



POTENCIAL BIOQUIMICO DE METANO DE DEJETO DE AVES DE POSTURA EM MODULO BIODIGESTOR – ESCALA PILOTO

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.XII-014>

Isabelly Silveira Freitas*, José Carlos do Nascimento, Ataliba Holanda Neto, Arthur Lunardi, José Arimar Fernandes Neto

* Instituto SENAI de Tecnologia em Energias Renováveis do Ceará (IST-ER). E-mail: Isabelly.sfi@gmail.com

RESUMO

Um módulo biodigestor em escala piloto, com 900L de volume reacional foi confeccionado e instalado no Instituto SENAI de Tecnologia em Energias Renováveis em Maracanaú-Ce. O sistema formado unicamente por um tanque aeróbio sem agitação, foi alimentado em regime diário com esterco de aves de postura com teor de 57,29% de sólidos voláteis. Pelo período de 40 dias o sistema foi submetido a teste de produção de metano. Foram monitorados o comportamento de produção de biogás, metano e gás sulfídrico numa faixa de TDH de 30 dias. O sistema apresentou geração diária média de Biogás de 0,995Nm³ mas chegou a apresentar concentração máxima de CO₂ de 45%, para rendimento de metano a média foi 36,91 Nm³CH₄.Ton⁻¹MF. Foi possível observar que ao se utilizar com substrato o dejetos de aves de postura no processo de anaeróbio em biodigestor de 1m³, houve rendimento considerável de geração de biogás e metano. Principalmente em pouco tempo de monitoramento, com sistema de baixo custo e sem controle de agitação e temperatura o potencial de remoção pudesse ter alcançado constância e resultados ainda mais promissores em condições de agitação.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestor, Módulo Biodigestor, Biogás, Metano, Esterco de galinha, Esterco de aves de postura.

ABSTRACT

A pilot-scale biodigester module, with a reaction volume of 900L, was manufactured and installed at the SENAI Institute of Renewable Energy Technology in Maracanaú-Ce. The system, consisting solely of an aerobic tank without agitation, was fed daily with laying hen manure containing 57.29% volatile solids. Over a period of 40 days, the system was subjected to methane production testing. The behavior of biogas, methane, and hydrogen sulfide production was monitored over a 30-day HRT range. The system presented an average daily biogas generation of 0.995 Nm³ but reached a maximum CO₂ concentration of 45%. For methane yield, the average was 36.91 Nm³CH₄.Ton⁻¹MF. It was possible to observe that using laying hen manure as a substrate in the anaerobic biodigester process of a 1m³ tank, there was a considerable yield of biogas and methane generation. Especially in a short monitoring time, with a low-cost system and no agitation and temperature control, the potential for removal could have achieved consistency and even more promising results under agitation conditions.

KEY WORDS: Biodigester, Biodigester Module, Biogas, Methane, Chicken Manure, Laying Hen Manure.

INTRODUÇÃO

A avicultura de postura é caracterizada pela produção de ovos a partir do confinamento de aves especialmente selecionadas para esse fim em ambientes controlados. A Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA) divulgou que, em 2020, em um cenário de produção que vem se desenvolvendo constantemente, o país produziu 53,5 bilhões de ovos, com aproximadamente 124 milhões de cabeças de galinhas de postura, das quais 4,87% em alojamentos no Ceará. Um grande passivo da produção de ovos por meio de confinamento de aves é a geração de grandes volumes de dejetos. Assim, o controle destes necessita de uma atenção especial a mais do setor produtor, já que, pode interferir nos custos de investimento e retorno, que são fatores importantes na produção lucrativa de aves.

Diversas são as opções disponíveis para o manejo e o tratamento dos dejetos de aves poedeiras. Cada uma delas tem sua indicação, dependendo das características individuais de cada propriedade e dos dejetos ali produzidos. Por apresentarem uma grande concentração de matéria orgânica, tem um alto potencial de aproveitamento como matéria prima para aproveitamento energético e fertilizantes (UBA, 2008). Porém não é recomendado que haja o uso direto no solo, sem tratamento prévio. A utilização não planejada como fertilizante provoca sérias consequências ao meio ambiente, como a fertilização excessiva do solo, com alto teor de nutrientes, resultando em contaminação de águas subterrâneas e eutrofização de águas superficiais. Além destes,



gases emitidos e odores formados durante a degradação dos dejetos causam impacto ambiental. O lançamento de gases como amônia, dióxido de carbono e metano, podem ter implicações na produção, saúde humana e meio ambiente (KUNZ, 2011).

O aproveitamento desses dejetos de aves, pode acontecer pelo processo de biodigestão anaeróbia, na ausência de oxigênio no qual ocorre a formação de uma mistura de gases chamado biogás e um subproduto da biodigestão denominado digerido ou digestato que tem potencial para uso como biofertilizante. Esse processo acontece através das bactérias anaeróbias que, ao se alimentarem da matéria orgânica produzem metano, dióxido de carbono, majoritariamente e outros gases (gás sulfídrico, nitrogênio, amônia e hidrogênio) em menores concentrações. Assim, a depender da exigência da composição química do biogás, o mesmo pode ser aplicado para geração de energia térmica, elétrica ou mecânica como é feito em alguns locais no Brasil e no mundo. Destacando um método simples e sustentável ambientalmente no descarte da matéria orgânica presente no resíduo, que antes apresentava apenas um potencial poluidor (DEGANUTTI, 2002, p.2).

Diante das razões que antecedem, o presente relatório aborda sobre a análise do potencial bioquímico de produção de metano de dejetos de aves de postura no âmbito do projeto Módulo de Geração de Energia Elétrica através de dejetos orgânicos de pequenos produtores rurais.

OBJETIVOS

Geral

Avaliar o potencial bioquímico de produção de metano, através do processo de digestão anaeróbia, usando como substrato dejetos de aves de postura empregando, em biodigestor modular de 1m³.

Específicos

- Caracterizar o substrato, substrato e digestato;
- Avaliar a produção de metano, dióxido de carbono e sulfeto de hidrogênio;
- Determinar o rendimento de produção de metano;

METODOLOGIA

Para a realização dos estudos propostos, optou-se pela construção de uma unidade denominada Módulo Biodigestor em escala piloto com o objetivo de se ter um melhor controle sobre as variáveis envolvidas no processo de tratamento anaeróbio.

Todo o experimento foi conduzido no Instituto SENAI de Tecnologia em Energias Eletrometalmeccanica (ISTEMM), localizado em Maracanaú/CE.

Caracterização

As caracterizações das amostras de dejetos de aves e inóculo foram realizadas com a finalidade de determinar as quantidades de substrato, água e inóculo a serem utilizadas no Modulo Biodigestor de 1m³. Além disso, fornecer dados para determinação dos parâmetros operacionais de produção de biogás, como: carga orgânica volumétrica, concentração de sólidos totais, quantidade de água, plano de alimentação e inibidores da produção de biogás. Os parâmetros avaliados foram os seguintes: ST – Sólidos Totais, STV – Sólidos Totais Voláteis, STF – Sólidos Totais Fixos, umidade (U), pH – potencial Hidrogeniônico.

As amostras de Esterco de Galinha de Postura (EGP) utilizadas nas análises laboratoriais foram coletadas em empresa do segmento de avicultura de postura, localizada no município de Cascavel/CE. O material foi coletado diretamente da esteira de coleta de dejetos das gaiolas, acondicionadas em tambores de 100 e 200L e logo após transportado para o laboratório para ser armazenado em câmara fria a -4°C. A Tabela 1, mostra os registros fotográficos realizados durante coleta de dejetos de aves.

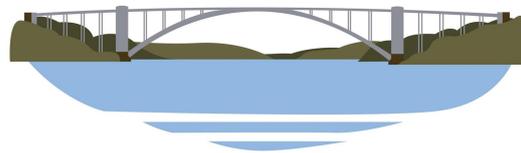


Figura 1- Registro fotográfico da coleta dos dejetos de aves de postura. Fonte: Autor do Trabalho.

Já o lodo a ser analisado e utilizado como inóculo foi disponibilizado por uma empresa do segmento de produção de suínos, J Reis Avícola, localizada em Aquiraz/CE. O material foi coletado diretamente de biodigestor de dejetos suínos, modelo lagoa coberta, em operação na empresa. Os motores agitadores permaneceram ligados pelo período de sucção do material, que aconteceu através da tubulação de caminhão transportador de resíduos líquidos. Foram coletados três mil litros de lodo, transportados para as instalações do IST - ER e acondicionadas em caixas IBC de mil litros em temperatura ambiente. A Tabela 2, mostra os registros fotográficos realizados durante a primeira coleta de dejetos de aves, o transporte e armazenamento do material.



Figura 2- Registro fotográfico da coleta do inóculo. Fonte: Autor do Trabalho.

Módulo Biodigestor

O protótipo do Módulo Biodigestor tem o volume de total de 1m³, volume reacional de 900L, feito em caixa IBC e compostos por sistema de alimentação, saída de digerido e saída de biogás. Foi confeccionado e pintado externamente de preto de forma a proporcionar aquecimento natural do sistema através da absorção da radiação visível emitida pelo sol durante o dia. As conexões e tubulações foram preparadas utilizando material hidráulico de cloreto de polivinil (PVC) de forma a reduzir custos de produção dos módulos, com exceção da conexão de fixação da tubulação de alimentação à caixa IBC. Essa peça foi personalizada de forma a possibilitar a pressurização do biodigestor e sanar vazamentos de biogás através da conexão de alimentação.

A flange personalizada foi feita de Tecnil, usinada em CNC e instalada em conjunto com anel de vedação, parafusos na fixação e reforço de emborrachamento nas bordas com PU (Figura 3). Concluída a instalação, houve a verificação através de sonda de detecção de vazamento do analisador de biogás OPTIMA 7, a observação da pressurização do sistema e fluxo de biogás através do registro de vazão de forma a confirmar a funcionalidade da peça de forma positiva.

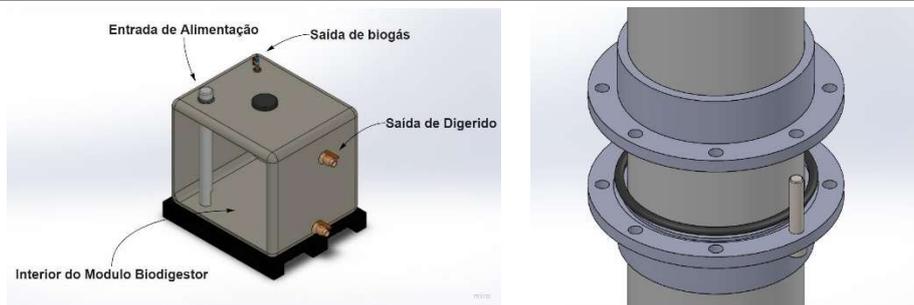


Figura 3- Design de Módulo Biodigestor e flange. Fonte: Autor do Trabalho.

Comissionamento

O comissionamento teve início no dia 10 de Junho com a inoculação dos sistemas com o Lodo, adicionando-se o volume de 900L. Em seguida foi misturado o correspondente a 1% do volume reacional com EGP, com objetivo de adaptação dos microrganismos presentes no lodo. Deu-se intervalo de cinco dias de adaptação do lodo com o substrato, bem como a digestão de possível matéria orgânica oriunda do processo anterior ao qual o lodo estava submetido

Dessa forma, no dia 16 de junho foi iniciado o período do plano de alimentação (PA), dentro dos parâmetros determinados, considerando as características do EGP e Inóculo, com duração de 10 dias. O PA tem por objetivo proporcionar adaptação do inóculo, bem como ciclagem de massa fresca a fim de descartar qualquer incremento de produção a partir de matéria remanescente no lodo. Assim, foi admitida uma Carga Orgânica Volumétrica (COV) de 4,15KgSV.m⁻³.d⁻¹, diante disso foram calculados os valores de vazão diária (Q) e Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)

Tabela 1- Parâmetros de operação.

Fonte: Do Autor, 2022.

Parâmetro	Fórmula	BM
Vazão (Q)	$Q = Volume.COV/SV_{substrato}$	30 L.d ⁻¹
Tempo de Retenção Hidráulica (TRH)	$TRH = Volume/Q$	30 dias

Desse modo, foi planejado para que o PA ocorresse de forma gradativa no período do dia 16 a 27 de Junho, obedecendo as proporções descritas nas Tabelas 3.

Tabela 2- Plano de alimentação alimentação BM.

Fonte: Do Autor, 2022.

Dia	Substrato (kg)	Inóculo (kg)	Água (kg)	Massa Total (kg)
1º	6,08	73,92	0,00	80,00
2º	14,00	66,00	0,00	80,00
3º	21,92	58,08	0,00	80,00
4º	29,84	50,16	0,00	80,00
5º	29,84	41,80	8,36	80,00
6º	29,84	33,45	16,71	80,00
7º	29,84	25,09	25,07	80,00
8º	29,84	16,73	33,43	80,00
9º	29,84	8,38	41,78	80,00
10º	29,84	0,02	50,14	80,00

Após a finalização do PA, foi iniciada a alimentação diária, com EGP e água em condições de 12 %mST, com proporção de 1:1, obtendo-se uma COV de 2,27 kgSv.m⁻³.d⁻¹. Dessa forma foi adicionado diariamente a mistura de 15 kg de EGP e 15 L de água. As quantidades correspondentes de esterco eram pesadas inicialmente, após, adicionadas junto com a água em tambor plástico, onde ocorria a mistura com auxílio de pá até a homogeneização e em seguida era



realizada a alimentação (Figura 4) O período de alimentação iniciou-se no dia 01 de Julho e se encerrou no dia 10 de Agosto, totalizando 40 dias de monitoramento do desenvolvimento do sistema em alimentação.



Figura 4- Alimentação diária do Módulo Biodigestor. Fonte: Autor do Trabalho.

Monitoramento

Foram realizadas coletas periódicas de amostras da mistura de alimentação e também dos digeridos. Logo após a realização da coleta, as amostras eram encaminhadas para o Laboratório de Química do ISTEMM para a realização das análises. Os ensaios de monitoramento realizados diariamente foram dos parâmetros: pH, Temperatura (T), Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis (SV), Sólidos Fixos (SF), Umidade (H), Alcalinidade (AP), Ácidos Orgânicos Voláteis (AI), Metano (CH₄), Sulfeto de Hidrogênio (H₂S), Dióxido de Carbono (CO₂) e Geração de Biogás. A composição e concentração do biogás foi verificada diariamente com o auxílio do analisador portátil de biogás OPTIMA 7 (Figura 9). O Analisador de biogás portátil, determina a composição do biogás e mede, simultaneamente, quatro gases (CH₄, CO₂, H₂S e O₂) e pode ser ligado à sonda HC400 para detecção de vazamento de biogás.



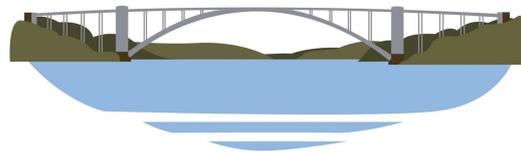
Figura 5- Realização de testes com analisador Optima7. Fonte: Autor do Trabalho.

A análise de composição do biogás foi realizada diariamente através de válvula de amostragem a jusante do sistema de medidor de vazão de biogás. Já a identificação de possíveis pontos de vazamento de biogás, foi realizada com o auxílio de sonda HC400. O teste consistiu na aproximação da sonda de pontos vulneráveis a vazamento e sinalização sonora do equipamento em caso positivo.

RESULTADOS

Caracterização do EGP e inóculo

A Tabela 5, mostra os resultados das análises das amostras de lodo (INÓCULO) e dejetos de aves coletados na gaiola de confinamento de aves (EGP), referente a concentração de sólidos e teor de água. O percentual de sólidos totais voláteis da amostra INÓCULO é 35,34%, com composição predominante de água (97,08%), acima de 90%. Dessa forma, indica-se que a produção de biogás oriundo de matéria orgânica remanescente no lodo será de contribuição



insignificante, devido ao menor percentual de sólidos totais voláteis. Ao contrário do EAP, que apresentou percentual de sólidos totais voláteis de 57,27%, com valor reduzido de água na composição (78,22%) quando comparado com o INÓCULO apontando assim que a produção de biogás será de contribuição majoritária do substrato. Contudo, vale salientar que o inóculo é usado apenas como fonte de microorganismos.

Tabela 3- Caracterização do Inoculo e EGP.

Fonte: Do Autor, 2022.

Determinação	Esterco de Aves de Postura	Lodo
ST [g/gMF]	0,2178	0,0291
STF [g/gMF]	0,0931	0,0188
STV [g/gMF]	0,1247	0,0103
U [%]	78,22	97,09
ST [%]	21,77	2,91
STF [%]	42,70	64,65
STV [%]	57,29	35,34

A Figuras 6 e 7 mostram a produção diária de biogás e metano, bem como os resultados de volume total gerado durante o período de monitoramento. A média de produção diária de biogás foi 0,995Nm³, já o volume final gerado foi de 36,81Nm³. Com taxa média de metano 55,12% molar, o volume total produzido foi de 20,43Nm³.

A Figura 6 apresenta que houve produção diária inconstante, não uniforme, evidenciando comportamento dinâmico de produção. No entanto, durante o comissionamento nos dias 19 e 26 houve perda de material reacional (lodo) do interior do biodigestor devido bloqueio acidental do fluxo de biogás que estava a ser gerado. Dessa forma, ocorreu a pressurização elevada no interior do sistema e era gerada de forma natural o retorno do lodo pela tubulação de alimentação. Dessa forma há a possibilidade de haver influência na representatividade do comportamento de produção diária.

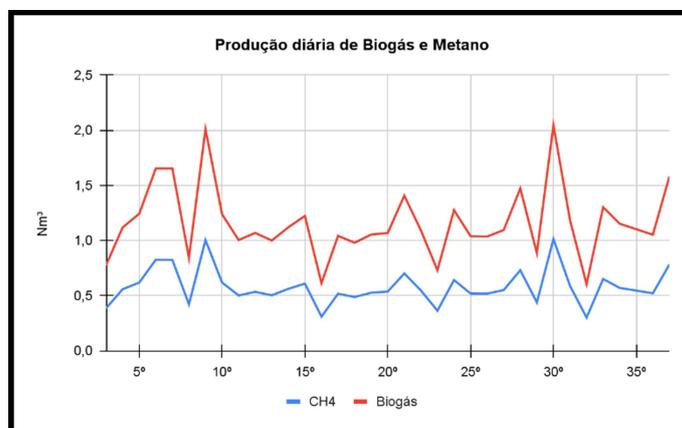
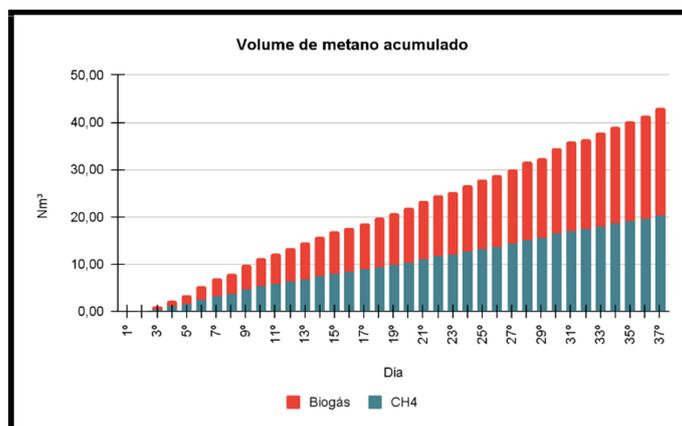


Figura 6- Gráfico de produção diária de biogás. Fonte: Autor do Trabalho.



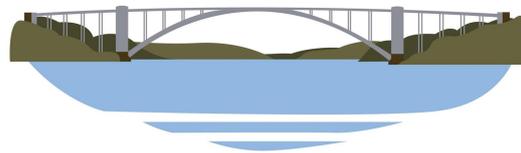


Figura 7- Gráfico de volume acumulado de metano gerado. Fonte: Autor do Trabalho.

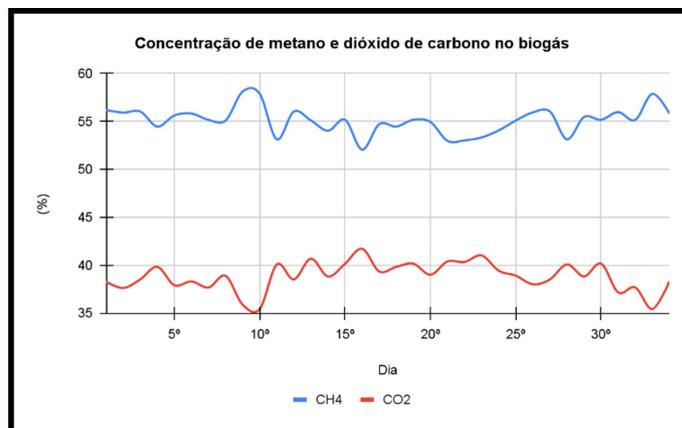


Figura 8- Gráfico de concentração de metano e dióxido de carbono no biogás. Fonte: Autor do Trabalho.

O decrescimento de concentração de sulfeto de hidrogênio no biogás pode ser observado na Figura 9. No início do monitoramento o teor de H₂S era próximo de 3700 ppm, porém apresentou taxa de redução significativa nos seis primeiros dias. Assim, a partir do sétimo dia manifestou tendência a equalizar geração. Os valores iniciais elevados podem ser ainda oriundos do processo anterior ao que o lodo estava submetido, já que o substrato utilizado na fonte de origem do inóculo era dejetos de suínos, característico por alta produção de sulfeto de hidrogênio quando submetido a processo de tratamento anaeróbio.



Figura 9- Gráfico de Sulfeto de hidrogênio no biogás. Fonte: Autor do Trabalho.

A Figura 10 exibe o rendimento de produção de metano do período de comissionamento e monitoramento do módulo biodigestor. O rendimento médio de produção de metano, com taxa de 55% molar de metano, variou de máxima de 67,54 Nm³CH₄.Ton⁻¹MF e mínima de 20,03 Nm³CH₄.Ton⁻¹MF, com média de 36,91 Nm³ de metano por tonelada de substrato. Resultados próximos foram observados por Silva et al. (2019), foi obtido rendimento de 35 Nm³CH₄.Ton⁻¹MF, entretanto a aplicação de esterco de aves ocorreu em reator UASB. No entanto, ressalta-se que vários fatores que podem afetar o rendimento de metano na biodigestão anaeróbia, como a composição do substrato, o tipo de biodigestor, as condições de operação e o tempo de manutenção hidráulica.

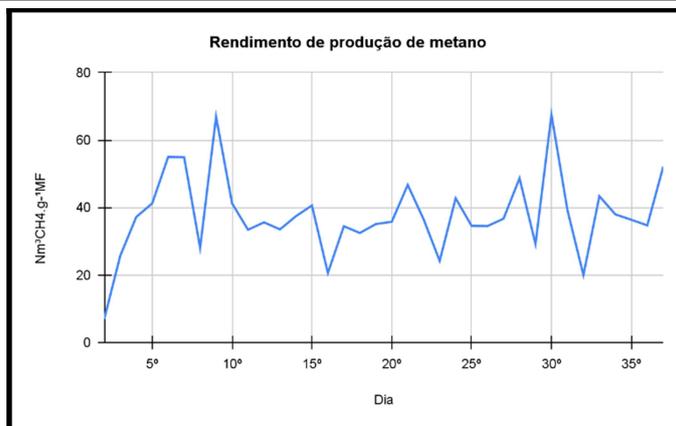
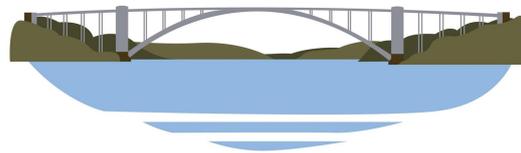


Figura 10- Gráfico de rendimento de produção de biogás. Fonte: Autor do Trabalho.

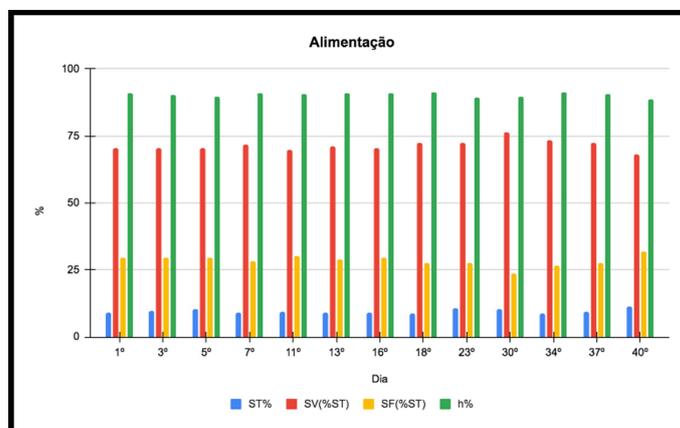


Figura 11- Gráfico de Teor de sólidos na alimentação do BM. Fonte: Autor do Trabalho.

A caracterização da alimentação durante o período de monitoramento, foi realizada para parâmetro de controle de monitoramento de teor de sólidos após a diluição do esterco a ser adicionado no módulo biodigestor diariamente. É possível analisar na Figura 11 que houve a homogeneidade desses parâmetros durante o período de monitoramento, sendo a média de percentual de sólidos totais de 9,24%, para umidade 90,76%, ambos com desvio padrão de 0,88 indicando baixo desvio. Para sólidos voláteis a média foi de 70,99%, sólidos fixos 29,01%, com desvio padrão de 2,02, estes com desvio superior aos parâmetros anteriores, porém ainda indicando baixa dispersão e homogeneidade representativa das características do esterco e da diluição. Tais resultados indicam que durante o acondicionamento do volume total de esterco a ser utilizado diariamente em câmara fria, foi eficiente quanto a pausar o processo de decomposição natural da matéria orgânica garantindo a preservação das características iniciais.

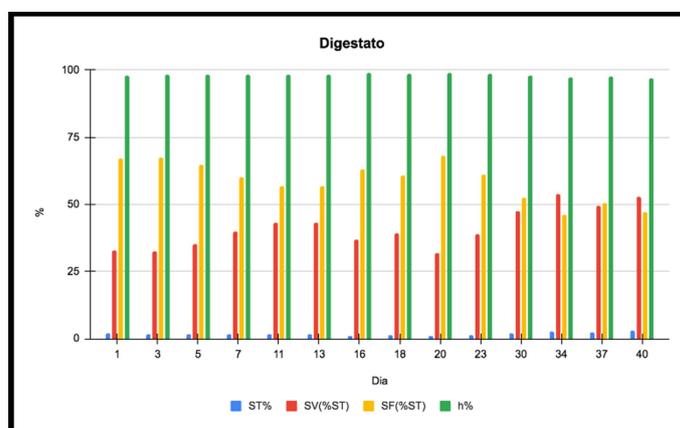
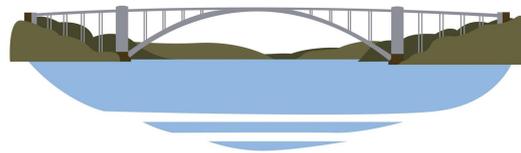


Figura 12- Gráfico de Teor de sólidos no digestato do MB. Fonte: Autor do Trabalho.



As análises de sólidos do digerido durante o período de monitoramento, está expressa na Figura 12. A média de percentual de sólidos totais foram de 1,70%, para umidade 98,30%, ambos com desvio padrão de 0,59 indicando baixo desvio, e homogeneidade desses parâmetros durante o período de monitoramento. Para sólidos voláteis a média foi de 39,42%, sólidos fixos 60,58%, com desvio padrão de de 7,34, indicando dinâmica metabólica quanto a redução de sólidos durante o período de monitoramento. Por se tratar de um sistema sem agitação, esse perfil de concentração de sólidos e teor de umidade representa as características do volume superior “sobrenadante”, de forma que na parte inferior há tendência de acúmulo maior de sólidos fixos devido o processo de decantação quanto a incorporação na biomassa do lodo reacional.

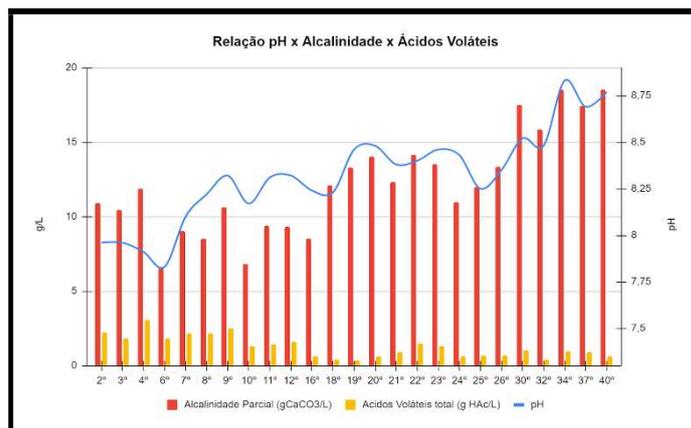


Figura 13- Gráfico de pH, Alcalinidade e Ácidos Orgânicos Voláteis. Fonte: Autor do Trabalho.

Ao verificar o gráfico 13, os resultados apresentados indicam que durante o período de monitoramento houve uma tendência de aumento de pH chegando ao máximo de 8,83. Indicando possível redução da atividade das arqueas metanogênicas, já que elas são extremamente sensíveis ao pH, com um valor ótimo de produção entre 6,7 e 7,5. O crescimento do pH é importante de ser observado devido principalmente às características do substrato o qual foi utilizado.

O esterco de aves é rico em uréia e proteínas, com alto potencial de liberação de amônia, assim pode haver a reação com o ácido carbônico presente na solução, formando bicarbonato, podendo resultar em aumento gradual do pH ao longo do tempo (LIU et al., 2021). Assim observa-se a dinâmica de crescimento da alcalinidade parcial, com a redução da concentração de ácidos orgânicos voláteis. Como também a relação desses dois parâmetros (relação AI/AP), com relação $< 0,3$ sinalizando subcarga do reator.

CONCLUSÕES

Por meio dos resultados obtidos, foi possível observar ao utilizar com substrato o dejetos de aves de postura no processo de biodigestão em biodigestor de 1m³ houve rendimento considerável de geração de biogás e metano com média de 36,91 Nm³ CH₄.Ton⁻¹MF. Principalmente em pouco tempo de monitoramento, com sistema de baixo custo e sem controle de agitação e temperatura.

Houve a indicação que há a possibilidade de inibição de por aumento de pH. A relação entre a alcalinidade de ácidos orgânicos voláteis, indicaram que talvez haja a necessidade de aumentar a COV aplicada com o intuito de estabilizar a relação AI/AP.

Agradecimentos

Expressa-se profunda gratidão à 3E Engenharia por sua contribuição na concepção e construção do módulo biodigestor em escala piloto. Como também ao SENAI Departamento Regional do Ceará e Instituto SENAI de Tecnologia em Eletrometalmecânica por proporcionar o desenvolvimento desta pesquisa fornecendo técnicos, instalações e equipamentos necessários para a realização dos experimentos. Este estudo faz parte do projeto Módulo Geração de



Energia Elétrica Através de Dejetos Orgânicos de Pequenas Propriedades Rurais, fomentado através da Plataforma de Inovação para Indústria, por meio da categoria Aliança Industrial do Departamento Nacional do SENAI.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWW, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater. American Public Health Association, Washington, DC., 2006.**
2. FNR – Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe. **Guia Prático do Biogás Geração e Utilização.** Alemanha: FNR, 2010.
3. CORTEZ, L.A.B., DA SILVA, A., JÚNIOR, J.de L., JORDAN, R.A., DE CASTRO, L.R. **“Biodigestão de efluentes” em Biomassa para energia.** CORTEZ, L.A.B. (org.), E.E.S. Lora (org.), e GOMÉZ, E.O. (org), Eds. Campinas, São Paulo: UNICAMP. 734o. 2008. 495-530 p.
4. CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Vol. 5. Reatores anaeróbios. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - UFMG, 2019.
5. GUSMÃO, M. M. F. C. C.; DAL MAGO, A.; ARAUJO, I. S.; OLIVEIRA, P. A. V.; BELLI FILHO, P. **Diagnostico da produção de biogás em reatores anaeróbios no tratamento de dejetos de suínos em Santa Catarina.** In: 31o Congresso Interamericanos de Ungenieria Sanitaria y Ambiental, 2008, Santiago. 31o Congresso Interamericanos de Ungenieria Sanitaria y Ambiental. Santiago : AIDIS, 2008. v. 31. p. 1-11.
6. Liu, R., Wei, Y., Wang, X., Zhang, Q., & Wang, X. (2021). **Efeitos da amônia na digestão anaeróbica de resíduos alimentares: desempenho, comunidade microbiana e vias metabólicas.** Journal of Environmental Management, 295, 113070.
7. PORTAL DO BIOGÁS. **Potencial de geração do biogás.** Belém (PA): Portal do Biogás/Grupo EMA, [20??]. Disponível em: <https://www.portaldobiogas.com/potencial-de-geracao-de-biogas/>. Acesso em: 26 março. 2022.
8. USP. **Métodos analíticos aplicados ao monitoramento de processos biológicos de tratamento de águas residuárias.** (2021). In Métodos analíticos aplicados ao monitoramento de processos biológicos de tratamento de águas residuárias. Universidade de São Paulo. Escola de Engenharia de São Carlos. <https://doi.org/10.11606/9786586954067>
9. Silva, CF, Oliveira, RAR, Lima, VF, & Leite, LFC (2019). **Produção de biogás a partir de esterco de galinha: Influência da taxa de carga orgânica em um reator UASB.** Revista Brasileira de Desenvolvimento, 5(7), 11972-11980.
10. Sérgio F. de Aquino, Silvana de Queiroz Silva, Carlos A. L.Chernicharo. Nota técnica: **Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (dco) aplicado a análise de efluentes anaeróbios.** Eng. sanit. Ambiental. Vol.11 - No 4 - out/dez 2006, 295-304.