

INFORME GOIANO

CIRCULAR DE PESQUISA APLICADA

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO



Expediente:

Aurélio Rúbio Neto
Editor-chefe

Jacson Zuchi
Editor-chefe substituto

Tatianne Silva Santos
Supervisora editorial

Nicole Medeiros Leal
Revisora gramatical

Johnathan Pereira Alves Diniz
Bibliotecário

Guilherme Cardoso Furtado
Diagramador

Cláudia Sousa Oriente de Faria
Coordenadora de produção gráfica

Autores:

Me Grace Cury Hoffmann
Instituto Federal de Goiás - gracecuryh@gmail.com

PhD Sérgio Botelho de Oliveira
Instituto Federal de Goiás - dr_botelho@yahoo.com.br

Me Júlio Cury Hoffmann
Universidade Federal de Goiás - j.cury.h@gmail.com

Paulo Vinicius da Silva Rezende
Instituto Federal de Goiás - paulo.vinicius@ifgo.edu.br

PhD Ana Paula Cardoso Gomide
Instituto Federal Goiano - ana.gomide@ifgoiano.edu.br

PhD João Areis Ferreira Barbosa Junior
Instituto Federal Goiano - joao.areis@ifgoiano.edu.br

1. IMPORTÂNCIA E RELEVÂNCIA

A energia é essencial para o desenvolvimento social e econômico de um país. A demanda energética mundial não poderá ser suprida apenas por fontes de origem fóssil, exigindo biocombustíveis eficientes, garantindo energia limpa e renovável. Neste cenário, o uso de biomassa como fonte de energia é determinante, tanto para reduzir o impacto ambiental, quanto para suprir a demanda energética. A digestão anaeróbia da biomassa proveniente de dejetos possui grande potencial para aproveitamento energético. Para explorar esse potencial com eficiência, as condições de biodigestão devem permanecer em faixa próxima das condições ideais para ação dos microrganismos, sendo a utilização dos dejetos suínos uma opção economicamente viável.

Na criação de suínos há um grande volume de resíduos produzidos pelos animais com elevado potencial de pro-

dução de energia, sendo que a região sudoeste de Goiás possui potencial para produzir 27.307,83 Nm³ de biogás/dia o que equivale a 14.253,33 MWh de biogás em um ano. A produção de biogás ocorre pelo processo de digestão anaeróbia, realizada por microrganismos, que precisa ser monitorado em seus diversos parâmetros para atingir a eficiência necessária. Para produzir biogás, o substrato orgânico (biomassa) é colocado em uma câmara fechada onde ele será digerido por bactérias, arqueas e enzimas, formando o biocombustível, composto principalmente por biometano.

Para instalação e operação do biodigestor deve-se observar a carga orgânica volumétrica, tempo de retenção, taxa de degradação máxima e taxa de produção de gás, definidos pelo dimensionamento do biorreator e pelo tipo e quantidade de substrato utilizado. Esses fatores têm que ser mantidos numa faixa operacional ótima pelo operador do

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO

biorreator. Contudo este objetivo pode não ser atingido na prática, uma vez que é improvável excluir completamente a possibilidade de falhas e variações de alguns parâmetros, tais como: alterações das propriedades do substrato, paradas de bombas, introdução de desinfetantes no sistema, instabilidades sazonais de temperatura, entre outras. Essas falhas e flutuações operacionais levam a desvios do estado ideal, que precisam ser detectados, mensurados e controlados a fim de manter o sistema em operação de máxima eficiência.

Neste sentido, este trabalho anseia ser uma referência para produtores de suíno que já possuem ou pretendem implantar um biodigestor de forma a obter informação de como monitorar os principais parâmetros do processo e as principais formas de agir para sanar problemas comumente identificados visando seu máximo aproveitamento.

2. O QUE CARACTERIZA O BIODIGESTOR DE LAGOA COBERTA

O biodigestor de lagoa coberta, cujo esquema é apresentado na Figura 1, é o mais difundido e aplicado no Brasil. Destaca-se por ser mais moderno e barato, e pode ser usado tanto em pequenas quanto em grandes propriedades, se adaptando bem em projetos agroindustriais (OLIVER, 2008; RESÍDUOS..., 2012). Este biodigestor é do tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga feita em alvenaria e com grande área de exposição ao sol, o que possibilita o aquecimento indireto do material biológico no interior do biodigestor (CASTANHO; HARRUDA, 2008). Possui uma câmara de digestão escavada no solo e um gasômetro inflável. À medida que o biogás é produzido, a cúpula plástica maleável é inflada e o biogás é acumulado, e ele pode também ser enviado a um gasômetro separado para armazenagem, permitindo maior controle operacional. Pode variar de acordo com as tecnologias agregadas, como agitador, e tecnologias de monitoramento e controle (JUNQUEIRA, 2014). Após a biodigestão, o resíduo remanescente (digestato – efluente do biodigestor) é armazenado em lagoa de estabilização, para então ser utilizado como biofertilizante em pastos e/ou plantações através da fertirrigação.

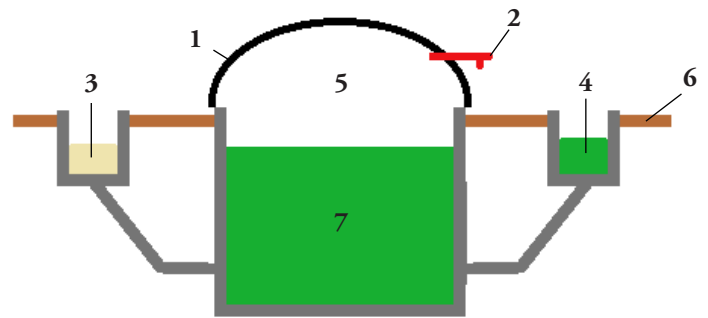


Figura 1. Esquema representativo do modelo de biodigestor de lagoa coberta. 1. Lona de PVC; 2. Válvula para saída do biogás; 3. Entrada do substrato; 4. Saída do digestato; 5. Câmara de armazenagem do biogás; 6. Nível do solo; 7. Biomassa em digestão anaeróbia. Fonte: Os Autores.



Figura 2. Biodigestor em operação instalado em propriedade no Estado de Goiás, região de Rio Verde. Fonte: Os Autores.

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO

3. PRINCIPAIS PARÂMETROS DE CONTROLE

A seguir estão listados os principais parâmetros de controle e apresentados métodos de monitoramento na produção de biogás por dejetos suínos, considerando as características da região sudoeste de Goiás e da produção animal para obtenção de uma alta produtividade de biometano, além de informações técnicas para auxiliar na identificação de possíveis problemas na operação de biodigestores.

3.1 Temperatura e potencial Hidrognênico (pH)

A temperatura do biodigestor é essencial para manter a atividade enzimática e rendimento do gás biometano (LI et al., 2014). No processo anaeróbio, o mais importante é manter a temperatura o mais constante possível dentro do reator, devido, principalmente, ao fato de que as arqueas metanogênicas são sensíveis a variações bruscas de temperatura (BARRERA, 2003; SOUZA, 1984). A temperatura da faixa mesofílica (20°C – 40°C) é mais estável e produtiva na digestão de matérias-primas com alto teor de nitrogênio, como o dejetos suínos. Tal faixa de temperatura pode ser obtida na maioria das regiões do Brasil na maior parte do ano, sem a necessidade de aquecedores, não sendo imprescindível a instalação destes, embora nas épocas/regiões mais frias o aquecedor possa aumentar a produção de biogás. A própria natureza da estrutura do reator, implantado abaixo do nível do solo, funciona como isolante térmico, reduzindo mudanças bruscas de temperatura do substrato. Para monitoramento desse parâmetro recomenda-se a instalação de sensores de temperatura – tanto para a parcela líquida, como para o gás – que se comunique a um *data-logger*, onde os dados ficarão registrados, garantindo assim um monitoramento contínuo, como mostra a Figura 3.

Em biodigestores, a faixa de operação está entre pH 6,0 a 8,0 (MAZZUCCHI, 1980). No geral, a faixa ótima para obtenção do biogás no processo é de 6,5 a 7,5 (LIU et al., 2008). Valores extremos do potencial hidrognênico (pH) comprometem o crescimento dos microrganismos, que também são sensíveis a grandes variações. Há uma tendência de alcalinização em biodigestores com dejetos suínos, inibindo a digestão anaeróbia pela liberação de amônia, que é tóxica aos microrganismos da biota no biodigestor. A elevação do pH de 6,5 para 8,3 leva a um aumento de 30 vezes na concentração de amônia livre (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE, 2010).



Figura 3. Datalogger com sensores de temperatura instalado em biodigestor. Fonte: autores.

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO

O pH dentro do reator deve ser monitorado frequentemente, retirando material do biodigestor em intervalos regulares e medindo-se o pH através de um pHmetro de campo, ajudando a detectar precocemente problemas de alcalinidade excessiva, principal problema detectado na região sudeste de Goiás, reduzindo a produção de biogás. Para acompanhar as mudanças no pH ao longo do tempo, deve-se ficar atento às variações periódicas que ocorrem naturalmente ao longo do dia no biodigestor devido a fatores como temperatura e descarga de material, registrando o pH em diferentes horários e tempos de alimentação para acompanhar a faixa de variação normal para estes períodos. Já a determinação de nitrogênio amoniacal é realizada em laboratório pelo método *Kjeldahl*, sendo recomendada a verificação ao menos uma vez por mês. Os produtores rurais podem manter um laboratório em cooperativas ou associações para realizar estas análises físico-químicas de monitoramento a um menor custo.

Uma forma para evitar a alcalose e aumentar a produção de biogás é uso do recurso da codigestão, ou seja, digerir o substrato suíno junto com outro substrato. Para que a codigestão anaeróbica seja bem-sucedida, é necessário o equilíbrio de vários parâmetros da mistura do cosubstrato: macro e micronutrientes, relação C/N, pH, compostos e elementos tóxicos, matéria orgânica biodegradável (MSO) e matéria seca (HARTMANN et al., 2003).

Testes realizados em laboratórios de pesquisa do IFG/IF Goiano concluíram que a adição de vinhaça foi eficiente para aumentar a produção de biometano, resultando no dobro de geração de biogás por peso de MSO comparado com a biodigestão apenas do dejetos suíno, evidenciando a importância do pH nesse processo, se mostrando uma alternativa eficaz. O uso de 200 mL de vinhaça em um volume total de 1,1 L de substrato mais inóculo em biodigestão foi eficiente para evitar a geração de alcalose e o acúmulo de nitrogênio amoniacal e total, permanecendo abaixo da faixa inibitória pela amônia livre. Mais detalhes de como realizar testes de codigestão antes de proceder a intervenção em escala real se encontram no tópico: biorreatores de bancada para realização de testes de biodigestibilidade e avaliação de potencial de produção de biometano e biogás.

4. DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES

4.1 Agitação

A agitação no biodigestor garante melhor contato entre a biomassa ativa e a alimentação; uniformidade física, química e biológica em todo o reator; bem como a dispersão rápida dos produtos metabólicos da digestão e de qualquer substância tóxica que entre no sistema, minimizando, assim, os efeitos inibitórios na atividade microbiana; além de prevenir a formação de espuma e a formação de gradientes de temperatura no interior do reator (VITORATTO, 2004). O processo de agitação pode ser realizado mecanicamente, promovendo o retorno de gás produzido na forma de pequenas bolhas ou recirculando o lodo.

Em estudos de campo realizados pelos autores, a ausência do agitador não afetou a concentração de biometano no biogás, porém aumentou a produção volumétrica do biogás e, conseqüentemente, do biometano. Desta forma, a instalação de agitadores na câmara do reator não é essencial, porém, caso se deseje que a biodigestão ocorra mais rápido e que se aumente a produção de biogás, pode-se investir neste tipo de equipamento. Tendo em vista que o processo de agitação envolve custos, tanto fixos devido à implementação do sistema, quanto variáveis, decorrentes da sua operação e manutenção, é importante quantificar a eficiência do sistema de agitação, tanto na produção de biogás como na redução da carga orgânica, para definir o retorno do investimento.

4.2 Agentes inibidores e concentração de nutrientes

O acúmulo de substâncias tóxicas tem que ser evitado, pois provoca inibição do processo de produção do biometano, que é a consequência da diminuição de atividade ou até mesmo morte dos microrganismos devido à presença de compostos tóxicos no biodigestor. Durante pesquisa em laboratório se encontrou concentrações de zinco (Zn) e cobre (Cu), que são adicionados à alimentação de suínos pelos suplementos e pelo uso desses metais como agente bacteriostático, bem acima do faixa inibitória. Apesar de os processos de biodigestão anaeróbia analisados pelos autores não terem apresentado inibição significativa, caso estes metais se acumulem no biodigestor, a biodigestão pode ser interrompida. Neste caso, é necessária intervenção operacional para retirar os contaminantes, esgotando-se o vo-

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO

lume do biorreator, sendo necessário reiniciar o processo. A análise para determinação da concentração de zinco e cobre é feita em laboratório, utilizando a técnica de análise elementar por espectrometria de absorção atômica. Vale ressaltar que a frequência dessa análise pode ser esporádica, sendo recomendada semestralmente.

O carbono e o nitrogênio são os nutrientes mais importantes para o processo, sendo importante que o substrato tenha a relação C/N correta, pois o desequilíbrio dessa relação pode ocasionar o colapso de toda a população de microrganismos. Por isso, para que o processo transcorra adequadamente, a relação C/N deve estar na faixa de 10 a 30 (FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHS-TOFFE, 2010). Além de grande quantidade de nitrogênio, o substrato suíno possui elevado teor de água, ou seja, seu resíduo é muito diluído, devido principalmente ao excesso de água utilizada durante o processo de manejo dos animais. A diluição dos resíduos pode acarretar problemas para digestão anaeróbica, pois o biodigestor subalimentado pode não ser capaz de manter a biota. Por isso, recomenda-se o uso da codigestão com outras biomassas que aumentem a quantidade de matéria seca orgânica do substrato e o controle no manejo dos animais para evitar consumo excessivo de água. Como os resíduos suínos têm alta porcentagem de nitrogênio, eles devem ser preferencialmente codigeridos com resíduos que contenham elevado teor de carbono, promovendo a melhora da relação C/N. A codigestão proporciona, ainda, o ajuste do teor de matéria seca adequado para a melhor digestão dos substratos (ANGELIDAKI; AHRING, 1997; MURTO et al., 2004).

Os resíduos utilizados para codigestão são comumente provenientes da agroindústria e a seleção destes resíduos se dá em função da sua disponibilidade na área geográfica das unidades de biogás (MATA-ALVAREZ et al., 2014). Desta forma, foram selecionados e testados com sucesso o bagaço de laranja e torta de filtro de cana-de-açúcar devido às suas características de fornecer os nutrientes necessários, aumentar a carga orgânica no biodigestor e promover o equilíbrio do consórcio de microrganismos, evitando sua subalimentação e aumentando a produção de biometano, além do uso de vinhaça como aditivo para evitar a alcalose. Sendo estes resíduos abundantes na região sudoeste de Goiás e podendo ser obtidos sem grande custo, cujos nutrientes fornecidos auxiliam no equilíbrio da biota evitando a subalimentação e a alcalinização do meio, se mostram uma alternativa eficaz.

4.3 Qualidade do biogás

Além dos parâmetros de controle citados é importante monitorar a qualidade do biogás, dado pelo teor de biometano, que é o gás de interesse devido ao seu potencial calorífico e de conversão de energia de queima. Assim, deve-se determinar a concentração dos gases gerados na mistura. A Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe (2010) afirma que a mistura gerada pode conter biometano de 50% a 75% Vol e o Centro Internacional de Energias Renováveis-Biogás (2018) encontrou teores de 60% Vol a partir do monitoramento das unidades com processo de biodigestão de dejetos suínos de animais de terminação no oeste do Paraná. Desta forma, biogás com mais de 60% Vol de biometano já pode ser considerado de alta qualidade.

Para determinar esses parâmetros pode-se utilizar o equipamento portátil de campo (exemplo: Biogás 5000, marca *Geotech*), assim como pode-se transportar o biogás através de *bags* próprios para realização em laboratório através de cromatografia gasosa, que garante maior precisão nos resultados, utilizando, por exemplo, analisador cromatográfico (CG) da marca *PerkinElmer*, modelo *Clarus 580*, com detectores do tipo FID (Detector de ionização de chama) e TCD (Detector de condutividade térmica), equipado com metanador.

4.4 Biorreatores de bancada para realização de testes de biodigestibilidade e avaliação de potencial de produção de biometano e biogás

Testes utilizando biorreatores podem ser feitos para avaliar a produtividade, monitorar os parâmetros de interesse, obter os índices de potencial de produção e até mesmo realizar experimentos com diferentes componentes utilizando o modelo descrito a seguir. Ressaltando que testes sempre devem, primeiramente, ser realizados em escala laboratorial, ou seja, em pequena escala. Não se deve fazer experimentos/testes em escala local (no próprio biodigestor), pois há risco de resultados trágicos, como a inibição completa (inativação) da biota, sendo o uso de biorreatores de bancada uma estratégia econômica e eficiente. Nestes biorreatores podem ser realizados diferentes testes, auxiliando na escolha da melhor alternativa para ajuste dos parâmetros e encontrando a melhor forma de controlar e aumentar a produção de biogás para, assim, definir os melhores inóculos, aditivos e codigestão com suas devidas proporções.

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO

A seguir é apresentado um modelo de biorreator em escala de bancada com 1,3 L de capacidade, que pode ser usado com a finalidade de determinar o potencial de geração de biometano do dejetos suíno estudado e/ou o comportamento da biodigestão ao longo do tempo, de acordo com a forma de alimentação. Os biorreatores devem ser confeccionados em vidro, com misturador instalado em uma tampa rosqueável e usinada em poliacetal (*polyoxymethylene*) (Figura 4). Nesta tampa estão acopladas válvulas de saída de biogás, além de uma tubulação para retirada de digestato para análise.

Descrição do biorreator de bancada: 1. Câmara do misturador: vasilhame de vidro de forma “cilíndrica”, própria para acondicionamento de líquido, volume de 1,3 L, diâmetro externo médio de 130 mm, com parede de espessura média 2 mm, e altura total de 200 mm; 2. Pá do sistema de agitação do misturador de bancada fabricada em acrílico, com eixo de seção quadrada de 15 mm e comprimento 180 mm, com pás coladas de 90 mm de largura; 3. Tubo de alimentação do misturador fabricado em PVC $\frac{3}{4}$ rosqueável, com diâmetro externo de 25 mm e furo de 19 mm; 4. Moto-redutor do sistema de agitação da câmara interna do misturador de bancada, para movimentação da pá marca *Akiyama Motors*, modelo AK360, com as seguintes características: alimentado por tensão nominal 12 V, potência de 2 W e torque máximo de 2,2 kgf.cm a 33 rpm; 5. Suporte do motor do misturador de bancada, fabricado em poliacetal, com face de apoio para a tampa e o motor, além de rasgo oblongo para montagem do acoplamento; 6. Acoplamento do motor fabricado em liga C38500, com ressalto para alojamento do rolamento e retentor com ajuste H7; 7. Bico de saída, fabricado em poliacetal com rosca BSW $\frac{1}{2}$ ” para conexão à tampa e encaixe para mangueira de 8 mm por braçadeira; 8. Rolamento do mancal do eixo da pá do misturador de bancada, código 6302ZZ (10 x 22 x 8) mm; 9. Tampa da câmara interna do misturador, fabricada em poliacetal, com furos rosqueáveis, respectivamente compatíveis com os tubos montados, e furo central para alojamento do rolamento (face externa) e retentor (face interna); 10. Retentor de vedação da câmara do misturador, BRG 10 mm x 22 mm x 7mm.

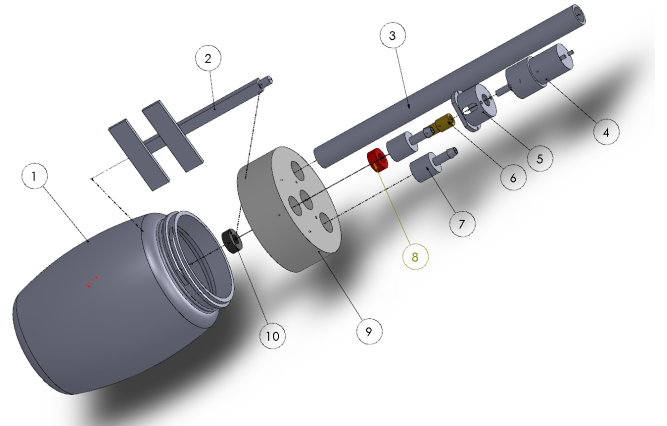


Figura 4. Vista expandida do biorreator de bancada de 1,3 L. Fonte: Autores.

Os experimentos podem ser realizados alimentando o biorreator em uma única etapa (em batelada), para verificar o potencial de produção de biogás em diferentes condições para correção dos parâmetros, através dos métodos descritos anteriormente. Ou periodicamente, simulando, assim, a operação com alimentação semicontínua do biodigestor.

Para o transporte de biogás do interior do biorreator para o interior das bolsas coletoras de gás (*bags*) utilizam-se mangueiras de *tygon*, tendo em vista que são impermeáveis para os gases estudados. Cada biorreator deve ser mantido em banho termostatizado em uma cuba de plástico ou vidro contendo água, mantendo-se a temperatura em $39 \pm 1^\circ\text{C}$ (faixa mesofílica) com o auxílio de uma resistência elétrica acionada via sistema microcontrolado. Controle de agitação dos misturadores em tempos regulares - 1 min a cada intervalo de 20 min, para mistura da suspensão contida no interior dos biorreatores, evitando dessa forma a deposição e/ou flotação de sólidos nos biorreatores por longo período. O ambiente anaeróbico dentro dos biorreatores é obtido fazendo a purga com gás nitrogênio ou gás carbônico. Na Figura 5 vemos um exemplo dos biorreatores montados no recipiente para banho termostatizado e com os *bags* instalados.

MONITORAMENTO E CONTROLE DOS PARÂMETROS PARA OTIMIZAÇÃO DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS POR BIODIGESTORES DE LAGOA COBERTA ALIMENTADOS COM DEJETO SUÍNO



Figura 5. Fotografias dos biorreatores de bancada 1,3 L após montagem. Fonte: Autores.

4.5 Resultados de teste de laboratório com sucesso

Testes com biorreatores de bancada realizados pelos autores mostraram que a codigestão com bagaço de laranja ou torta de filtro, além de aditivo com vinhaça, apresentaram desempenho bem superior à digestão apenas com dejetos suínos.

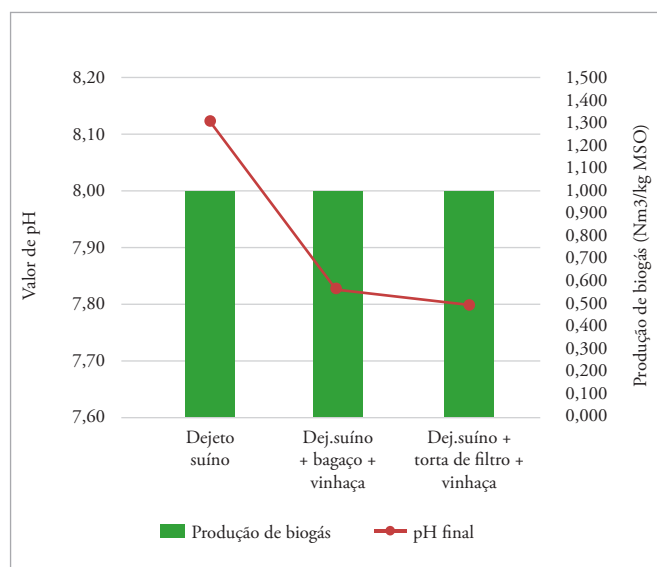


Figura 6. Biogás produzido e pH final dos biorreatores alimentados apenas com resíduos e inóculo suíno e nos biorreatores com codigestão de torta de filtro e adição de vinhaça. Fonte: Autores.

Superando em 256% - produzindo 1,409 Nm³ biogás.kg⁻¹ MSO - nos biorreatores em codigestão com torta de filtro e aditivado com vinhaça, e em 244% - produzindo 1,342 Nm³ biogás.kg⁻¹ MSO - para os biorreatores idênticos ao anterior, porém com bagaço da laranja ao invés de torta de filtro (Figura 6).

Para os testes realizados em laboratório com a produção de biogás por kg de MSO demonstrada na Figura 6 foram encontrados teores de biometano de 70,37% Vol, 77,40% Vol e 73,12% Vol, respectivamente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O emprego do biogás em propriedades agrícolas tem diversas vantagens, como o aproveitamento do potencial energético dos dejetos que não seriam utilizados e ainda poderiam contaminar o solo e as águas superficiais e subterrâneas. O biogás produzido pode ser usado para geração de energia elétrica com uso de geradores a gás, além do uso em fogões e automóveis, sendo uma forma de proporcionar mais autonomia a moradores e trabalhadores rurais.

Para garantir o bom funcionamento e produção do biocombustível biometano eficiente, o processo de biodigestão precisa ser monitorado em seus diversos parâmetros visando melhorar sua produtividade. É preciso observar e otimizar as principais variáveis de controle de processo, entre elas a temperatura, pH, agitação, agentes inibidores e concentração de nutrientes.

Este trabalho traz um modelo facilmente replicado para realização de testes com baixo custo visando contornar os fatores que influenciavam a baixa produção de biogás identificada e que possibilita a verificação dos resultados antes de ampliar a intervenção para escala local evitando custos desnecessários e parada do processo. Estudos anteriores demonstram que a codigestão é eficiente para aumentar a disponibilidade de nutrientes e manter uma elevada produção de biogás pela estabilização da biota e minimizar os efeitos inibitórios provocados pela alcalinização do biodigestor.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANGELIDAKI, I.; AHRING B. K. Co-digestion of olive mill wastewaters with manure, household waste or sewage sludge. **Biodegradation**, 8. 1997. p. 221–226.
- BARRERA, P. **Biodigestores**: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 2. ed. São Paulo: Ícone, 2003. 106 p.
- CASTANHO, D. S.; HARRUDA, H. J. Biodigestores. In: SEMANA DE TECNOLOGIA EM ALIMENTOS, 6., 2008, Ponta Grossa. Ponta Grossa: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2008.
- CENTRO INTERNACIONAL DE ENERGIAS RENOVÁVEIS–BIOGÁS. **Nota Técnica N.º 001/2018** – Produção de biogás a partir da biodigestão de dejetos suínos em fase de terminação no Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu: Cibiogás, 2018.
- FACHAGENTUR NACHWACHSENDE ROHSTOFFE. **Guia Prático do Biogás**: Geração e Utilização. 5. ed. Gülzow: FNR, 2010.
- HARTMANN, H.; ANGELIDAKI, I.; ARHING, B.K. **Co-digestion of the organic fraction of municipal waste with other waste types Biomethanization of the Organic Fraction of Municipal Solid Wastes**. UK: IWA Publishing, 2003.
- JUNQUEIRA, S. L. C. D. **Geração de energia através de biogás proveniente de esterco bovino: estudo de caso na fazenda aterrado**. Rio de Janeiro: Universidade do Rio Janeiro, Departamento de Engenharia Mecânica DEM/POLI/UFRJ, 2014.
- LI, J.; ZICARI, S. M.; CUI, Z.; ZHANG, R. Processing anaerobic sludge for extended storage as anaerobic digester inoculum. **Bioresource Technology**, n. 166. 2014. p. 201-210.
- LIU, C.; YUAN, X.; ZENG, G.; LI, W.; LI, J. Prediction of methane yield at optimum pH for anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. **Bioresource Technology**, n. 99. 2008. p. 882-888.
- MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M. S.; FONOLL, X.; PECES, M.; ASTALS, S. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renew Sust Energy Rev.**, n. 36, 2014. p. 412-427.
- MAZZUCCHI, O. A. J. **Biodigestor rural**. São Paulo: CE.SP, 1980. 29 p.
- MURTO, M.; BJÖRNSSON, L.; MATTIASSON, B. Impact of food industrial waste on anaerobic co-digestion of sewage sludge and pig manure J. **Environ. Manag.**, n. 70, 2004. p. 101-107.
- OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. Manual de Treinamento em Biodigestão. **Instituto Winrock**, v. 2, fev. 2008.
- RESÍDUOS agropecuários: passada onda da biodigestão no Brasil, tecnologia resiste na suinocultura. **Canal Rural**, 26 maio 2012. Série especial. Disponível em: <https://canalrural.uol.com.br/noticias/residuos-agropecuarios-pas-sada-onda-biodigestao-brasil-tecnologia-resiste-suinocultura-38558/>. Acesso em: 31 ago. 2018.
- SOUZA, M. E. Fatores que influenciam a digestão anaeróbia. **Revista DAE**, v. 44, 1984. p. 88-94.
- VITORATTO, E. **Tratamento de efluentes líquidos orgânicos**: Sistemas Anaeróbios.
- PROACQUA Processos de Tratamento de Efluentes e Com. Ltda (diretor técnico). São Paulo: Faculdade Oswaldo Cruz, 2004. 13 p.