



## PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS E EFLUENTE BRUTO DO PROCESSAMENTO DE AVES DE CORTE

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/conresol.6.23.XV-003>

Débora Silveira Ramos (\*), Carolina Santos Gonçalves Gerber Soares, Jeane de Almeida do Rosário, Juliana Ferreira Soares, Gilmar Conte

\* Universidade do Estado de Santa Catarina, dsr.ambiental@gmail.com.

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo avaliar a produção de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos (DS) com efluente bruto (EB) de uma indústria de processamento de aves de corte. Os ensaios foram realizados em batelada em um biorreator de 500 mL, com temperatura fixa em 35 °C e pH em 7,0. A produção e o rendimento de biogás foram investigados a partir de um planejamento experimental fatorial, utilizando diferentes proporções de inóculo (dejeito suíno) (10-30%) e de agitação (contínua, estática e intermitente). A maior produção (90 mL) e o maior rendimento (96,83 mL/gST ou 19,92 mL/gsv) de biogás foi obtida no ensaio com maior proporção de inóculo (30%) e agitação contínua. A produção de metano nas mesmas condições foi de 53 mL, representando 58,89% do biogás produzido. De acordo com a análise estatística, pode-se observar a influência positiva da proporção de inóculo na eficácia do processo. Também foi possível constatar um favorecimento da produção de biogás na presença de agitação, embora isso não tenha sido confirmado estatisticamente ao nível de significância aplicado. Outro fator importante observado na pesquisa foram os valores do pH final. O menor valor de pH após a co-digestão foi de 6,28, demonstrando que a combinação de DS e EB ocasionou a melhoria no tamponamento do sistema. De modo geral, a co-digestão anaeróbia do dejeito suíno com o efluente bruto do processamento de aves de corte mostrou um potencial positivo na produção de biogás e na produção de metano. Para futuro trabalhos, é recomendada a caracterização mais detalhada do biogás por meio de cromatografia gasosa. É indicado, também, aumentar o volume do biodigestor e a proporção de inóculo, possivelmente desse modo o potencial de produção de biogás possa ser elevado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Energia renovável, biogás, biometano, dejetos animais, efluentes industriais.

### ABSTRACT

This study aimed to evaluate the production of biogas from the anaerobic co-digestion of swine manure (SM) with raw effluent (RE) from a poultry processing industry. The essays were carried out in a 500 mL bioreactor, with a fixed temperature of 35 °C and a pH 7.0. The production and yield of biogas were investigated from a factorial experimental design, using different proportions of inoculum (pig manure) (10-30%) and agitation (continuous, static, and intermittent). The highest production (90 mL) and the highest yield (96.83 mL/gST or 19.92 mL/gsv) of biogas was obtained in the assay with the highest proportion of inoculum (30%) and continuous agitation. Methane production under the same conditions was 53 mL, representing 58.89% of the biogas produced. According to the statistical analysis, it was observed a positive influence of the inoculum proportion on the process. It was also possible to verify a favoring of biogas production in the presence of agitation, although this has not been statistically confirmed at the applied significance level. Another important factor observed in the research were the final pH values. The lowest pH value after co-digestion was 6.28, demonstrating that the combination of SM and RE led to an improvement in system buffering. In general, the anaerobic co-digestion of swine manure with the raw effluent from poultry processing showed a positive potential in the biogas and methane production. For future work, a more detailed characterization of the biogas by chromatography is recommended. It is also indicated to increase the volume of the biodigester and the proportion of inoculum, possibly in this way the potential for biogas production can be increased.

**KEY WORDS:** Renewable energy, biogas, biomethane, animal waste, industrial effluents.



### INTRODUÇÃO

A crescente demanda por energia, o aumento de emissões dos gases de efeito estufa (GEEs) e o acúmulo de resíduos constituem uma problemática ambiental que se destaca atualmente. Esses fatores, decorrentes da urbanização, da produção intensiva e do crescimento demográfico e industrial, aliados à exploração de fontes de energia não-renováveis e altamente poluidoras, motivam a busca por recursos energéticos sustentáveis, visando atender acordos internacionais e reduzir a dependência de combustíveis fósseis (KALAISELVAN et al., 2022).

Além disso, tem crescido a preocupação, principalmente de órgãos ambientais, com a geração, destinação e tratamento de resíduos e efluentes da agroindústria e agropecuária (MARDER et al., 2021). A produção de carne, especialmente suínos e aves, originam grandes quantidades de resíduos com elevada carga orgânica, e alta concentração de carbono e nutrientes, que podem interferir na qualidade do solo e, principalmente, das águas pelo aumento na concentração de nitrato, além da eutrofização devido ao fósforo solúvel, entre outros impactos.

Quanto aos efluentes líquidos industriais, Oliveira et al. (2011) afirmam que afluentes avícolas têm alto poder poluente, gerando elevados valores de DBO, consideráveis quantidades de sólidos em suspensão, material flutuante e orgânico. Neste aspecto, a digestão anaeróbia (DA) é eficiente na reciclagem dos nutrientes e energia presentes no efluente, pois eles garantem a reprodução dos microrganismos e a degradação da fração orgânica poluente até sua forma estável. O biogás gerado a partir da DA desses resíduos caracteriza-se como um recurso renovável e alternativa relevante na mitigação de problemas ambientais, destinação de resíduos, produção de energia e redução de emissões de GEEs (FREITAS et al., 2019).

O processo de digestão anaeróbia, processo metabólico complexo, se dá na ausência de oxigênio, no qual vários microrganismos associados decompõem a matéria orgânica presente nos resíduos, em compostos menores e menos complexos, dando origem ao biogás. O biogás caracteriza-se por uma mistura gasosa composta, principalmente, de metano ( $\text{CH}_4$ ) (50% a 75%), que possui poder calorífico, e de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (25% a 50%), entre outros gases traço (GROSSI et al., 2019). Quando mais de um tipo de resíduo é combinado no método, este é chamado de co-digestão anaeróbia. Ela possibilita tratar mais de um resíduo de uma vez e traz vantagens como maior eficiência e maior equilíbrio da relação carbono:nitrogênio (C:N) (EL-MASHAD; ZHANG, 2010).

O biogás, por sua vez, pode ser empregado na geração de energia térmica e elétrica, como uma alternativa de energia renovável substituindo o gás natural (GN), o gás liquefeito de petróleo (GLP) e o gás natural veicular (GNV), que são combustíveis fósseis não-renováveis e altamente poluidores, além de gerar um subproduto utilizado como biofertilizante (DIVYA; GOPINATH; MERLIN CHRISTY, 2015).

### OBJETIVO

Este estudo teve como objetivo avaliar a produção de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com efluente bruto de uma indústria de processamento de aves de corte, utilizando diferentes condições de agitação do meio e diferentes proporções de inóculo.

### METODOLOGIA

Os substratos utilizados na co-digestão anaeróbia foram o dejetos suíno (DS) e o efluente bruto (EB) de um frigorífico que faz o processamento de aves de corte. O DS atuou como substrato e como fonte de inóculo por ser rico em microrganismos. O DS foi cedido por uma pequena propriedade rural, localizada na cidade de Rio do Oeste/SC, onde os animais são criados para consumo próprio com controle da dieta, que é composta por uma ração à base de milho, soja, farelo de arroz e soro de queijo. Já o efluente foi obtido de uma indústria de processamento de aves de corte, localizada em Lages/SC. O efluente foi coletado após a peneira rotativa e antes de receber qualquer tipo de tratamento, pois a carga orgânica presente no mesmo é necessária para o processo de DA.

Após as coletas, o EB e o DS foram fracionados em recipientes plásticos e acondicionados sob refrigeração ( $-4\text{ }^\circ\text{C}$ ) até o dia anterior a cada ensaio. Ambos os substratos foram analisados preliminarmente para determinação do teor de umidade, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), sólidos fixos (SF) e cinzas, de acordo com o método padrão APHA (1999).



O sistema de co-digestão adotado seguiu os modelos de biorreatores de bancada utilizados por Silva (et al, 2018) e Casallas-Ojeda (2016) com algumas adaptações (Figura 1). O reator, com capacidade de 500 mL, era vedado por uma rolha de silicone na qual foi inserido um termômetro para o controle da temperatura no seu interior. Um sistema de deslocamento de coluna d'água, composto por uma proveta graduada preenchida com água, propiciou a quantificação do biogás produzido. O monitoramento do volume de biogás foi realizado a cada 6 h até cessar a produção.

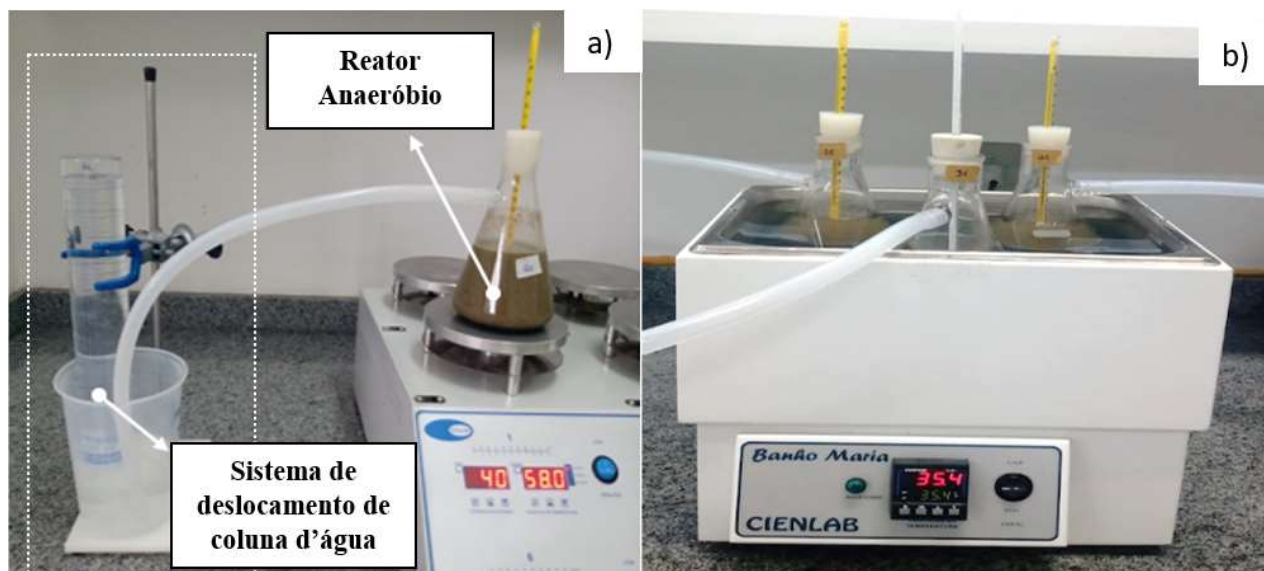


Figura 1: Sistema de produção de biogás a partir da co-digestão de dejetos suínos e efluente bruto do processamento de aves de corte. (a) Com agitação, em agitador magnético; (b) Sem agitação, em banho maria. Fonte: Autores, 2022.

A influência da proporção de inóculo (dejeito suíno) e da condição de agitação na produção de biogás foi investigada de acordo com o planejamento experimental fatorial apresentado na Tabela 1. Todos os ensaios foram realizados em batelada e com temperatura fixa em  $35 \pm 2^\circ\text{C}$  e pH em  $7,0 \pm 0,1$ , considerando dados da literatura (ROHSTOFFE, 2010; KUNZ et al., 2019; MARDER et al., 2021). Os ensaios estáticos (sem agitação) foram executados em banho maria para evitar a estratificação da temperatura dentro do reator. Enquanto os ensaios com agitação contínua ou intermitente foram conduzidos no agitador magnético com aquecimento, fixado a 40 rotações por minuto (rpm).

Tabela 1. Planejamento experimental fatorial para produção de biogás a partir da co-digestão de dejetos suínos e efluente bruto do processamento de aves de corte. Fonte: Autores, 2022.

Ensaio	Agitação (% do tempo)	Inóculo (%)
1	100 <sup>1</sup> (+1)	30 (+1)
2	0 <sup>2</sup> (-1)	30 (+1)
3	0 <sup>2</sup> (-1)	10 (-1)
4	100 <sup>1</sup> (+1)	10 (-1)
5	50 <sup>3</sup> (0)	20 (0)

<sup>1</sup> Contínua; <sup>2</sup> Estática; <sup>3</sup> Intermitente (a cada 3h).

Os cálculos de eficiência da remoção de sólidos e rendimento de biogás e os gráficos de produção de biogás foram realizados nos programas Excel 2016 e SigmaPlot V14.5. O planejamento experimental fatorial foi analisado estatisticamente por meio do gráfico de Pareto no *software* Statistica 8, considerando um nível de significância de 95%.

O mesmo sistema de deslocamento de coluna d'água, utilizado na quantificação do biogás dos ensaios do planejamento experimental, foi utilizado em outro ensaio adicional para a quantificação do CH<sub>4</sub>. Para isso, substituiu-se a água por uma solução de NaOH 3%, a qual promove a absorção do CO<sub>2</sub>. Este ensaio foi realizado para a melhor condição experimental obtida a partir do planejamento experimental fatorial, ou seja, sob as condições de agitação e proporção de inóculo que geraram maior produção de biogás.

**RESULTADOS**

O dejetos suíno e o efluente bruto de processamento avícola foram caracterizados quanto ao teor de umidade, ST, SF, SV e cinzas (Tabela 2). De acordo com os resultados, o dejetos apresentou 77,41% de umidade e 22,59% de ST, o que se assemelha com os resultados obtidos por Silva et al. (2018), e o efluente 99,10% de umidade e 0,90% de ST. Ambos apresentaram baixo teor de SF, o que corresponde a baixa concentração de matéria inorgânica.

O teor de SV foi de 17,48% para o dejetos e 0,79% para o efluente. Os SV representam a fração orgânica volatilizada no biodigestor, ou seja, o material que será fermentado para a geração de biogás. Teoricamente quanto maior a concentração de SV maior a produção de biogás (EMBRAPA, 2018). Não foram encontrados dados na literatura quanto aos parâmetros para o efluente do processamento de aves especificamente. Contudo, no que diz respeito aos mais variados substratos utilizados na co-digestão anaeróbia, esses parâmetros variam consideravelmente.

**Tabela 2. Caracterização física dos substratos utilizados para produção de biogás. Fonte: Autores, 2022.**

Composição (%)	Dejetos Suínos	Efluente Bruto
Umidade	77,41 ± 0,07	99,10 ± 0,01
Sólidos totais	22,59 ± 0,07	0,90 ± 0,01
Sólidos fixos	5,11 ± 0,04	0,12 ± 0,01
Sólidos voláteis	17,48 ± 0,06	0,79 ± 0,01
Cinzas	4,44 ± 0,07	0,08 ± 0,00

Os valores de produção (mL) e rendimento (mL·gST<sup>-1</sup>, mL/gsv) de biogás, resultantes da co-digestão anaeróbia do DS e EB, obtidos nos cinco ensaios realizados, estão dispostos na Tabela 3. A produção de biogás variou de 16,67 mL a 90 mL. A maior produção foi observada no ensaio 1, no qual a concentração de inóculo foi de 30% o que correspondeu a 120 g de inóculo para 280 g de substrato e agitação contínua durante toda a operação do biodigestor. Em contrapartida, a menor produção se deu no ensaio 3, o qual não recebeu agitação e teve a menor aplicação de inóculo (10%). Os valores de produção foram relativamente baixos, mas ainda sim expressam um potencial positivo.

**Tabela 3. Produção e rendimento de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de dejetos suíno e efluente bruto do processamento de aves de corte. Fonte: Autores, 2022.**

Ensaio	Agitação (% do tempo)	Inóculo (%)	Produção de biogás (mL)	Rendimento de biogás	
				(mL/g <sub>ST</sub> )	(mL/g <sub>sv</sub> )
1	100 <sup>1</sup> (+1)	30 (+1)	90	96,83	19,92
2	0 <sup>2</sup> (-1)	30 (+1)	47,50	17,30	8,03
3	0 <sup>2</sup> (-1)	10 (-1)	16,67	0,93	0,95
4	100 <sup>1</sup> (+1)	10 (-1)	20	1,12	1,14
5	50 <sup>3</sup> (0)	20 (0)	33,33	3,46	2,95

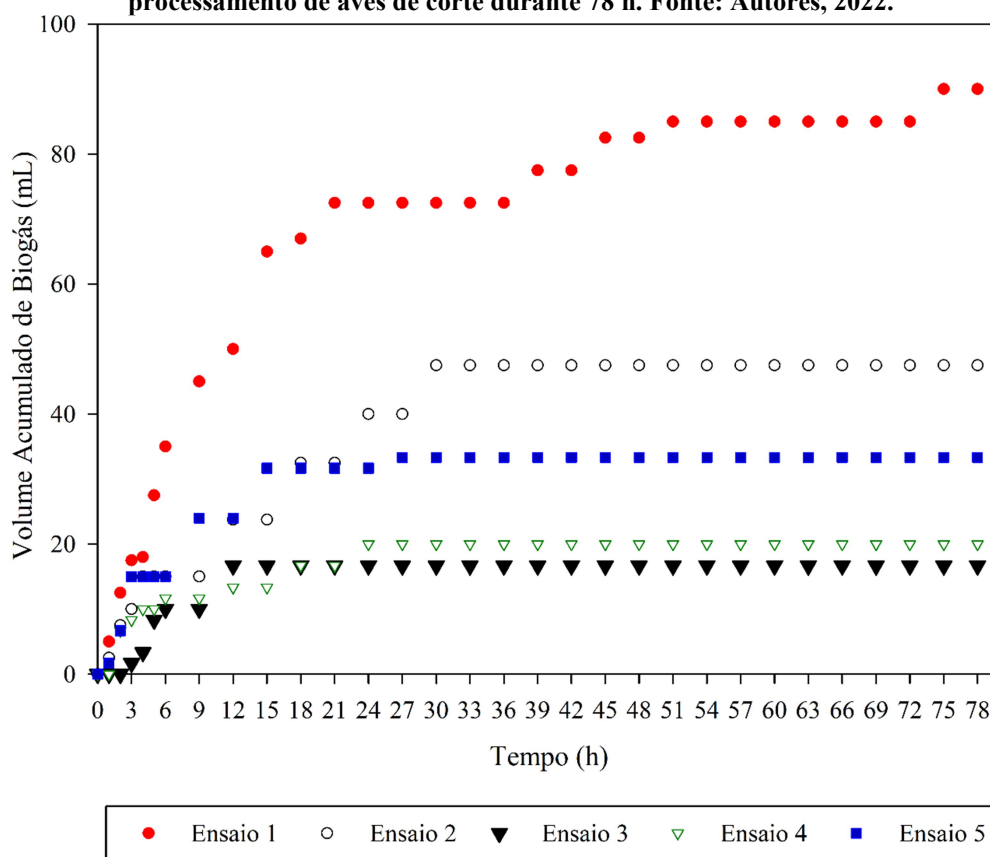
<sup>1</sup> Contínua; <sup>2</sup> Estática; <sup>3</sup> Intermitente (a cada 3h).

As curvas cinéticas da produção de biogás a partir da co-digestão anaeróbia do DS e EB podem ser vistos na Figura 2. É possível observar que os ensaios se comportaram de forma semelhante, com o maior volume produzido durante as primeiras 12 horas. Os ensaios 2, 4 e 5 começaram a ter diminuição da produção a partir de 24 h de operação, enquanto o ensaio 3 cessou a produção após 12 h de operação.

Essa diferença pode ser explicada pela falta de agitação no ensaio 3, o que limita a área de contato dos microrganismos com o substrato e interfere no potencial de produção. O oposto ocorre no ensaio 1, que apresenta o maior volume acumulado, pois a maior proporção de inóculo associada com agitação contínua confere ao processo quantidade satisfatória de matéria orgânica e microrganismos e uma maior região de contato entre ambos, condição favorável a produção de biogás.



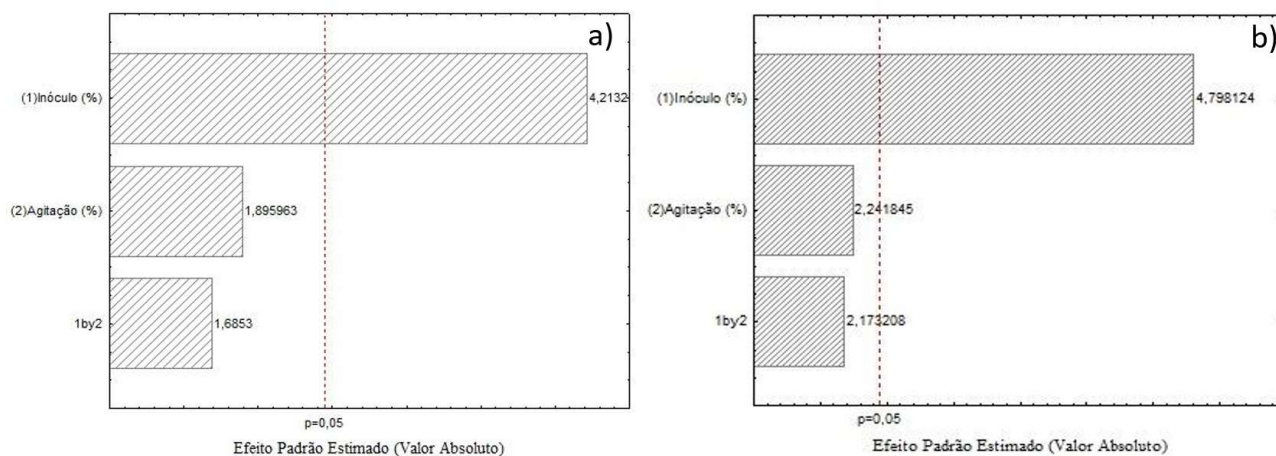
**Figura 2. Produção acumulada de biogás a partir da co-digestão anaeróbia de dejetos suíno e efluente bruto do processamento de aves de corte durante 78 h. Fonte: Autores, 2022.**



Os ensaios que demonstraram a maior produção acumulada (1, 2 e 5) foram aqueles em que foram aplicadas as maiores proporções de inóculo (20 e 30%), o que corrobora com análise do gráfico de Pareto (Figura 3), o qual evidencia a influência positiva da proporção de inóculo na produção (mL) e rendimento (mL/gsv) de biogás a um nível de 95% de significância.

Conforme observado no gráfico de Pareto, a um nível de significância de 95% apenas a proporção de inóculo influencia no processo. Logo, a agitação e a interação entre agitação e proporção de inóculo não influenciam estatisticamente na produção e rendimento. Os gráficos de Pareto para a influência da agitação e proporção de inóculo na produção de biogás (mL) e no rendimento e biogás (mL/gsv) estão ilustrados nas figuras 4a e 4b, respectivamente.





**Figura 3: Efeito das variáveis agitação e proporção de inóculo na (a) produção e no (b) rendimento de biogás obtido a partir da co-digestão anaeróbia de dejetos suíno e efluente bruto do processamento de aves de corte.**

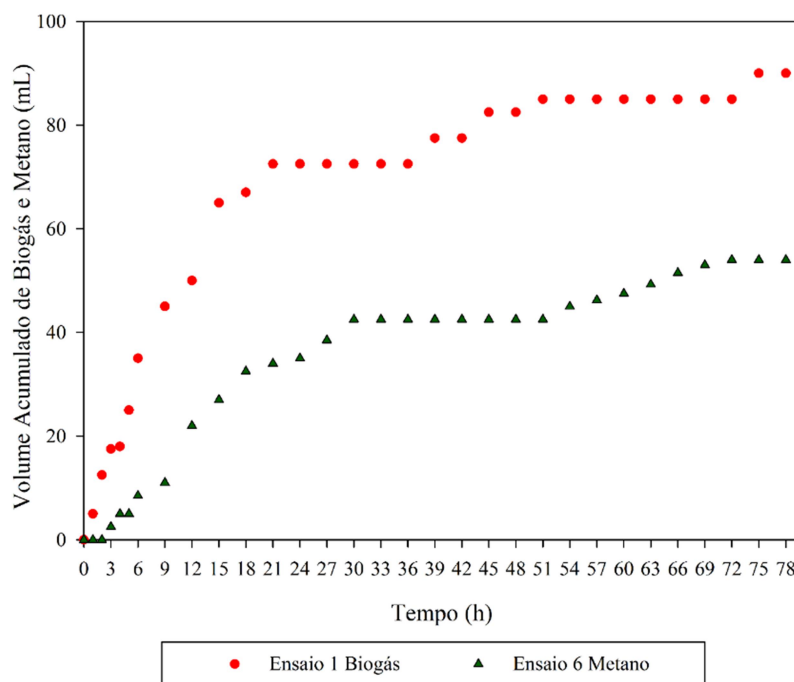
Fonte: Autores, 2022.

Os valores de pH não decaíram consideravelmente, demonstrando bom tamponamento do sistema, o que possivelmente contribuiu positivamente para o desenvolvimento de bactérias (CHERNICHARO, 1997 apud CAMPOS et al., 2005). O menor valor de pH após a co-digestão foi de 6,28 no ensaio 1. Segundo Rohstoffe (2010), valores de pH reduzem quando o sistema esgota sua capacidade de tamponamento pois o acúmulo de ácidos orgânicos acidifica o processo. Os valores de pH observados na Tabela 4 demonstram que a combinação de DS e EB atenuou a ação inibidora de compostos de amônia, como  $\text{NH}_4\text{-N}$ , e ocasionou a melhoria no tamponamento do sistema (NAYONO; GALLERT, 2010).

**Tabela 4. Valores de pH inicial e final dos meios de co-digestão anaeróbia. Fonte: Autores, 2022.**

Ensaio	pH inicial	pH final
1	7,00	6,28
2	7,00	6,40
3	7,00	6,66
4	7,00	6,78
5	7,00	6,61

Por fim, a concentração de  $\text{CH}_4$  foi mensurada em um ensaio adicional, repetindo-se as mesmas condições de temperatura, pH, agitação e porcentagem de inóculo do ensaio 1. A diferença metodológica foi a criação de uma barreira química para o  $\text{CO}_2$ , utilizando solução NaOH 3% no sistema de deslocamento de coluna. O gráfico da figura 4 representa a comparação entre o volume acumulado de biogás no ensaio 1 do planejamento experimental e de metano no ensaio adicional, durante 78 h, sendo que a produção acumulada de metano foi de 53 mL. Comparando-os temos que o metano produzido no ensaio 6 equivale a 58,89% do biogás produzido no ensaio 1, desconsiderando-se os gases traço possivelmente presentes. Percebe-se que ambos possuem o mesmo comportamento, apresentando 3 picos de produção ao longo do tempo. Acredita-se que a diferença entre o volume acumulado dos dois ensaios seja referente ao volume de  $\text{CO}_2$  produzido.



**Figura 4. Produção acumulada de biogás e de metano a partir da co-digestão anaeróbia de dejetos suíno e efluente bruto do processamento de aves de corte durante 78 h. Fonte: Autores, 2022.**

## CONCLUSÕES

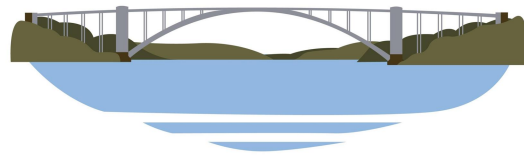
A DA é ainda um processo a ser explorado visando a sua otimização. Foi possível comprovar a influência positiva da proporção de inóculo na produção e rendimento de biogás. Também se observou um favorecimento da produção na presença de agitação, embora isso não tenha sido confirmado estatisticamente ao nível de significância aplicado.

De modo geral, a co-digestão anaeróbia do dejetos suíno com o efluente bruto do processamento de aves de corte mostrou um potencial positivo na produção de biogás e na produção de metano. Para futuros trabalhos, é recomendada a caracterização mais detalhada do biogás por meio de cromatografia gasosa. É indicado, também, aumentar o volume do biodigestor e a proporção de inóculo, possivelmente desse modo o potencial de produção de biogás possa ser elevado.

Além disso, a realização de um ensaio “branco” apenas com o inóculo, é um indicativo crucial para trabalhos futuros, a fim de avaliar quanto da produção foi resultado da degradação de matéria orgânica presente no próprio dejetos e quanto foi efetivamente degradação do efluente, objetivando identificar se ambos estão contribuindo para a produção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington, 1999.
2. CAMPOS, C.M.M.; MOCHIZUKI, E.T.; DAMASCENO, L.H.S.; BOTELHO, C.G.; **Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos.** Ciência e Agrotecnologia, v. 29, n. 4, p. 848 – 856, 2005.
3. CASALLAS-OJEDA, M.; MENESES-BEJARANO, S.; URUEÑA-ARGOTE, R.; MARMOLEJO-REBELLON, L.F.; TORRES-LOZADA, P. **Techniques for Quantifying Methane Production Potential in the Anaerobic Digestion Process.** Waste and Biomass Valorization, v. 13, p. 2493 – 2510, 2022.
4. DIVYA, D.; GOPINATH, L. R.; MERLIN CHRISTY, P. **A review on current aspects and diverse prospects for enhancing biogas production in sustainable means.** Renewable and Sustainable Energy Reviews Elsevier Ltd, 2015.



5. EL-MASHAD HM, ZHANG R. **Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. Bioresour Technol.** 2010;101(11):4021-8. doi: 10.1016/j.biortech.2010.01.027. Epub 2010 Feb 4. PMID: 20137909.
6. EMBRAPA. **Suínos e Aves**, Disponível em: <https://www.embrapa.br/suinos-e-aves/cias/estatisticas/suinos/mundo>. Acesso em: 16/07/2022.
7. FREITAS, F. F.; DE SOUZA, F.F.; FERREIRA, L.R.A.; OTTO, R.B.; ALESSIO, F.J.; DE SOUZA, S.N.M.; VENTURINI, O.J.; JÚNIOR, O.H.A. **The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study.** Renewable and Sustainable Energy Reviews, v. 101, p. 146 – 157, 2019.
8. GROSSI, G.; GOGGIO, P.; VITALI, A.; WILLIAMS, A. Livestock and climate change: Impact of livestock on climate and mitigation strategies. **Animal Frontiers**, v. 9, n. 1, p. 69–76, 3 jan. 2019.
9. KALAISELVAN, N. GLIVIN, G.; BAKTHAVATSALAM, A.K.; MARIAPPAN, V.; PREMALATHA, M.; RAVEENDRAN, P.S.; JAYARAJ, S.; SEKHA, S.J.; **A waste to energy technology for Enrichment of biomethane generation: A review on operating parameters, types of biodigesters, solar assisted heating systems, socio economic benefits and challenges.** Chemosphere, v. 293, p. 133486, 2022.
10. KUNZ, A.; STEINMETZ, R.L.R.; AMARAL, A.C. Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato - Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves. 1ªed. 2019. 209 p.
11. MARDER, M.; BUCKER, F.; KONRAD, O.; MARCONATTO, L. BORGES, L.G.A.; GIONGO, A.; GRANADA, C. E. **Effect of the acclimated inoculant on improving the potential for biogas production at room temperature (~28 °C) subjected to daily variations.** Journal of Cleaner Production, v. 292, 125959, 2021.
12. NAYONO, S.E., GALLERT, C., & WINTER, J. **Co-digestion of press water and food waste in a biowaste digester for improvement of biogas production.** Bioresource technology.101 18, 6998-7004.
13. OLIVEIRA, L. A. G. **Dejetos suínos: qualidade, utilização e o impacto ambiental.** 2011. 54 f. Disciplina Seminários Aplicados (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal de Goiás (UFG), Goiânia.
14. ROHSTOFFE, N. EV, F. **Guia Prático do Biogás - Geração e Utilização.** 5ª Ed, 2010, 236p. Disponível em: [biogasportal.info](http://biogasportal.info). Acesso em: 16/07/2022.
15. SILVA, T. K.; BRUCKMANN, F. da S.; SALLES, T. da R.; SOARES, J. F.; RHODEN, C. R. B. **PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA CODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS SUÍNOS E LODO DE FRIGORÍFICO. Recursos Naturais: Energia de Biomassa Florestal, [S.L.], p. 165-175, 2021. Editora Científica Digital.**