenvolvimento superior próxima a superfície do solo.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

4 CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que as fontes de substrato influenciaram significativamente a quantidade de biogás produzido. A produção de biogás através do esterco ovino se mostrou possível e eficiente para esterco ovino, ainda apresentando um potencial produtivo, após a retirada das amostras para as análises e plantio de alface.

O tratamento do biodigestor com silagem apresentou *déficit* produtivo possivelmente pelos efeitos do baixo pH, resultando na baixa decomposição do material, formando um composto tóxico para o plantio da alface. Ambos os tratamentos tiveram suas produções reduzidas por consequência das baixas temperaturas e geadas que atingiram a região durante o período de pesquisa.

A partir das análises realizadas sobre a cultura da alface foi possível concluir que o esterco decomposto se apresentou como um resíduo fértil para plantio, mas tóxicos em alta dosagem por planta. Compreende-se que esses poderiam ter melhor desempenho em aplicações subdivididas durante o crescimento da alface entre 2 a 3.

Assim como para o esterco decomposto o esterco cru se mostrou desfavorável em altas concentrações, mas para aplicação única se evidenciou mais favorável ao crescimento da alface por consequência da decomposição lenta do esterco.

Referente aos tratamentos com Silagem decomposta, a silagem gerou residual tóxico (Acidez) no solo restringindo o crescimento radicular da alface, este residual está ligado diretamente as interferências durante a decomposição no biodigestor acarretando em um subproduto quimicamente instável.

Portanto o presente estudo observou que para a produção de gás e digestato fértil, conclui-se que o esterco ovino apresenta potencial para este fim, podendo ser usado como uma alternativa viável para produtores de ovinos que buscam obter melhores resultados dentro de suas propriedades, reduzindo a emissão de poluentes e agregando valor aos dejetos animais. Por fim destaca-se que além da obtenção do biogás para diversos fins, o digestato é viável para a produção de hortaliças e grandes culturas, sendo sua produção escalonada pela quantidade de animais da propriedade, a capacidade do biodigestor projetado e as tecnologias inseridas.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

REFERÊNCIAS

AMARAL, C. M. C. D. et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica. **Ciência Rural**, v. 34, n. 6, p. 1897–1902, dez. 2004.

AMARAL, A. C. DO; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. [s.l.] Airton Kunz, Ricardo Luis Radis Steinmetz, André Cestonaro do Amaral (editores Técnicos), 2019.

AMORIM, A. C.; JÚNIOR, J. D. L.; RESENDE, K. T. **BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE CAPRINOS OBTIDOS NAS DIFERENTES ESTAÇÕES DO ANO**.

Disponível em:

<<https://www.scielo.br/j/eagri/a/TmpxQ7Td9zM6mFjJ53rPr7M/?format=pdf&lang=pt>>.

Acesso em: 20 out. 2024.

ANÍBAL, F. **Quedas e oscilações de energia causam prejuízo milionário no campo**.

Disponível em: <<https://www.sistemafeap.org.br/quedas-e-oscilacoes-de-energia-causam-prejuizo-milionario-no-campo/>>. Acesso em: 8 abr. 2024.

ARAÚJO, A. P. C. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZANDO BIODIGESTOR ANAERÓBICO**. 2017.

AZEVEDO, H. L. DE S. **BIODIGESTORES ANAERÓBIOS COMO ALTERNATIVA TECNOLÓGICA PARA PRODUTORES E COOPERATIVAS RURAIS**. Disponível em:

<https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/939/3/disserta%C3%A7%C3%A3o_Henrique%20Lacerda%20de%20Santana%20Azevedo.pdf>. Acesso em: 7 jun. 2024.

BARROS, T. D. **Biogás - Portal Embrapa**. Disponível em:

<<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas>>. Acesso em: 8 maio. 2024.

BEM, E. C. D. **POTENCIAL DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE BIOMASSA IN NATURA E ENSILADA DE CULTURAS ENERGÉTICAS**. Disponível em:

<<https://repositorio.ifgoiano.edu.br/bitstream/prefix/2182/6/Dissertac%CC%A7a%CC%83o%20Mestrado%20Evandro%20Dal%20Bem%201.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2024.

CARDOSO, E. G.; SILVA, J. M. DA. **SILOS, SILAGEM E ENSILAGEM**. Disponível em: <<https://old.cnpqg.embrapa.br/publicacoes/divulga/GCD02.html>>. Acesso em: 4 out. 2024.

CIBIOGÁS. **Panorama do Biogás - 2022**. Disponível em:

<<https://app.powerbi.com/view?r=eyJrIjoiNDZiYTYyNGQyZzliYS00NTMyLTk1Y2EtOWZmZjE4OTgwY2VkIiwidCI6ImZzOTg3ZmI3LTQ5ODMtNDA2Ny1iMTQ2LTc3MGU5MWU5NGViNSJ9>>. Acesso em: 22 mar. 2024.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

COLTURATO, L. F. DE D. B. **1056D.pdf**. Disponível em:

<<https://www.smarh.eng.ufmg.br/defesas/1056D.PDF>>. Acesso em: 7 jun. 2024.

DEGANUTTI, D. R. et al. BIODIGESTORES RURAIS: MODELO INDIANO, CHINÊS E BATELADA. 2002.

DEUBLEIN, D.; ANGELIKA STEINHAUSER. Biology. Em: **Biogas from Waste and Renewable Resources**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2008. p. 93–128.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. Substrates. Em: **Biogas from Waste and Renewable Resources**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2008a. p. 57–78.

DEUBLEIN, PROF. DR.-ING. D.; STEINHAUSER, Dipl.-Ing. Angelika. Biogas. Em: **Biogas from Waste and Renewable Resources**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2008b. p. 49–56.

EMBRAPA. **Digestato - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/biogasfert/fertilizantes/dejetos-fertilizantes/fertilizante-fluido/digestato>>. Acesso em: 8 jun. 2024.

ESALQ. **Laboratório de Engenharia de Biosistemas. USP e-disciplinas. Recursos Energéticos e Ambiente. Texto de apoio .Biodigestores**. Disponível em:

<https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/7444104/mod_resource/content/2/Biodigestores.pdf>. Acesso em: 8 maio. 2024.

FRIEHE, J.; WEILAND, P.; SCHATTAUER, A. Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização, Cap. 4 Descrição de Substratos Selecionados. 2010.

FUNDAÇÃO ABC. **Fundação ABC - Pesquisa e desenvolvimento agropecuário**. Disponível em: <<https://fundacaoabc.org/>>. Acesso em: 4 out. 2024.

HENZ, G.; SUINAGA, F. Tipos de Alface Cultivados no Brasil. 2009.

IBGE. **Rebanho de Ovinos (Ovelhas e Carneiros) no Paraná | IBGE**. Disponível em:

<<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/ovino/pr>>. Acesso em: 8 jun. 2024.

INMET, I. N. DE M. **INMET :: Tempo**. Disponível em:

<<https://tempo.inmet.gov.br/TabelaEstacoes/A818>>. Acesso em: 19 out. 2024.

JORDÃO, E. P. Reatores Anaeróbios. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v. 12, n. 3, p. 239–239, set. 2007.

KARLSSON, T. et al. **Manual básico de biogás**. Lageado: Univates Editora, 2014.

KUNZ, A.; OLIVEIRA, P. A. V. DE. Aproveitamento de dejetos de animais para geração de biogás. **Revista de Política Agrícola**, v. 15, n. 3, p. 28–35, 2006.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

MACHADO, L. T. S. APROVEITAMENTO DE EFLUENTE GERADO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS ORGÂNICOS DE ORIGEM DOMÉSTICA NA AGRICULTURA IRRIGADA. [s.d.].

MAPA. **Chácara Marujo (1).jpg**. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/sustentabilidade/planoabc-abcmais/projeto-pecuaria-abc/galeria-de-fotos/missao-tecnica-chacara-marujo/chacara-marujo-1.jpg>>. Acesso em: 7 jun. 2024.

MILANEZ, A. Y. et al. BIOGÁS DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS: PANORAMA E PERSPECTIVAS. 2018.

NICOLOSO, R. DA S. et al. **USO DO DIGESTATO COMO FERTILIZANTE**. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/197622/1/final9157.pdf>>. Acesso em: 12 out. 2024.

ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável | As Nações Unidas no Brasil**. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

PARANÁ, C. C. DO G. DO E. DO. **Resolução SEDEST 08 - 23 de Fevereiro de 2021**. Disponível em: <<https://www.legislacao.pr.gov.br/legislacao/pesquisarAto.do?action=exibir&codAto=245464&indice=1&totalRegistros=2&dt=5.5.2024.9.39.27.863>>. Acesso em: 5 jun. 2024.

PEREIRA, M. L. **Biodigestores: opção tecnológica para a redução dos impactos ambientais da suinocultura - Portal Embrapa**. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/17991779/biodigestores-opcao-tecnologica-para-a-reducao-dos-impactos-ambientais-da-suinocultura>>. Acesso em: 17 abr. 2024.

PESCADOR, F. S. TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO EM REATORES SEQUÊNCIAIS EM BATELADA ANAERÓBIOS (RSBAn). 2001.

SANTOS, E. B. DOS; JUNIOR, G. DE N. PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DE ORIGEM ANIMAL. **Tekhne e Logos**, v. 4, n. 2, p. 80–90, 29 ago. 2013.

SGANZERLA, E. **Biodigestor, uma solução**. Porto Alegre, RS: Agropecuária, 1983.

SILVA, M. A. L. A. DA. **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS DA BIODEGRADAÇÃO AERÓBICA ACELERADA A PARTIR DO REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS DE ALIMENTOS**. Disponível em: <<https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/1039/1/TCC%20-%20Marcos%20Aur%C3%A9lio%20final%20pronto.pdf>>. Acesso em: 7 jun. 2024.

VIEIRA, J. E. R. ESTUDO DA APLICAÇÃO DE BIODIGESTORES NA CIDADE DE MISSÃO VELHA/CEARÁ COMO ALTERNATIVA ECONÔMICA E ENERGÉTICA. 2017.



III UniSIAE - Semana Integrada de Agronomia, Análise em Desenvolvimento de Sistemas, Arquitetura e Urbanismo e Engenharias

VIEIRA, J. M. D. A. PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DO USO DE ESTERCO OVINO COM ADIÇÃO DE DIFERENTES FRAÇÕES DE INÓCULO. 2019.

WÜNSCH, K.; GRUBER, S.; CLAUPEIN, G. Profitability analysis of cropping systems for biogas production on marginal sites in southwestern Germany. **Renewable Energy**, v. 45, p. 213–220, 1 set. 2012.