

Produção de biogás a partir da fermentação de sorgo sacarino in natura, resíduos de frutas e dejetos de animais

Production of biogas from the fermentation of green sweet sorghum, fruit residues and animal waste

DOI: 10.34188/bjaerv6n1-055

Recebimento dos originais: 20/12/2022

Aceitação para publicação: 02/01/2023

Neiton Silva Machado

Doutor em engenharia agrícola pela Universidade Federal de Viçosa - UFV
Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus Ciências Agrárias –
Colegiado de Engenharia Agrônômica
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: neiton.machado@univasf.edu.br

Daniel Judson da Silva Alves

Bacharel em zootecnia pela Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus Ciências
Agrárias
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: d.judson96@gmail.com

Michelly Yumi Ferreira Otsuka

Discente de engenharia agrônômica na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus
Ciências Agrárias
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: michelly_yume@hotmail.com

Amanda Aparecida Martins Freire

Discente de engenharia agrônômica na Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus
Ciências Agrárias.
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: amandann0@gmail.com

Kátia Araujo da Silva

Mestre em agronomia/produção vegetal pela Universidade Federal do Vale do São Francisco –
Univasf
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: katia_a.s@outlook.com

Bruno França da Trindade Lessa

Doutor em agronomia/fitotecnia pela Universidade Federal do Ceará - UFC
Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus Ciências Agrárias –
Colegiado de Engenharia Agrônômica
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: bruno.ftlessa@univasf.edu.br

Wagner Pereira Felix

Doutor em bioquímica pela Universidade Federal do Ceará - UFC
Instituição: Universidade Federal do Vale do São Francisco – Campus Ciências Agrárias –
Colegiado de Zootecnia
BR 407, km119, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Lote 543, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: wagner.felix@univasf.edu.br

Fábio Freire de Oliveira

Doutor em técnicas energéticas e nucleares pela Universidade Federal do Pernambuco - UFPE
Instituição: Instituto Federal do Sertão Pernambucano – Campus Zona Rural.
PE 647, km 22, Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, Núcleo 4, Petrolina – PE – Brasil
E-mail: fabio.freire@ifsertao-pe.edu.br

RESUMO

Com o aumento populacional existe uma demanda crescente na produção de alimentos de origem animal e vegetal. Os atuais sistemas de produção, normalmente, apresentam perdas significativas ao longo de toda cadeia produtiva gerando grande volume de resíduos. Neste contexto, os biodigestores anaeróbicos surgem como proposta vantajosa na solução do problema tratando os resíduos, produzindo biogás e biofertilizantes. Objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial de produção de biogás a partir da fermentação anaeróbia da biomassa de sorgo sacarino, resíduos de acerola, resíduos de goiaba, dejetos de bovinos e dejetos de caprinos confinados. Caracterizaram-se os efluentes e afluentes dos biodigestores quanto aos parâmetros físicos (Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis) e físico-químicos: (pH e Condutividade Elétrica), calculou-se o rendimento ($L_{\text{biogás}} \text{kg}^{-1}_{\text{sv.ad}}$), a produtividade ($L_{\text{biogás}} L^{-1}_{\text{reator}} \text{d}^{-1}$) de biogás e a Carga Orgânica Volumétrica adicionada COV_{ad} ($\text{kg}_{\text{sv}} L^{-1}_{\text{reator}} \text{d}^{-1}$). O experimento foi conduzido no *Campus* de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Vale do São Francisco com tempo de retenção hidráulica de 42 dias, por meio de delineamento em blocos casualizados (DBC). A produção de biogás a partir da fermentação anaeróbia de dejetos de bovinos e caprinos foi superior aos demais tratamentos de biomassa vegetal. Os parâmetros físicos: Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis, dos efluentes e afluentes dos biodigestores, apresentaram valores similares aos encontrados na literatura para ambos os tratamentos. Os parâmetros físico-químicos: pH e Condutividade Elétrica dos efluentes e afluentes dos biodigestores não permaneceram dentro das faixas, denominadas ideais, descritas na literatura para produção de biogás, exceto os tratamentos com dejetos de origem animal. O dejetos bovino apresentou maior rendimento ($15,586 L_{\text{biogás}} \text{kg}^{-1}_{\text{sv.ad}}$) e maior produtividade ($0,0206 L_{\text{biogás}} L^{-1}_{\text{reator}} \text{d}^{-1}$) de biogás em relação aos demais tratamentos com uma COV média de $0,371 \text{ kg}_{\text{sv}} L^{-1}_{\text{reator}} \text{d}^{-1}$

Palavras-chave: biogás, dejetos bovino, dejetos caprino, acerola, goiaba, sorgo

ABSTRACT

With the increase in population there is a growing demand in the production of food of animal and plant origin. Current production systems usually present significant losses throughout the entire production chain, generating a large volume of waste. In this context, the anaerobic digesters appear as an advantageous proposal in the solution of the problem treating the residues, producing biogas and biofertilizers. The objective of this work was to evaluate the potential of biogas production from the anaerobic fermentation of sweet sorghum biomass, acerola residues, guava residues, confined cattle manure and goat manure. The effluents and influents of the biodigesters were characterized in terms of physical parameters (Total Solids, Fixed Solids and Volatile Solids) and physicochemical: (pH and Electrical Conductivity), the yield ($L_{\text{biogás}} \text{kg}^{-1}_{\text{sv.ad}}$) at productivity ($L_{\text{biogás}} L^{-1}_{\text{reator}} \text{d}^{-1}$) of biogas and the Volumetric Organic Charge added VOC_{ad} ($\text{kg}_{\text{sv}} L^{-1}_{\text{reator}} \text{d}^{-1}$). The experiment was carried out at the Agricultural Sciences campus of the Universidade Federal do Vale

do São Francisco with a hydraulic retention time of 42 days, using a randomized block design (RBD). The production of biogas from the anaerobic fermentation of cattle and goat manure was superior to the other treatments based on plant biomass. Physical parameters: Total Solids, Fixed Solids and Volatile Solids, of the effluents and tributaries of the biodigesters, showed values similar to those found in the literature for both treatments. The physicochemical parameters: pH and Electrical Conductivity of the effluents and tributaries of the biodigesters did not remain within the ranges, called ideals, described in the literature for biogas production, except for animal waste. Bovine manure showed higher yield ($15.586 \text{ L}_{\text{biogas}} \text{ kg}^{-1} \text{ vsad}$) and higher productivity ($0.0206 \text{ L}_{\text{biogas}} \text{ L}^{-1} \text{ reactor d}^{-1}$) of biogas in relation to the other treatments with an average added volumetric organic load of $0.371 \text{ kg}_{\text{vs}} \text{ L}^{-1} \text{ reactor d}^{-1}$.

Keywords: biogas, cattle manure, goat manure, acerola, guava, sorghum

1 INTRODUÇÃO

O considerável crescimento na atividade do agronegócio acarretou acréscimo do consumo de insumos e da produção de resíduos nas atividades agropecuária e agroindustrial. A produção de resíduos está relacionada ao desperdício na utilização de insumos, às perdas entre a produção e o consumo, e aos materiais que, produzidos ao longo da cadeia agroindustrial, não apresentam valor econômico relevante. Dessa forma, o reaproveitamento de resíduos é, sem dúvida, a opção mais significativa sob o ponto de vista econômico, ambiental, e até social. A reutilização de resíduos apresenta um ganho incontestável: a diminuição do problema ambiental que configura seu descarte impróprio.

Sousa et al. (2020) avaliando o retorno de investimento de sistemas de tratamento de resíduos da pecuária, observaram que os melhores resultados econômicos estão associados aos produtores que inclui geração de energia elétrica, biofertilizante e créditos de carbono com tempo médio de retorno financeiro de nove anos. Ademais, observaram que 73% dos produtores avaliados não exploravam o valor econômico dos resíduos tratados, mantendo seus investimentos apenas com o intuito de contemplar a legislação ambiental vigente.

Neste contexto, o problema da destinação dos resíduos de origem animal (bovinos e caprinos), criações estas muito difundidas no nordeste brasileiro, recebem pouca atenção por parte das entidades de pesquisa e de regulamentação sanitária e de meio ambiente nesta região.

De acordo com Araújo e Silva (2013), o Polo Frutícola Petrolina/Juazeiro, situado no semiárido brasileiro, é uma área que vivenciou uma significativa transformação do seu espaço agrário depois de receber investimentos do governo para o aprimoramento da sua atividade agrícola. Os investimentos nas técnicas de irrigação favoreceram aos produtores a cultivar culturas mais valorizadas no mercado, como também expandir sua rede comercial para o exterior. Nesse enfoque econômico, a geração de resíduos por parte das empresas localizadas neste polo necessita de uma estratégia para o gerenciamento desses resíduos, adotando alternativas que evitem impactos

ambientais. A utilização de biodigestores é uma alternativa tecnológica interessante para o gerenciamento destes resíduos vegetais associados aos dejetos de origem animal. Pois, o biodigestor além de produzir biogás, que pode ser convertido em diversas formas de energia, produz também o biofertilizante, uma excelente fonte de nutrientes para as plantas cultivadas nesta região. Além disso, com o crescente aumento dos preços dos fertilizantes minerais, a procura por fontes de fertilizantes orgânicos tem aumentado significativamente.

Os resíduos de origem vegetal normalmente são obtidos durante as etapas do processamento de frutas, hortaliças e vegetais no geral, no qual são recolhidos os materiais não aproveitados nesta atividade, tais como os refugados, cascas e centros das frutas, as sementes, os caroços e o bagaço (PIRES; MATTIAZZO, 2008). O volume das perdas na agroindústria é bastante considerável, o que evidencia a importância e a necessidade da ampliação e busca por parâmetros técnicos atualizados.

Dentre as culturas com potencial energético, destaca-se o sorgo sacarino, pelo crescimento rápido, em que sua biomassa tem capacidade de armazenar carboidratos (MOLAVERDI et al., 2013). Essa planta forrageira por suas excelentes propriedades adaptativas vem substituindo o milho, cultura mais exigente muito disseminada no Nordeste. Aguilá et al. (2020) estudando o melhor arranjo de plantas para os genótipos de sorgo sacarino, concluíram que esta variável não acarreta diferenciação na produção de massa verde, na produção de caldo e na quantidade de açúcares parciais presentes no caldo (°Brix) para genótipos BR 506 e BR 511, nas condições experimentais. Neste sentido, estudos agregando valor a essa biomassa traz valorização para a mesma e o conhecimento para utilizá-la, não somente, na alimentação animal, mas em fontes de energia renováveis como produção de etanol e biogás.

Yuan et al. (2022) realizando uma revisão sobre a atualização de biogás em sistemas de digestão anaeróbica tratando sólidos orgânicos e efluentes via recirculação de biogás, observaram que a recirculação de biogás no reator pode não apenas aumentar o teor de metano por meio de efeitos físico-químicos e biológicos, mas também ajudar a estabelecer um sistema de digestão anaeróbio mais robusto com alta capacidade de tamponamento para tratamento altamente eficiente de vários resíduos orgânicos. Ademais, os autores afirmam que mais trabalhos de pesquisa são necessários para uma melhor compreensão dos mecanismos e a otimização de todo o sistema de digestão anaeróbio, visando seu maior desenvolvimento para a produção de bioenergia de alto teor calórico.

Neste contexto, objetivou-se com este trabalho avaliar o potencial de produção de biogás a partir da fermentação anaeróbia da biomassa de sorgo sacarino in natura, resíduos de acerola, resíduos de goiaba, dejetos de bovinos e caprinos confinados. Caracterizar os efluentes e afluentes dos biodigestores quanto aos parâmetros físicos (Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis)

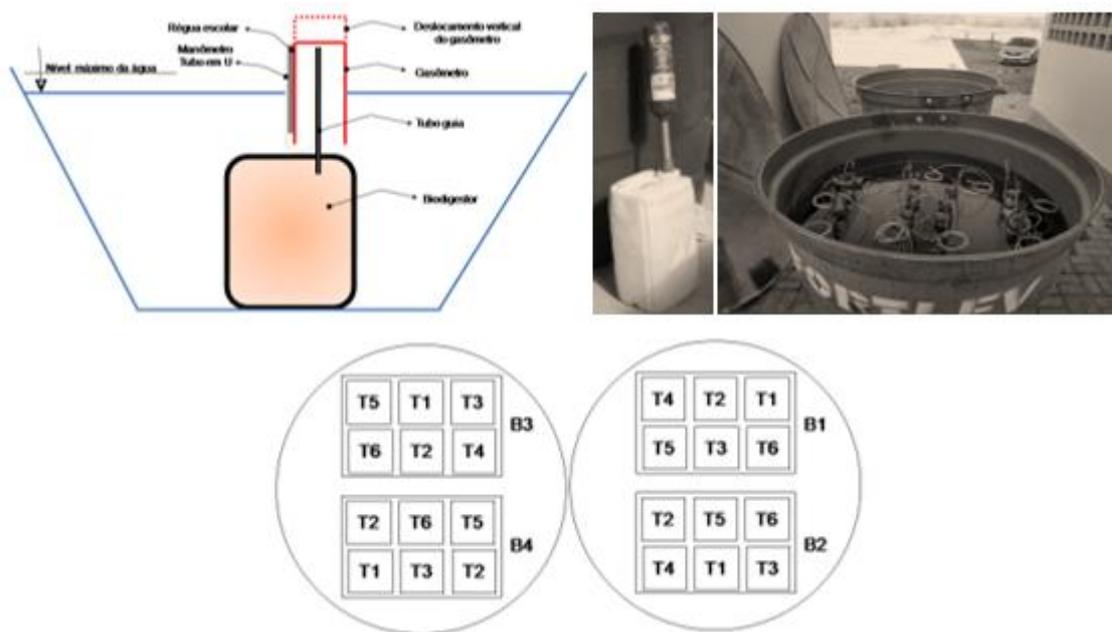
e físico químicos: (pH e Condutividade Elétrica). Calcular o rendimento ($L \text{ biogáskg}^{-1} \text{svad}$), a produtividade ($L \text{ biogásL}^{-1} \text{reatord}^{-1}$) de biogás e a Carga Orgânica Volumétrica adicionada COV_{ad} ($\text{kgsV} \text{L}^{-3} \text{reatord}^{-1}$)

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no laboratório de Construções Rurais do Colegiado de Engenharia Agrônômica – CEAGRO, localizado no Campus de Ciências Agrárias - CCA da Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, município de Petrolina-PE (latitude: $09^{\circ}19'19''$ S, longitude: $40^{\circ}32'42''$ O), no período de setembro a novembro de 2019.

Os biodigestores, de bancada, tipo batelada, gasômetro, câmara fermentativa e manômetros foram construídos com material alternativo de baixo custo. Os gasômetros foram construídos com cápsulas (cilindros) de extintores de incêndio de 1 kg com aproximadamente 75 cm de diâmetro interno. Efetuou-se um corte transversal na extremidade superior do extintor transformando-os em copos metálicos com aproximadamente 30 cm de altura. Os reatores anaeróbios (câmaras fermentativas) foram construídos com tambores plásticos de 13 litros. As conexões dos gasômetros aos reatores foram por meio de tubos de PVC, luvas de PVC LR azul, adaptadores de PVC e anéis de borracha de vedação, ambos de 20 mm de diâmetro interno. A fixação do gasômetro ao tubo guia de subida da câmara fermentativa (biodigestor) se deu pela simples colocação do gasômetro (copo metálico) de boca para baixo sobre a extremidade do tubo de PVC de 20mm (Figura 1).

Figura 1. Vista geral do sistema de biodigestor de bancada confeccionado com material alternativo de baixo custo disponível no laboratório



Na parte externa de cada gasômetro foram fixados os manômetros de tubo em U aberto. Estes foram produzidos com régua escolar graduada de 40 cm e mangueira acrílica de 1/4 de polegadas de diâmetro, presos aos gasômetros com presilhas de nylon. O fluido manométrico utilizado foi água pura.

Os tratamentos foram produzidos a partir de plantas de sorgo sacarino in natura (verde) colhidos na área experimental do grupo de estudo em Engenharia de Biosistemas e Convivência com o Semiárido - EngBICS localizado no CCA-UNIVASF; os dejetos de bovinos e caprinos foram recolhidos nos setores de bovinocultura e caprinocultura da UNIVASF e os resíduos de acerola e goiaba foram doados pela indústria de Polpa do Vale LTDA.

Inseriu-se uma massa, previamente calculada, dos resíduos triturados nos reatores e em seguida adicionou-se água bruta (sem cloro) até completar a massa de 10 kg de efluente contidos dentro de cada galão, obtendo-se assim uma mistura fluída com aproximadamente 10% de sólidos. Foi adicionado 500g de inóculo (esterco bovino fresco) em cada biodigestor, com intuito de garantir e padronizar a colonização microbiana do material orgânico a ser digerido anaerobicamente.

Os biodigestores foram inseridos dentro de um sistema de controle das oscilações térmicas diárias. Este sistema foi construído com duas caixas d'água de 3000 litros reformadas com fibra de vidro, resina e catalisador. As duas caixas foram preenchidas com água bruta (não clorada), de modo que os níveis ficassem próximos a cobertura total do gasômetro, conforme ilustrado na Figura 1.

A coleta dos dados de produção foi realizada, diariamente, por um período de 30 dias, após os 12 dias iniciais de partida (ambientação dos biodigestores), nos períodos matutino e vespertino. Foi aferido o deslocamento do gasômetro, deslocamento do menisco do manômetro, temperatura do biogás, temperatura da água das caixas, temperatura e umidade relativa do ar ambiente.

O volume de biogás produzido, diariamente, foi calculado utilizando a equação de volume de um cilindro regular, em que o deslocamento do gasômetro (altura) e diâmetro do cilindro são conhecidos e, conseqüentemente, a área da base do gasômetro. O volume foi calculado usando a equação 1:

$$V_m = (\pi d^2) / 4 \times h \quad \text{(Equação 1)}$$

Em que:

V = volume medido em cm³

π = relação entre o comprimento da circunferência e o diâmetro da mesma = 3,14...

h = altura em cm

d = diâmetro interno do gasômetro (cm)

A padronização do volume do biogás produzido foi corrigida de acordo com a Lei geral dos gases ou lei combinada dos gases (Lei de Boiler; Lei de Charles e Lei de Gay-Lussac), conforme proposto por Caetano (1985), Eckert et al. (2015), Matos et al. (2017) equação 2:

$$V_p = t_p/t_m \times p_m/p_p \times V_m \quad (\text{Equação 2})$$

Em que:

- Vp = Volume padrão
- pp = Pressão padrão
- tp = Temperatura padrão
- Vm = Volume medido
- pm = Pressão medida
- tm = Temperatura medida

Considerando que a pressão foi medida com um manômetro de tubo em U aberto, tem-se as equações 3 e 4. Aplicando essas equações na equação 2, obtém-se a equação 5, que é a equação geral para efetuar a correção do volume de biogás para pressão e temperatura normalizada.

$$p_m = p_{\text{local}} \times \rho \times g \times h \quad (\text{Equação 3})$$

$$p_m = 9891,5 \times 1000 \times 9,81 \times h \quad (\text{Equação 4})$$

$$V_p = 293/t_n \times (9891,5 \times 1000 \times 9,81 \times h) / 10332,3 \times V_m \quad (\text{Equação 5})$$

Em que:

- Vp = Volume de biogás corrigido para a condição padrão (1 atm; 20 °C)
- Vm = Volume de biogás medido (m³)
- tm = Temperatura do biogás medida (K)
- plocal = Pressão atmosférica média local (Petrolina 970 hPa = 9891,5 mmH₂O)
- h = Coluna de líquido (água) deslocado no manômetro (m)
- ρ = Peso específico do fluido manométrico (água = 1000 kgm⁻³)
- g = Aceleração da gravidade (9,81 ms⁻²)

Todas as análises físicas e físico-químicas foram efetuadas de acordo com as metodologias descritas no livro série didática - qualidade do meio físico ambiental - práticas de laboratório (MATOS, 2012), conforme breve descrição que segue.

Para determinação dos sólidos totais, voláteis e fixos foram coletados 40g de cada amostra, estas inseridas em cadinho (50 mL) previamente calcinado. As determinações das massas foram todas realizadas em balança analítica, sendo determinada a massa do cadinho e da amostra úmida. Em seguida, as amostras foram transportadas para a estufa de circulação forçada a 70°C por 48 horas, para determinação dos sólidos totais. Posteriormente a secagem na estufa, o material foi macerado em moinho de bola, transferido ao forno mufla a 550°C (a fim de determinar os sólidos fixos e voláteis do material) por aproximadamente 5 horas, período este suficiente para volatilizar

toda a matéria orgânica presente nos resíduos de cada tratamento. Para determinação dos sólidos totais, sólidos voláteis totais e sólidos fixos totais foram utilizadas as seguintes equações (6, 7 e 8):

$$s_{t}=(m_{s}-m_{r})/(m_{u}-m_{r})\times 100 \quad (\text{Equação 6})$$

$$[sv]_{t}=(m_{s}-m_{c})/(m_{s}-m_{r})\times 100 \quad (\text{Equação 7})$$

$$[sf]_{t}=(m_{c}-m_{r})/(m_{s}-m_{r})\times 100 \quad (\text{Equação 8})$$

Em que:

- st = Sólidos totais (dagkg-1 ou %)
- svt = Sólidos voláteis totais (dagkg-1 ou%)
- sft = Sólidos fixos totais (dagkg-1 ou %)
- ms = Massa da amostra seca a 105°+ mr (g)
- mr = Massa do recipiente (g)
- mu = Massa da amostra úmida + mr (g)
- mc = Massa do resíduo após combustão + mr (g).

O potencial hidrogeniônico (pH) foi determinado por meio de potenciômetro previamente calibrado com soluções tampão de pH = 4 e pH = 7. O eletrodo foi emergido dentro da amostra e anotado o resultado estabilizado no display, a cada amostra o eletrodo era lavado com água destilada e enxugado com papel toalha de textura macia, uma vez que estes dados foram coletados para cada amostra. A Condutividade Elétrica (C.E.) foi determinada através de um condutivímetro de bancada, marca Lucadema, modelo Luca 150P também previamente calibrado, tendo seus procedimentos de medições semelhantes aos do pH.

A dosagem de proteína foi realizada no laboratório de bioquímica do CCA-UNIVASF, utilizando-se o método de Bradford (BRADFORD,1976). Este método baseia-se na observação do Azul Brilhante de Coomassie G-250, com a observação da conversão da coloração vermelha para azul após ligação à proteína. O complexo é formado rapidamente (2 min.), permanece disperso em solução por um tempo relativamente longo (1h) e tem um alto coeficiente de extinção, permitindo grande sensibilidade na dosagem das proteínas. As soluções usadas neste método foram: solução de NaCl 0,15 mol L⁻¹, solução de proteína 1 mgmL⁻¹ e outras.

O preparo dos reagentes para solução do reagente de Bradford: 100 mg de Azul de Coomassie G - 250, dissolvido em 50 mL de Etanol P.A.; 100 mL de Ácido Fosfórico (H₃PO₄) 85%, Água miliQ 1000 mL. Para o preparo foi necessário dissolver o Azul de Coomassie em Etanol P.A. e, posteriormente, adicionar o Ácido Fosfórico 85%, homogeneizar bem (5 min). Completar o

volume com Água miliQ. A curva padrão para dosagem de proteínas foi construída utilizando-se Albumina do Soro Bovino (B.S.A.).

Inicialmente, os tubos Falcons foram homogeneizados na centrífuga por 30 minutos a 4000 rpm. Logo após, foi retirado 50 µL de cada amostra e depois transferidos para um novo tubo Falcon de 15 mL, esse procedimento foi realizado 3 vezes em cada amostra a fim de se obter as triplicatas (totalizando 72 amostras e a testemunha). Posteriormente, foram adicionados 2,5 mL do reagente de Bradford. Ao fim, todas foram agitadas no vortex e aguardou 10 minutos para depois ler a absorbância em 595 nm no espectrofotômetro.

Delineamento experimental e análise estatística

O delineamento foi realizado em blocos casualizados (DBC) com seis tratamentos (T1: resíduo de sorgo; T2: resíduo de acerola; T3: resíduo de goiaba; T4: mix (1/3 de sorgo, 1/3 de resíduos de goiaba e 1/3 de resíduo de acerola – proporção em massa seca); T5: esterco bovino e T6: esterco caprino) e quatro blocos (dois blocos por caixa) conforme ilustrado na Figura 1.

A normalidade dos dados e dos resíduos foi verificada por meio do teste de Shapiro Wilk. Verificou-se também a homogeneidade da variância e em seguida efetuou-se a ANOVA (análise de variância). As médias foram comparadas usando o teste de Tukey a 5% de probabilidade ou t de Student. Para as variáveis que não apresentaram normalidade dos resíduos, foi realizada a transformação Box-Cox (logarítmica). Para as variáveis que não apresentaram homogeneidade das variâncias, efetuou-se o teste não paramétrico de Man White. Calculou-se a correlação entre as variáveis utilizando o coeficiente de Pearson. Todas as análises foram realizadas no software SigmaPlot 11.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 detalha os valores obtidos na determinação de sólidos, sendo estes: Sólidos Totais (ST), Sólidos Voláteis Totais (SVT), Sólidos Fixos Totais (SFT) nos efluentes e afluentes dos biodigestores.

Em relação aos ST, SVT e SFT, foi observado que o resíduo de acerola (T2) apresentou diminuição significativa na saída quando comparada a entrada. Considerando que o resíduo de acerola normalmente apresenta quantidades significativas de carboidratos solúveis comparado aos demais tratamentos, pode-se inferir que a sua hidrólise foi facilitada perdendo esses carboidratos após a digestão anaeróbica pela atuação dos microrganismos, evidenciando uma perda na quantidade de SVT e, conseqüentemente, no ST. Entre tratamentos na entrada, foi observada diferença significativa no dejetivo bovino, apresentando menor proporção quando comparado ao T2

e Mix Vegetal (T4), isso devido o mesmo ser produto da digestão animal, visto que normalmente quantidades mínimas de carboidratos são encontradas no dejetos animal, resultado esperado em relação aos SVT. Na saída, o Sorgo (T1) apresentou menor proporção significativa de SVT quando comparado aos demais tratamentos.

O Sorgo (T1), por ser uma planta forrageira, possui concentração elevada de carboidratos estruturais, perdendo rapidamente seus carboidratos solúveis em digestão anaeróbica. Segundo Maldaner et al. (2018), um dos fatores que inibem a produção de CH₄ são os tipos de SVT e ST, podendo ser menos degradável. Uma alternativa para melhorar a produção de biogás em plantas forrageiras é a utilização de um pré-tratamento. Osorgotem grande potencial produtivo para biogás utilizando o método Organosolv, seus talos podem ser utilizados, pois possuem quantidades de carboidratos favoráveis, não podendo ser desperdiçados (ANTONPOULOU; LYBERATOS, 2013). Uma alternativa para potencializar a produção através de uma planta rica em carboidratos estruturais, aumentando sua produtividade, pois o processo faz com que ocorra o fracionamento de biomassa vegetal em celulose. Entretanto, na saída, foi observado maior proporção de SF no T1 quando comparado aos demais tratamentos. O aumento da produção de biogás está relacionado diretamente com a quantidade de sólidos voláteis adicionados ao biodigestor. Contudo, quantidades elevadas e sólidos totais adicionados podem comprometer a eficiência dos microrganismos. Almeida (2016), trabalhando com biodigestores de bancada utilizando 2% a 10% de sólidos totais, afirma que essas faixas de valores facilitam a degradação da matéria orgânica no biodigestor. Fato este que não foi observado no presente estudo.

Tabela 1 - Parâmetros físicos sólidos totais (ST), sólidos voláteis totais (SVT) e sólidos fixos totais (SFT) dos resíduos e dejetos na entrada e saída dos biodigestores

TRATAMENTOS	-----ENTRADA-----			-----SAÍDA-----		
	%ST	%SVT	%SFT	%ST	%SVT	%SFT
Sorgo sacarino (T1)	12,63aA	85,32abA	14,68abA	10,12 bB	58,67bA	41,34aA
Resíduo de Acerola (T2)	13,95aA	97,47aA	02,53bB	10,29bB	87,33aB	12,68bA
Resíduo de goiaba (T3)	24,18aA	85,57abA	14,43abA	39,97aA	83,45aA	16,55bA
Mix (T4)	10,80aA	89,59aA	10,41bA	11,10bA	96,60aA	3,41bA
Dejeto Bovino (T5)	11,41aA	65,78 bA	34,22aA	11,75bA	81,86aA	18,14bA
Dejeto Caprino (T6)	11,02aA	79,01 abA	20,99abA	11,93bA	84,27aA	15,73bA
Erro padrão da média			4,378	0,447		

Mix: 1/3 resíduo de acerola + 1/3 resíduo de goiaba + 1/3 sorgo)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade.

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 % de probabilidade ou pelo teste de Mann-Whitney (*)

Os atributos físico-químicos, mensurados na entrada e saída da marcha de biodigestão estão apresentados na (Tabela 2). O pH do esterco bovino (T5) e esterco caprino (T6) foram os únicos que mantiveram próximo a escala de neutralidade. O T5 não apresentou diferença significativa em

relação à entrada e à saída, mas sofreu reação de alcalinização durante o tempo de retenção hidráulica juntamente com o T6, onde o mesmo observou-se diferença significativa em comparação à sua entrada e saída. Resultado esperado, pois devido ser produto da digestão, sua matéria orgânica previamente foi fermentada e no complexo piruvato desidrogenase para formação do acetil-SCoA acontece a liberação de CO₂ e o seu acúmulo em meio aquoso ocasiona a formação do ácido carbônico (H₂CO₂) que irá dissociar em H⁺ e sua base conjugada HCO₃, em que a mesma irá alcalinizar o meio. Paralelo a isso, nos tratamentos que não são produtos da digestão acontecem acúmulo de piruvato pelas vias metabólicas. A glicólise, que significa quebra do açúcar intermediada através das enzimas, geralmente compreende a primeira etapa no catabolismo de carboidratos. Essa oxidação gera duas moléculas de ácido pirúvico (NELSON; COX, 2011). Quantidades elevadas de carboidratos têm maior capacidade de gerar o ácido pirúvico (C₃H₄O₃).

Carboidratos não fibrosos (amido e açúcares) têm alta taxa de degradação, na qual aumenta a quantidade de piruvato que será reduzida por uma desidrogenase a lactato, permitindo uma maior taxa de reciclagem de NADH para NAD⁺ (KOZLOSKI, 2011). Essa desidrogenação do piruvato deixa o meio mais ácido, evidenciado em todos os tratamentos, exceto nos dejetos animais, favorecendo a permanência dos mesmos na faixa de pH ácido na saída. Segundo Tortora, Funke e Case (2005), a colonização dos procariotos está relacionada diretamente com o pH, que a depender do organismo pode suportar ou não níveis de pH, sendo esses níveis ácidos ou alcalinos. Segundo Cerón-Vivas et al. (2019), que avaliaram o pH em águas residuais para produção de biogás, as archaea metanogênicas são mais eficientes em pH 6,5-8,2, sendo a melhor eficiência em pH 7,0. Segundo Quadros et al. (2010), em estudo com reator contínuo modelo canadense em que avaliou a produção de biogás através de esterco caprino e ovino, a média das amostras para o pH foi de 7,5 sendo este eficiente na produção de biogás, corroborando com o presente estudo, onde o esterco caprino apresentou pH de 7,4 e obteve eficiente produção. Inerente ao contexto de produção de biogás, os unicelulares metanogênicos necessitam de um pH tendendo a neutralidade, resultado este que não foi observado nos tratamentos do experimento, exceto os T5 e T6, o que por sua vez favorecem o crescimento desses procariotos e, conseqüentemente, a hidrólise da matéria orgânica para produzir gás. Nos demais tratamentos (T1, T2, T3 e T4), este resultado indica o predomínio de bactérias acidogênicas. Observou-se uma diferença estatística dos tratamentos em relação à condutividade elétrica para os dejetos bovinos e caprinos, configurando os maiores valores. Os tratamentos T2, T3 e T4 tiveram valores inferiores na entrada, e quando comparados à saída aumentaram seus valores, diferenciando-se estatisticamente da entrada quando comparada a saída. Esse fato é explicado devido os mesmos possuírem goma (hemicelulose, pectina e amilose), caracterizando um aspecto viscoso, agindo semelhantemente um biofilme, evitando que as cargas

sejam dispersadas em meio aquoso. No processo de hidrólise anaeróbica no biodigestor, essa estrutura de biofilme foi consumida pelos microrganismos, consequentemente, maior probabilidade de encontrar íons na solução. Esses íons serão cofatores enzimáticos que irão realizar a hidrólise da matéria orgânica.

Tabela 2- Concentração de proteína e parâmetros físico-químicos potencial hidrogeniônico (pH) e condutividade elétrica (C.E.) dos resíduos e dejetos na entrada e saída dos biodigestores

TRATAMENTOS	----ENTRADA----		----SAÍDA----	
	pH	C.E. mS.cm ⁻¹	pH	C.E. mS.cm ⁻¹
Sorgo sacarino (T1)	3,7 cA	3,7 abA	3,1 dB	3,9 bcA
Resíduo Acerola (T2)	3,3 cB	1,6 bcB	3,8 cA	2,5 bcA
Resíduo Goiaba (T3)	4,7 bA	0,7 cB	4,3 bB	3,0 bcA
Mix (T4)	3,7 cA	1,5 bcB	4,2 bB	2,7 cA
Dejeto Bovino (T5)	7,9 aA*	4,9 aA*	8,1 aA*	4,6 bA*
Dejeto Caprino	7,4 aB*	5,7 aA	8,1 aA*	6,5 aA
Erro padrão médio	0,151	0,543	0,046	0,397

Mix: 1/3 resíduo de acerola + 1/3 resíduo de goiaba + 1/3 sorgo)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade

Médias seguidas pelas mesmas letras maiúscula na linha não diferem estatisticamente pelo teste t de Student a 5 % de probabilidade ou pelo teste de Mann-Whitney

Com os valores obtidos do volume médio de biogás no gasômetro, os valores corrigidos de volume e pressão, prova-se que os T5 e T6 foram superiores estatisticamente aos demais tratamentos. A pressão média (ΔH) do biogás no gasômetro mostrou diferença estatística dos tratamentos de T5 e T6 em relação aos demais tratamentos, evidenciando uma maior ΔH devido pressão do biodigestor conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Temperatura média dos resíduos e dejetos, temperatura média do biogás no gasômetro e pressão do biogás no gasômetro.

TRATAMENTOS	Temperatura média dos resíduos e dejetos °C	Temperatura média do biogás no gasômetro °C	Pressão média do biogás no gasômetro (ΔH) cm H ₂ O
Sorgo sacarino (T1)	30,6	31,7 a	0,8 c
Resíduo Acerola (T2)	30,6	33,4 a	1,7 bc
Resíduo Goiaba (T3)	30,6	31,6 a	0,9 c
Mix (T4)	30,6	31,5 a	2,5 b
Dejeto Bovino (T5)	30,6	31,7 a	8,1 a
Dejeto Caprino (T6)	30,6	33,7 a	8,8 a
Erro padrão médio	-	0,670	0,262

Mix: 1/3 resíduo de acerola + 1/3 resíduo de goiaba + 1/3 sorgo)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade

Segundo Ruiz e Flotats (2014), que trabalharam com frutas cítricas, recomenda-se a adição de inóculo de boa qualidade para a digestão anaeróbica. Entretanto, neste trabalho, a quantidade de inóculo adicionado aos biodigestores (5%) tenha sido inferior a 20% recomendada por Paes et al.

(2020) para uma alta produtividade de biogás. Silva et al. (2020), estudando o efeito da relação inóculo/substrato (I/S) no potencial bioquímico de metano do bagaço de uva observaram que a relação I/S 3 proporcionou os melhores resultados para carregamento de sistemas anaeróbios, indicando que o bagaço de uva apresenta potencial para tratamento biológico por digestão anaeróbia. Substrato, quimicamente, similar a alguns tratamentos deste trabalho.

Todos os tratamentos tiveram adição de inóculo (esterco bovino fresco), sendo que todos os tratamentos, com exceção dos dejetos animais (T5 e T6), tiveram produção não significativa. O rendimento de biogás foi satisfatório para os dejetos animais, onde cada kg de sólidos voláteis adicionados no biodigestor produziu 15,6 e 9,5 L de dejetos bovino e caprino, respectivamente, diferenciando dos demais tratamentos. Fato que talvez possa ser explicado pela carga orgânica volumétrica (COV) do esterco bovino que foi superior em relação aos demais tratamentos. Uma vez que a COV influencia os processos de digestão anaeróbia. Uma ótima COV proporciona condições adequadas para o desenvolvimento dos microrganismos e, conseqüentemente, uma maior estabilidade no processo (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2019). Isto pode ter contribuído para melhor rendimento e a melhor produtividade de biogás para T5 e T6, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Valores médios de proteína, produtividade, rendimento, carga orgânica volumétrica (COV) e volume normalizado de biogás produzido a 20°C e 1 atm

TRATAMENTOS	Proteína	Produtividade	Rendimento	COV	Volume*
	mgmL ⁻¹	L _{biogás} L ⁻¹ reator d ⁻¹	L _{biogás} kg ⁻¹ sv ad	kg _{sv} L ⁻¹ reator d ⁻¹	L
Sorgo sacarino (T1)	12,15b	0,0003b	0,135c	0,0032c	0,147 b
Resíduo Acerola (T2)	-	0,0002b	0,093c	0,0022c	0,136 b
Resíduo Goiaba (T3)	6,80b	0,0001b	0,038c	0,0009c	0,059 b
Mix (T4)	2,75b	0,0023b	0,928c	0,0221c	1,239 b
Dejeto Bovino (T5)	42,69a	0,0206 ^a	15,586a	0,371a	11,274 a
Dejeto Caprino (T6)	42,69a	0,0187 ^a	9,521b	0,227b	10,193 a
Erro padrão médio	-	0,0012	0,761	0,0181	0,137

Mix: 1/3 resíduo de acerola + 1/3 resíduo de goiaba + 1/3 sorgo)

Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas na coluna não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5 % de probabilidade

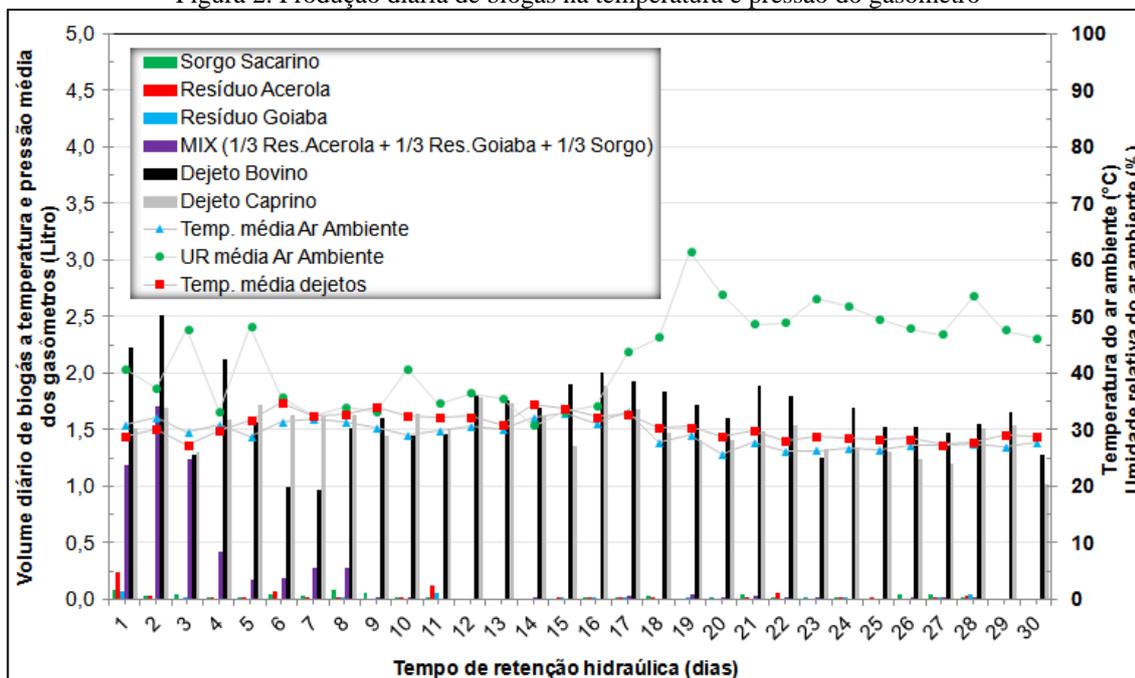
*Transformaram-se os dados utilizando $y = \log x$ para obter-se a normalidade e aplicar o teste de comparação de médias

Amaral et al. (2019), trabalhando com tempo de retenção hidráulica de 29 e 16 dias, com biodigestores que receberam em média 171,47 m³ de dejetos por dia, com carga orgânica volumétrica (COV) aplicada aos biodigestores de 0,434 kgSVm⁻³ biodigestord⁻¹ conseguiu produção de 901 m³ biogásd⁻¹. O presente trabalho, em comparação ao de Amaral (2019), apresentou valores positivos para COV, mesmo sendo um biodigestor tipo batelada, com valor de 0,371.

A Figura 2 ilustra o volume diário de biogás produzido em litros (L). Observa-se diferenças na produção de biogás do Desejo Bovino (T5) e Dejeto Caprino (T6), tendo apresentado produção final estatisticamente superior aos demais tratamentos, sendo sucedidos em produção T4, T1, T2 e

Resíduo de Goiaba (T3) (Figuras 2 e 3). Os maiores valores de biogás de T5 e T6 estão relacionados com o fato de a matéria orgânica ser mais fácil de ser quebrada (oxidação), pois a mesma sofreu processos químicos e físicos na digestão, colaborando com a melhor hidrólise da cadeia carbônica através dos microrganismos que irão produzir o metano (CH₄).

Figura 2. Produção diária de biogás na temperatura e pressão do gasômetro



De acordo com Taherzadeh e Karimi (2008), a hemicelulose e a lignina são barreiras físicas que envolvem e protegem as fibras de celulose contra o ataque enzimático dificultando a digestão anaeróbica. T1, T2, T3 e T4 são materiais ricos em hemicelulose e lignina, impedindo a ação eficiente dos microrganismos de realizar a quebra do polissacarídeo que seria quebrada para produzir o CH₄. Por serem subprodutos de resíduos de frutas, os T2 e T3 encontravam-se muito fibrosos, reduzindo a eficiência na produção de biogás. Embora os mesmos possuíssem valores inferiores de SVT, T5 e T6 tiveram melhores conversões de SVT adicionados para produzir biogás.

Os dejetos animais produziram quantidades significativas do início ao fim do experimento. As temperaturas médias dos dejetos correlacionam com as temperaturas médias do ambiente, resultado esperado, pois a temperatura média dos dejetos tem que está em uma temperatura um pouco maior em relação a temperatura do ambiente, pois no biodigestor acontece a lise da matéria orgânica em moléculas menores para gerar energia em forma trifosfato de adenosina(ATP). Os biodigestores, por permanecerem inseridos em um sistema de controle de oscilações térmicas, tiveram as médias da temperatura similares em todos os tratamentos.

As figuras 3 e 4 evidenciam o potencial produtivo de todos os tratamentos em relação ao período das aferições, firmando as qualidades quantitativas para os dejetos bovino e caprino, produzindo 49 e 45 litros, respectivamente.

Figura 3. Produção acumulada de biogás na temperatura e pressão do gasômetro

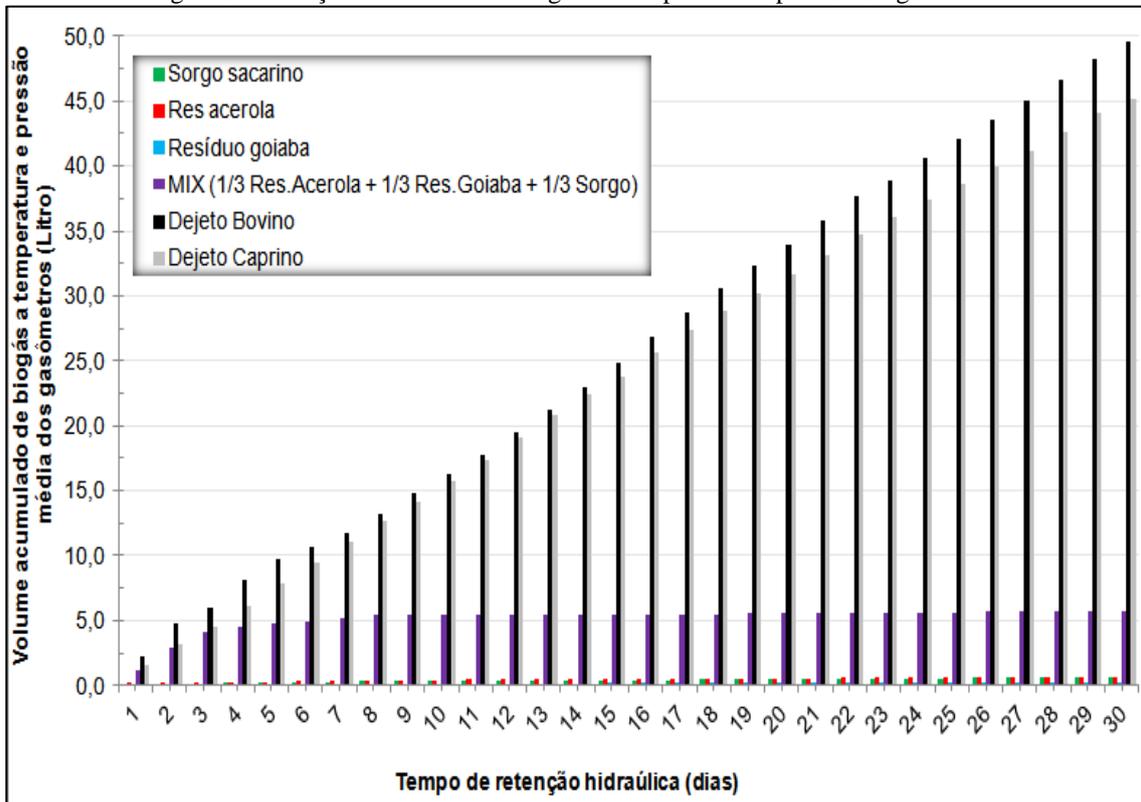
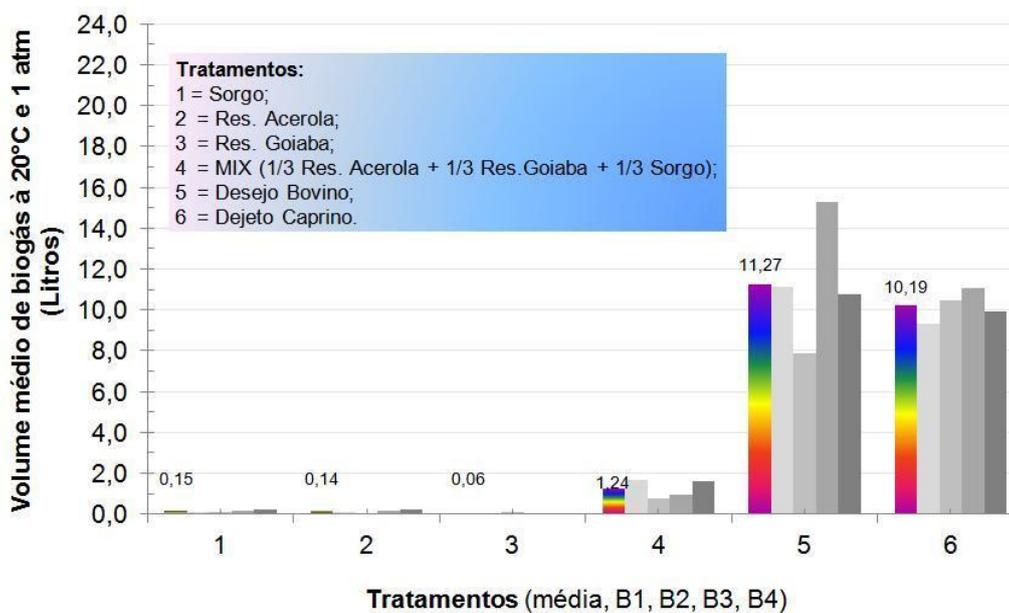


Figura 4. Produção de biogás normalizado (corrigido para 1 atm e 20 °C)



Avaliando o consumo de sólidos voláteis no processo de biodigestão, o T5 e T6 apresentaram diferença entre os demais tratamentos correspondendo a uma maior conversão de sólidos voláteis em biogás produzido. Foram observados valores numericamente inferiores no T4, T1, T2 e T3, como ilustrado na Tabela 4.

No Quadro 1, podem ser observadas as correlações entre os parâmetros avaliados, ressaltando a interferência de algumas variáveis que influenciam a produção de biogás. O volume de biogás está diretamente relacionado com pH, evidenciando melhores valores de volume para os tratamentos que ficaram próximos da faixa de neutralidade. Correlaciona-se ao volume de biogás com C.E., COV, produtividade e rendimento. Tratando desses três últimos parâmetros, as correlações foram altas, pois para realizar os devidos cálculos para avaliar as mesmas foram utilizados os dados de volume de biogás.

Quadro 1. Correlação de Pearson das variáveis avaliadas

		PS-E	ST-E	SVT-E	SFT-E	pH-E	CE-E	Volume de biogás	Pressão do biogás	Temperatura do biogás	pH-S	CE-S	ST-S	SVT-S	SFT-S	COV ad	Produtividade de biogás	Rendimento de biogás
PS - E	Correlação	1	-	-0,775	0,775	0,739	0,695	0,728	0,771	0,0240	0,741	0,581	-0,171	-0,0536	0,0536	0,821	0,733	0,821
	P valor		0,192	0,00000867	0,00000867	0,0000377	0,000161	0,0000557	0,0000103	0,912	0,0000343	0,00294	0,424	0,803	0,803	0,000000873	0,0000462	0,00000873
ST - E	Correlação		1	0,250	-0,250	-0,128	-0,372	-0,266	-0,290	-0,189	-0,193	-0,117	0,575	-	0,00803	-0,255	-0,263	-0,255
	P valor			0,239	0,239	0,552	0,0731	0,209	0,170	0,376	0,366	0,585	0,00331	0,970	0,970	0,229	0,214	0,229
SVT - E	Correlação			1	-1,000	-0,665	-0,456	-0,555	-0,624	0,232	-0,602	-0,428	0,00966	0,0803	-0,0803	-0,750	-0,561	-0,750
	P valor				0,000	0,000393	0,0251	0,00488	0,00113	0,275	0,00186	0,0371	0,964	0,709	0,709	0,0000246	0,00439	0,0000246
SFT - E	Correlação				1	0,665	0,456	0,555	0,624	-0,232	0,602	0,428	-	-0,0803	0,0803	0,750	0,561	0,750
	P valor					0,000393	0,0251	0,00488	0,00113	0,275	0,00186	0,0371	0,964	0,709	0,709	0,0000246	0,00439	0,0000246
pH - E	Correlação					1	0,679	0,926	0,915	0,139	0,963	0,763	-0,0441	0,0308	-0,0308	0,905	0,927	0,905
	P valor						0,000263	9,496E-011	0,00000000367	0,516	5,002E-014	0,0000144	0,838	0,887	0,887	0,00000000130	7,301E-011	0,00000000130
CE - E	Correlação						1	0,731	0,721	0,103	0,691	0,642	-0,483	-0,259	0,259	0,682	0,732	0,682
	P valor							0,0000499	0,0000694	0,632	0,000188	0,000717	0,0167	0,222	0,222	0,000244	0,0000484	0,000244
Volume Biogás	Correlação							1	0,941	0,191	0,956	0,710	-0,289	0,0814	-0,0814	0,926	1,000	0,926
	P valor								7,395E-012	0,370	3,411E-013	0,000101	0,171	0,705	0,705	9,453E-011	1,364E-044	9,453E-011
Pressão Biogás	Correlação								1	0,224	0,971	0,760	-0,331	0,162	-0,162	0,912	0,943	0,912
	P valor									0,293	4,118E-015	0,0000167	0,114	0,450	0,450	0,000000000537	5,150E-012	0,000000000537
Temperatura biogás	Correlação									1	0,185	0,249	-0,196	0,100	-0,100	0,0909	0,189	0,0909
	P valor										0,387	0,241	0,359	0,642	0,642	0,673	0,376	0,673
pH - S	Correlação										1	0,713	-0,157	0,183	-0,183	0,915	0,957	0,915
	P valor											0,0000929	0,465	0,393	0,393	0,000000000402	2,481E-013	0,000000000402
CE - S	Correlação											1	-0,213	-0,206	0,206	0,586	0,713	0,586
	P valor												0,317	0,334	0,334	0,00264	0,0000909	0,00264
ST-S	Correlação												1	0,0651	-0,0651	-0,260	-0,288	-0,260
	P valor													0,762	0,762	0,220	0,173	0,220
SVT-S	Correlação													1	-1,000	0,0544	0,0799	0,0544
	P valor														0,000	0,801	0,711	0,801
SFT-S	Correlação														1	-0,0544	-0,0799	-0,0544
	P valor															0,801	0,711	0,801
COV-ad	Correlação															1	0,928	1,000
	P valor																7,006E-011	0,000
Produtividade de biogás	Correlação																1	0,928
	P valor																	7,006E-011
Rendimento de biogás	Correlação																	1
	P valor																	

S-E = Proteína solúvel na entrada; ST-E = Sólidos Totais na Entrada; SVT-E = Sólidos Voláteis Totais na Entrada; SFT-E = Sólidos Fixos Totais na Entrada; CE-E = Condutividade Elétrica na Entrada; pH-E = Potencial hidrogeniônico na Entrada; CE-S = Condutividade Elétrica na Saída; pH-S = Potencial hidrogeniônico na Saída; ST-S = Sólidos Totais na Saída; SVT-S = Sólidos Voláteis Totais na Saída; SFT-S = Sólidos Fixos Totais na Saída; COV ad = Carga Orgânica Volumétrica Adicionada.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A produção de biogás a partir da fermentação anaeróbia de dejetos de bovinos e caprinos foi superior aos demais tratamentos à base de biomassa vegetal (resíduo de acerola, resíduo de goiaba e Mix - 1/3 de resíduo de acerola + 1/3 de resíduo de goiaba + 1/3 de sorgo sacarino).

Os parâmetros físicos: Sólidos Totais, Sólidos Fixos e Sólidos Voláteis, dos efluentes e afluentes dos biodigestores, apresentaram similares aos encontrados na literatura para todos os tratamentos.

Os parâmetros físico-químicos: pH e Condutividade Elétrica, dos efluentes e afluentes dos biodigestores, permaneceram dentro das faixas ideais descritas na literatura para produção de biogás, exceto os de origem de dejetos de animais.

O dejetos bovino apresentou maior rendimento (15,6 Lbiogáskg-1SVad) e maior produtividade (0,0206 LbiogásL-1reatord-1) de biogás em relação aos demais tratamentos com uma Carga Orgânica Volumétrica adicionada média de 0,371 kgSVL-3 reatord-1.

As principais limitações para realização das pesquisas (campo e laboratório) efetuadas pela nossa equipe se deve a ausência de recursos financeiros para adquirir equipamentos, vidrarias, reagentes e padrões específicos para equipar melhor o nosso laboratório para trabalhar com biogás oriundo da fermentação anaeróbia de plantas energéticas e dejetos/resíduos da agropecuária.

Em resumo os nossos projetos, na maioria das vezes, não têm financiamento para investimento (material permanente) e custeio exceto, algumas bolsas de iniciação científica paga aos estudantes pelas agências de fomento. Este trabalho, em especial, só foi possível ser desenvolvido graças à força de vontade, a criatividade da equipe e as parcerias firmadas com outras instituições e laboratórios.

Como sugestão para trabalhos futuros a necessidade de repetir experimentos similares a este com maior controle dos parâmetros físico-químicos e temperatura dos afluentes do biodigestor, caracterizar o biogás com cromatografia gasosa (CG) e testar outros materiais vegetais in natura e ensilados com diferentes tempos de armazenamento, testar outras doses de inóculo, desenvolver um sistema de purificação do biogás (remoção de CO₂ e H₂S) eficiente e de baixo custo e que seja acessível aos pequenos produtores rurais da região nordeste do Brasil.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem aos diversos colaboradores do projeto ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão das bolsas de iniciação científica aos discentes, à Universidade Federal do Vale do São Francisco (Univasf) pelo espaço e ao laboratório de fertilidade do solo do IF Sertão Pernambucano pela acolhida.

REFERÊNCIAS

AGUILA, L. S. H.; GEHLING, R. K.; CAPUTO, T. F. M.; AGUILA, J. S. Melhor arranjo de plantas para os genótipos de sorgo sacarino BR 506 e BR 511 visando à produção de etanol. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, v. 3, n. 2, p. 648-653, 2020.

ALMEIDA, C. Potencial de produção de biogás a partir de biomassa de suinocultura com culturas. Dissertação (Mestrado Em Engenharia Energética na Agricultura) - Faculdade Estadual do Oeste do Paraná, 2016.

AMARAL, A. C.; CANDIDO, D.; STEINMETZ, R. L. R.; TÁPPARO, D. C.; KUNZ, A. Produção de biogás e energia elétrica com biodigestor de lagoa coberta e CSTR a partir de dejetos suínos. In: Embrapa Suínos e Aves-Artigoemanais de congresso (ALICE). In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 6., 2019, Florianópolis, SC. Anais... Concórdia: Sbera/Embrapa, p. 401-403, 2019.

ANTONOPOULOU, G.; LYBERATOS, G. Effect of pretreatment of sweet sorghum biomass on methane generation. *Waste and Biomass Valorization*, v. 4, p. 583-591, 2013.

ARAÚJO, G. J. F.; SILVA, M. M. Crescimento econômico no semiárido brasileiro: o caso do pólo frutícola Petrolina/Juazeiro. *Caminhos de Geografia*, v. 14, n. 46, p. 246-264, 2013.

BRADFORD, M. M. A. Rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein dye binding. *Analytical Biochemistry*, v. 7, n. 72, p. 248-254, 1976.

CAETANO, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado Em Agronomia - Área De Concentração De Energia Na Agricultura). Faculdade De Ciência Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

CERÓN-VIVAS, A.; CÁCERES, K.T.; RINCÓN, A.; CAJIGAS, Á. A. Influence of pH and the C/N ratio on the biogas production of wastewater. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia*, n. 92, p. 70-79, 2019.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; MARI, A. G.; MARI JUNIOR, A.; CABRAL, A. C.; GRZESIUCK, A. E.; DIERINGS, L. S. Construção de biodigestores de batelada para escala laboratorial. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.4, p. 65-82, 2015.

KOZLOSKI, G. V. Bioquímica dos ruminantes. 3 ed. Santa Maria: Ed. da UFSM, 2011, 216p.

KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação de biogás, uso e tratamento do digestato. 1 ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019.

MALDANER, L.; WAGNER-RIDDLE, C.; VANDERZAAG, A. C.; GORDON, R.; DUKE, C. Methane emissions from storage of digestate at a dairy manure biogas facility. *Agricultural and Forest Meteorology*, v. 258, p. 96-107, 2018.

MATOS, C. F.; PAES, J. L.; PINHEIRO, E. F. M.; CAMPOS, D. V. B. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. *Engenharia Agrícola*, v. 37, n. 6, p. 1081-1090, 2017.

MATOS, A. T. Qualidade do meio físico ambiental: Práticas de Laboratório – Viçosa, MG: ed UFV, 2012, 150p

MOLAVERDI, M.; KARIMI, K.; KHANAHMADI, M.; GOSHADROU, A. Enhanced sweet sorghum stalk to ethanol by fungus *Mucor indicus* using solid state fermentation followed by simultaneous saccharification and fermentation. *Industrial crops and products*, v. 49, p. 580-585, 2013.

NELSON, D.L.; COX, M.M. *Princípios de Bioquímica de LEHNINGER*. 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.

PAES, J. L.; ALVES, T. B. S.; SILVA, L. D. B.; MARQUES, A. S.; DIAS, V. R. S. Use of inoculum in biodigesters with cattle manure under conventional and organic production systems. *Engenharia Agrícola*, v. 40, n. 2, p. 146-153, 2020.

PIRES, A. M. M.; MATTIAZZO, M. E. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. *Embrapa Meio Ambiente. Circular Técnica*, 2008.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 14, n. 3, p. 326-332, 2010.

RUIZ, B.; FLOTATS, X. Citrus essential oils and their influence on the anaerobic digestion process: an overview. *Waste management*, v. 34, n. 11, p. 2063-2079, 2014.

SILVA, K. C. D.; AMORIM, M. C. C.; GALVÃO, R. S.; GONÇALVES, Y. B. O.; SILVA, P. T. S.; BARROS, E. S. C. Effect of the inoculum/substrate ratio on the biochemical methane potential (BMP) of grape marc. *Revista Ambiente e Água*, v. 15, n. 5, 2541, 2020.

SOUSA, A. P. M.; CARVALHO, B. V.; HAZOFF JUNIOR, W.; SOTO, F. R. M. Retorno de investimento de sistemas de tratamento de resíduos em granjas de suínos. *Ciência Animal Brasileira*, v.21, e-32898, 2020.

TAHERZADEH, M. J.; KARIMI, K. Pretreatment of lignocellulosic wastes to improve ethanol and biogas production. *International Journal of Molecular Sciences*, v.9, p. 1621-1651, 2008.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. *Microbiologia*. 8 ed. Porto Alegre: Artmed, 2005.

YUAN, T.; ZHANG, Z.; LEI, Z.; SHIMIZU, K.; DUU-JONG LEE. A review on biogas upgrading in anaerobic digestion systems treating organic solids and wastewaters via biogas recirculation. *Bioresource Technology*, v. 344, 2022.