

REVISTA AIDIS

de Ingeniería y Ciencias Ambientales:
Investigación, desarrollo y práctica.

GERAÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DA DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS DA DIETA DE CULTIVO DE INSETOS

* Luciane de Oliveira Leite Santos¹
Marta Siviero Guilherme Pires¹
Dagoberto Y. Okada¹

BIOGAS GENERATION FROM ANAEROBIC DIGESTION OF RESIDUES FROM THE INSECT CULTIVATION DIET

Recibido el 9 de junio de 2023. Aceptado el 11 de septiembre de 2023

Abstract

The exponential growth of solid waste generation has become a worrying factor around the world, due to the negative impacts caused to fauna, flora and public health when inappropriately disposed. An alternative for treating organic waste is anaerobic digestion, which generates biogas that can be reused for electricity and fuel, also reducing the mass of waste to be disposed of. This study aimed to evaluate the potential for biogas generation of an organic waste, generated from diets from the cultivation of organisms for integrated pest management, composed of whole wheat flour and brewer's yeast, in addition to quantifying the generation of biogas. The potential for methane generation, using AME – Specific Methanogenic Activity. The tests were conducted in two stages and the AME test values found in the first stage ranged between 0.025 and 0.180 gCOD CH₄/gSSV.d and substrate degradability was 90.64%. For the second stage the values were between 0.004 and 0.041 gCOD CH₄/gSSV.d and maximum degradability of the residue was 65.75%. The theoretical volume of methane generated in CNTP with 100% substrate degradation (L CH₄) was 0.786L in the first stage and 0.943L in the second stage. The volumes of methane generated in the tests were 0.789L and 0.804L in the first stage and 0.700L and 0.482L in the second stage. Thus, it is concluded that this residue has the potential for biogas generation and the methane production was within the expected range in the literature.

Keywords: anaerobic digestion, biogas, methane, specific methanogenic activity.

¹ Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Brasil.

* *Autor correspondente:* Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Paschoal Marmo, 1888 - Jardim Nova Italia, Limeira - SP, 13484-332. Brasil. Email: luciane.gmr@gmail.com

Resumo

O crescimento exponencial da geração de resíduos sólidos tem se tornado um fator preocupante em todo o mundo, devido aos impactos negativos causados à fauna, flora e saúde pública quando descartados inadequadamente. Uma alternativa para o tratamento de resíduos orgânicos é a digestão anaeróbia, que gera biogás podendo ser reutilizado para eletricidade e combustível, reduzindo também a massa de resíduos a ser descartada. Este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial de geração de biogás de um resíduo orgânico, gerado a partir de dietas oriundas do cultivo de organismos para manejo integrado de pragas, composto por farinha de trigo integral e levedura de cerveja, além de quantificar a geração de biogás e a potencial geração de metano, usando AME - Atividade Metanogênica Específica. Os testes foram realizados em duas bateladas e os valores de AME encontrados na primeira batelada variaram entre 0.025 e 0.180 gDQO CH₄ / gSSV.d e a degradabilidade do substrato foi de 90.64%. Para a segunda batelada os valores ficaram entre 0.004 e 0.041 gDQO CH₄ / gSSV.d e a degradabilidade máxima do resíduo foi de 65.75%. O volume teórico de metano gerado na CNTP com 100% de degradação do substrato (L CH₄) foi de 0.786L no primeiro estágio e 0.943L no segundo estágio. Os volumes de metano gerados nos testes foram 0.789L e 0.804L no primeiro estágio e 0.700L e 0.482L no segundo estágio. Assim, conclui-se que este resíduo possui potencial para geração de biogás e a produção de metano está dentro do esperado na literatura.

Palavras-chave: atividade metanogênica específica, biogás, digestão anaeróbia, metano.

Introdução

A digestão anaeróbia (DA) é uma alternativa viável para a estabilização de resíduos sólidos urbanos, podendo ter como produtor final o biogás, o qual pode ser reaproveitado na geração de energia (Campuzano e Martinez, 2016). O processo de DA tem potencial em produzir biogás que consiste em 50 – 70% CH₄, 25 – 40% CO₂ e gases residuais (1 – 5%), tornando-o uma fonte de energia renovável. Substratos que contenham componentes, como gorduras e proteínas, tem alta biodegradabilidade e influenciam favoravelmente à produção de um biogás com alto teor de metano (Atelge *et al.*, 2020).

Alguns parâmetros têm grande influência para a produção de biogás, como por exemplo o pH que é um parâmetro fundamental, pois este é um indicador de estabilidade no sistema de DA, e os metanogênicos são sensíveis a pH baixo e o pH alto leva a formação de amônia que pode ser tóxica para os micro-organismos (Panigrahi e Dubey, 2019; Kumar e Samadder, 2020). A temperatura é também uma variável significativa na DA, pois determina os processos cinéticos e a velocidade do processo microbiológico, uma vez que a atividade metabólica dos micro-organismos só é possível em determinada faixa de temperatura. A digestão anaeróbia é geralmente classificada em psicrófila (< 20°C), mesófila (25 - 45°C) e digestão termofílica (>45 °C) (Fernández-rodíguez *et al.*, 2013; Feng *et al.*, 2019). Para o tempo de detenção hidráulico (TDH), quanto maior, maior a eficiência de remoção porque a biomassa microbiana tem tempo suficiente para estar em contato próximo com os resíduos, portanto, removendo grandes quantidades de contaminantes dos resíduos que estão sendo tratados, ou seja, um aumento no TDH pode fornecer tempo suficiente para os metanógenos mineralizarem a matéria orgânica em metano e dióxido de carbono (Abdelgadir *et al.*, 2014; Baâti *et al.*, 2018; Sawyerr *et al.*, 2019).

Outros fatores como a relação carbono/nitrogênio (C/N), granulometria do substrato, amônia, metais, redução de sulfato a sulfeto, são fatores que também influenciam diretamente a digestão anaeróbia (Chernicharo *et al.*, 2010; Dawson *et al.*, 2011; Jain *et al.*, 2015; Kunz *et al.*, 2019; Luo *et al.*, 2020). Os fármacos e antibióticos são inibidores e tóxicos aos micro-organismos anaeróbios, os metanógenos, pois são organismos mais sensíveis (Aydin *et al.*, 2015).

A produção do biogás é realizada na fase da metanogênese, portanto é necessário que a DA alcance essa fase sem interferente, sendo totalmente dependente dos fatores mencionados anteriormente. É possível acompanhar os organismos metanógenos através da Atividade Metanogênica Específica (AME). AME é a capacidade máxima de produção de metano realizada por um consórcio de micro-organismos anaeróbios através de condições controladas em laboratório. (Aquino *et al.*, 2007; Chernicharo, 2007). Segundo Florentino *et al.*, 2010, para o teste de AME é necessário considerar conhecida a quantidade de biomassa, ou seja, matéria orgânica a ser degradada expressa em gramas de Sólidos Voláteis Totais (gSVT) e de substrato, expressa em gramas de Demanda Química de Oxigênio (gDQO).

Metodologia

O resíduo orgânico utilizado para a pesquisa era proveniente de uma empresa do setor da agricultura, que cultiva organismos para manejo integrado de pragas e era constituído por farinha de trigo integral orgânica e levedura de cerveja. O inóculo utilizado foi o lodo proveniente do tratamento de esgoto doméstico de uma empresa, que utiliza fossa séptica seguida de filtro anaeróbio.

Este teste foi realizado em duas bateladas seguindo as mesmas condições experimentais, e para medição da atividade metanogênica específica foram realizados testes de bancada de acordo com metodologia proposta por Aquino *et al.*, 2007.

Para o preparo do inóculo e do resíduo, as principais etapas dessa metodologia estão descritas no Quadro 1. Para o preparo do substrato deste trabalho foi avaliado um teor de sólidos no reator de 3 - 8% (30 - 80 gSTV/L) baseado no trabalho de Silva (2014) onde foi utilizado resíduo orgânico para a DA, e então foi definida a relação R/I ($\text{gSTV}_{\text{resíduo}}.\text{gSTV}_{\text{inóculo}}^{-1}$) de 0.1. O lodo foi concentrado em cone Imhoff e aclimatado a 35°C e foram medidos 150mL para cada reator. O teste foi conduzido em frascos de vidro tipo schott com capacidade de 250mL, com volume de reação de 150mL e *headspace* de 100mL. Diluiu-se o resíduo no lodo e em seguida foram adicionadas as soluções de macro e micronutrientes. O pH das amostras foi ajustado para 7.0 com solução de NaOH. Foram realizados o controle (apenas com inóculo) e o tratamento Resíduo/Inóculo (R/I 0.1), ambos em triplicata para que pudesse ser feita a comparação com maior significância estatística.

Quadro 1. Metodologias para análises físico-químicas do inóculo e do resíduo.

	Parâmetro	Metodologia
1ª Etapa	pH	Camargo et al (2009)
	Teor de umidade (%)	APHA (2012)
	Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Camargo et al (2009)
	Nitrogênio Total	Raij et al (2001)
	Demanda Química de Oxigênio (DQO)	APHA (2012)
	Sólidos totais e voláteis	APHA (2012)
2ª Etapa	Determinação da concentração de sólidos suspensos voláteis na amostra	Silva (2014)
3ª Etapa	Adição de macro e micronutrientes	Aquino et al (2007)

Para a medição direta do volume de metano adotou-se o procedimento descrito por Aquino et al (2007) e o monitoramento da produção de metano foi feito diariamente, 3 vezes ao dia, com agitação manual para garantir o contato do substrato com os micro-organismos, antes da medição, e o volume de metano produzido pôde ser contabilizado medindo o volume de NaOH deslocado para a proveta conforme mostra o aparato na Figura 1.



Figura 1. Aparato experimental teste de AME. Fonte: Do Autor, 2019.

Os reatores foram realimentados com substrato quando era observada uma baixa produção de biogás, ou seja, quando o reator estabilizava era adicionado mais substrato. Na primeira batelada foram 4 realimentações onde eram adicionados 0,70g de substrato em cada realimentação e na segunda batelada foram 3 realimentações seguindo a mesma quantidade de substrato da primeira batelada. Em cada realimentação o pH foi verificado e corrigido com NaOH quando necessário.

Para calcular os valores de AME, segundo Aquino *et al.*, 2007, 1 mol de metano equivale a 2 moles de O₂ ou 64 g de DQO. Como 1 mol de qualquer gás, na CNTP (0 °C e 1 atm), ocupa um volume de 22,7 L, pode-se dizer que 1 g de DQO destruída equivale, na CNTP, a 0,354 L de metano formado. Assim foi necessário ajustar as condições do teste de AME para que estivesse dentro das condições CNTP. Em seguida, o valor da AME, em gDQOCH₄/gSSV.d, pode ser calculado conhecendo-se a quantidade de lodo usada como inóculo (g SSV) e a taxa máxima de produção de metano (gDQOCH₄/d) obtida no trecho de maior inclinação.

O volume teórico de metano foi calculado através do site Online Biogas App, onde é calculada a produção de biogás a partir da estequiometria, com base na composição do substrato (OBA, 2021). A degradabilidade do resíduo foi calculada através da produção total de gás gerada no teste (L CH₄) dividido pela produção teórica de gás (L CH₄) x 100.

Resultados

A tabela 1 demonstra os resultados das análises físico-química do substrato e do inóculo da primeira batelada.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos do Inóculo e do Resíduo – Primeira batelada

Parâmetros físico-químicos	Inóculo	Resíduo
pH	6.85	4.82
Umidade (%)	95.93	18.18
Condutividade (µs/cm)	*	21.32
Sólidos Totais (S.T.) % (m/m)	4.06	81.81
Sólidos Voláteis (S.V.) % (m/m)	3.27	78.32
S.V/S.T	0.80	0.95

Legenda: * (não foram feitas análises devido à manutenção dos equipamentos).

Este teste foi realizado em duas bateladas que ocorreram em períodos distintos, pois devido à pandemia da Covid-19, não foi possível realizar uma repetição para confirmação dos resultados logo em seguida da primeira batelada, devido ao acesso restrito ao laboratório.

É possível observar os resultados da análise físico-química do substrato e do inóculo da segunda batelada na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico-químicos do Inóculo e do Resíduo – Segunda batelada.

Parâmetros físico-químicos	Inóculo	Resíduo
pH	6.93	4.82
Umidade (%)	95.67	14.66
Condutividade ($\mu\text{s}/\text{cm}$)	786.6	21.32
Sólidos Totais (S.T.) % (m/m)	4.32	85.33
Sólidos Voláteis (S.V.) % (m/m)	3.39	73.69
S.V/S.T	0.78	0.86

Pelos resultados obtidos pode-se verificar que o pH do resíduo, importante parâmetro para ação dos micro-organismos, era ácido, o que pode inibir a atividade dos organismos metanogênicos (Panigrahi e Dubey, 2019; Kumar e Samadder, 2020). Desta forma, foi necessário ajustar o pH com NaOH para iniciar os testes.

De acordo com os resultados observados, o teor de sólidos voláteis do resíduo variou nas duas bateladas de experimentos, de 73.69 a 78.3 % o que, de acordo com Markou (2015), demonstra à alta degradabilidade do resíduo e potencial de geração de biogás do resíduo avaliado, pois de acordo com o autor, resíduos cujos teores de sólidos voláteis situam-se entre 60 - 85% apresentam este potencial.

Na tabela 3 estão apresentados os resultados para as análises de DQO e nitrogênio, no momento de partida dos reatores e após a finalização dos testes, para cada batelada realizada.

Tabela 3. Resultados de DQO e Nitrogênio das bateladas 1 e 2.

Parâmetros físico-químicos	Batelada 1		Batelada 2	
	Partida	Final experimento	Partida	Final Experimento
DQO (mg/L)	29100	22666	3126	1365
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	*	21840	81200	673400
Nitrogênio Orgânico (mg/L)	*	30180	30180	647420

Legenda: (*): não foi possível realizar análise.

Os valores de nitrogênio amoniacal são de extrema importância para o processo de DA, pois dependendo dos valores obtidos, pode haver inibição dos micro-organismos. Para a faixa observada neste trabalho, os valores encontrados não houve inibição dos micro-organismos (Rajagopal *et al.*, 2013). Na segunda batelada o valor de nitrogênio orgânico foi maior no final

devido ao tempo de espera das análises laboratoriais, por consequência ao acesso limitado ao laboratório em decorrência da pandemia da Covid-19, onde pode ter ocorrido reação nos reatores.

A quantidade de produção de biogás, com a faixa de valores gerados as leituras e curvas das amostras podem ser observadas na Figura 2.

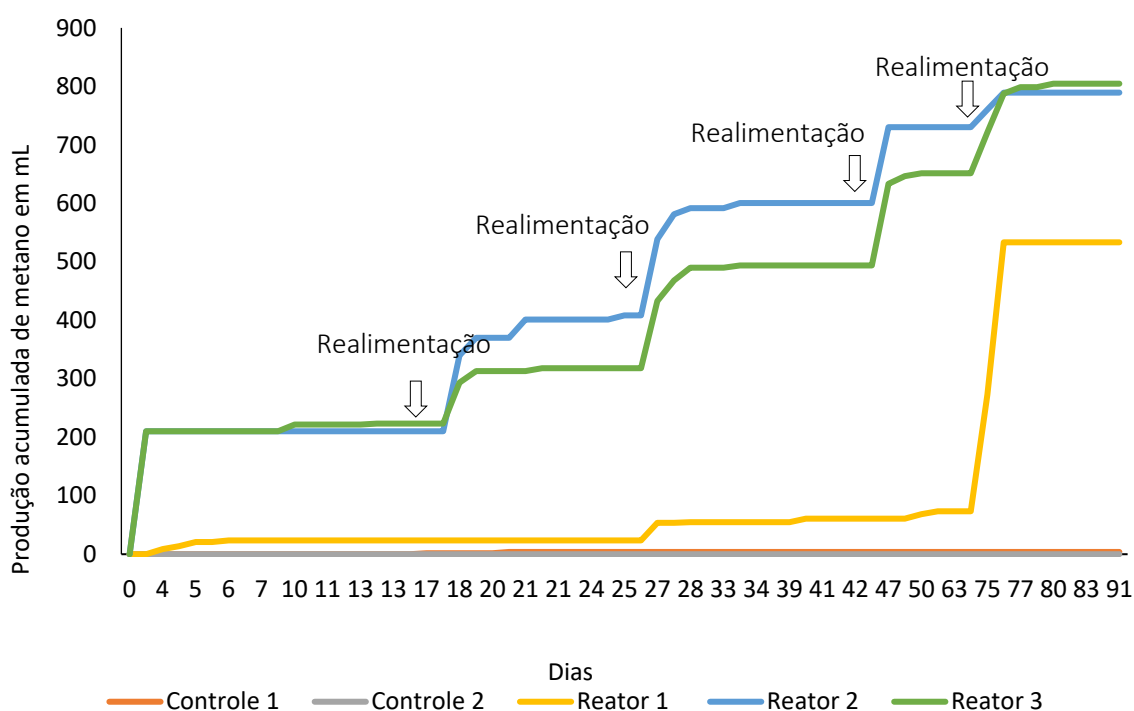


Figura 2. Produção de Biogás – Primeira batelada (2020).

Os reatores 2 e 3 tiveram um comportamento mais similar da produção de biogás e apresentaram estabilizações no mesmo período. Enquanto o reator 1 teve uma falha de operação, como vazamento por exemplo, portanto foi desconsiderado. Os reatores foram realimentados com o resíduo 4 vezes, sempre que havia diminuição/estabilização na geração do metano. Neste momento havia controle do pH e, se necessária, o mesmo era corrigido para próximo de 7.0, que de acordo com a literatura é o ideal (Panigrahi e Dubey, 2019; Kumar e Samadder, 2020) e valores de pH menores que 6.5 e maiores que 8.0 não são recomendados pois afetam os organismos (Oladejo *et al.*, 2020; Mirmohamadsadeghi *et al.*, 2019). Os valores de pH variaram nos 3 reatores na faixa de 6.99 a 7.41.

Neste ponto, é importante ressaltar o intervalo médio em que o reator foi estabilizado e foram necessárias novas realimentações até a estabilização final. O intervalo entre as 3 realimentações nesta batelada variou entre 17 a 27 dias, e a partir da última não houve mais geração do metano. O TDH tem também grande influência no processo, e de acordo com Mirmohamadsadeghi *et al.*, 2019, o tempo pode variar entre 15 e 30 dias, com retenção de no mínimo entre 10 e 15 dias, o que corrobora com os dados obtidos nesta pesquisa. Os autores também ressaltam que o TDH é fundamental para que os micro-organismos consigam converter a matéria orgânica em metano.

A partir disso e de acordo com a Figura 2, foram calculados valores de AME para cada realimentação apresentados na Tabela 4. O volume acumulado de biogás produzido para o reator 2 foi de 789.3 mL e para o reator 3 foi de 804.6 mL.

Tabela 4. Valores de AME – primeira batelada (2020).

Parâmetros	R2*	R2	R2	R2	R2	R3**	R3	R3	R3	R3
dt (dias)	3.87	0.4	0.47	0.94	0.66	3.87	0.4	0.47	0.94	0.66
Quantidade de inóculo (g.SSV)	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5	4.5
Metano produzido (gDQO CH ₄)	0.524	0.324	0.324	0.324	0.074	0.524	0.174	0.287	0.349	0.174
AME gDQO-CH ₄ .gSTV-1.d-1	0.030	0.180	0.153	0.077	0.025	0.030	0.097	0.136	0.083	0.059

Legenda: (*)Reator 2; (**)Reator 3.

É possível observar na Tabela 5, a comparação do volume teórico de metano gerado e o volume gerado neste primeiro ensaio.

Tabela 5. Comparativo volume teórico de metano nas CNTP e volume gerado na primeira batelada.

Parâmetros	R1*	R2**	R3***
Resíduo total adicionado (gSTV)	2.25	2.25	2.25
Volume final estimado de metano gerado nas CNTP com 100% de degradação do substrato (L CH ₄)	0.786	0.786	0.786
Volume final gerado de metano gerado no ensaio (L CH ₄)	0.5333	0.7893	0.8046
Volume final gerado de metano gerado no ensaio nas CNTP (L CH ₄)	0.472	0.698	0.712
Degrabilidade do resíduo (%)	60.08%	88.91%	90.64%

Legenda: (*)Reator 1; (**)Reator 2; (***)Reator 3.

Observa-se que houve uma alta degradabilidade do resíduo nessa primeira batelada demonstrando que é um substrato de fácil degradação e o volume de metano gerado no ensaio ficou bem próximo ao volume teórico de metano.

Foi feita uma segunda batelada nas mesmas condições que a primeira, a fim de confirmar a metodologia. As medições de produção de biogás podem ser observadas na Figura 3.

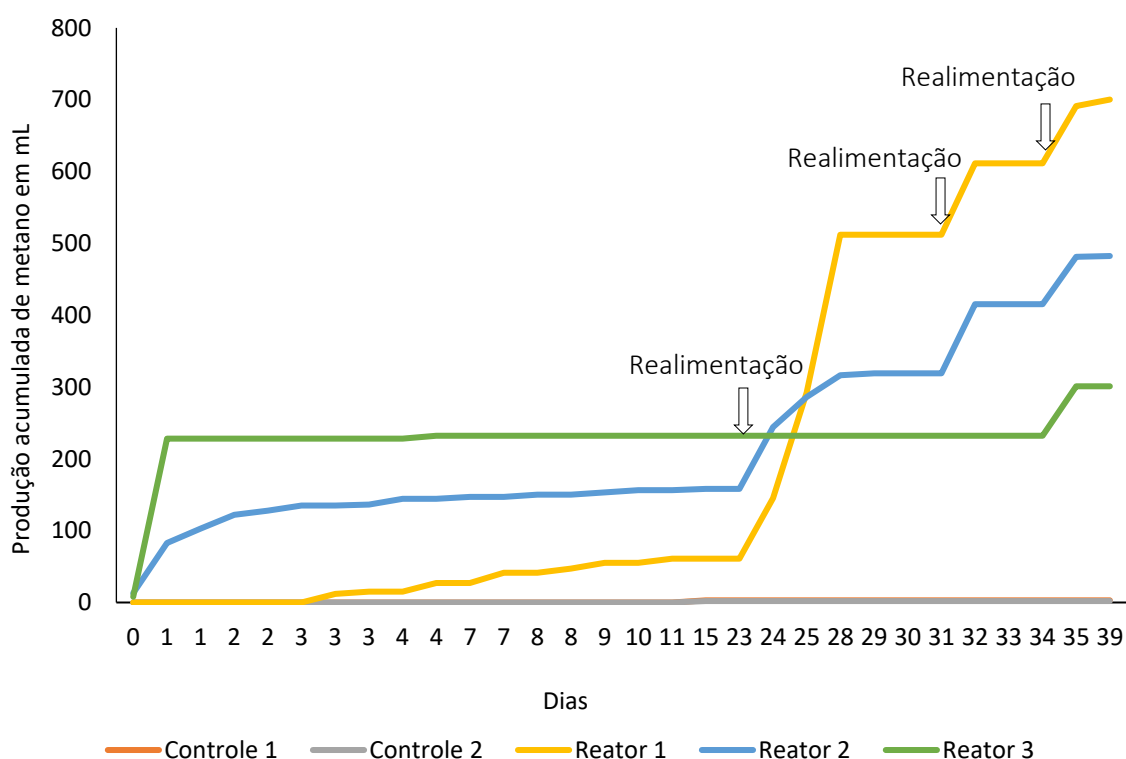


Figura 3. Produção de Biogás – Segunda batelada (2021).

Os reatores de Controle 1 e 2 ficaram estáveis mostrando assim que a produção do biogás era proveniente apenas dos reatores que receberam o substrato. Nesta segunda batelada os reatores 1 e 2 obtiveram um comportamento similar enquanto que o reator 3 apresentou falhas, assim como o reator 1 da primeira batelada. Isso pode ser explicado devido a uma variação de temperatura da localização dos reatores dentro do equipamento banho-maria, onde havia a recirculação de água. Nesta segunda batelada também foi necessária a correção do pH para próximo de 7.0, pois os valores de pH variaram nos 3 reatores na faixa de 7.51 a 7.63.

Na tabela 7 estão os resultados da segunda batelada do teste de AME em cada realimentação.

Tabela 7. Valores de AME– segunda batelada (2021).

Parâmetros	R1*	R1	R1	R2	R2	R2**
dt (dias)	0.91	1	0.94	0.79	0.97	0.94
Quantidade de inóculo (g.SSV)	9	9	9	9	9	9
Metano produzido (gDQO CH ₄)	0.029	0.366	0.247	0.174	0.214	0.239
AME gDQO-CH ₄ .gSTV-1.d-1	0.004	0.041	0.029	0.025	0.025	0.028

Legenda: (*) Reator 1; (**) Reator 2.

O volume acumulado de biogás produzido para o reator 1 foi de 700.2 mL e para o reator 2 foi de 482.4 mL. Na tabela 8 é possível observar o comparativo do volume teórico de metano gerado e o volume gerado na segunda batelada.

Tabela 8. Comparativo volume teórico de metano nas CNTP e volume gerado na segunda batelada.

Parâmetros	R1*	R2**	R3***
Resíduo total adicionado (gSTV)	2.7	2.7	2.7
Volume final estimado de metano gerado nas CNTP com 100% de degradação do substrato (L CH ₄)	0.943	0.943	0.943
Volume final gerado de metano gerado no ensaio (L CH ₄)	0.7002	0.4824	0.301
Volume final gerado de metano gerado no ensaio nas CNTP (L CH ₄)	0.619	0.427	0.266
Degrabilidade do resíduo (%)	65.75	45.29	28.26

Legenda: (*) Reator 1; (**) Reator 2; (***) Reator 3.

Nesta batelada, cada reator estabilizou em momentos diferentes bem como a produção de metano em intervalos de tempo diferentes. É possível observar que os valores de AME são menores que os valores da primeira batelada. Demonstrando assim que houve menor degradabilidade do resíduo na segunda batelada, o que também se explica o acúmulo de DQO. Isso se deve provavelmente devido ao tempo de espera para as análises entre a primeira e a segunda batelada.

Para o teste de AME com resíduos alimentícios utilizando lodo anaeróbio tem-se um valor de AME de 0.17 gDQO-CH₄.gSSV.d⁻¹ (Schneiders *et al.*, 2013). Para resíduos de cervejeira com lodo anaeróbio, a média do valor de AME é de 0.33 a 0.36 gDQO-CH₄.gSTV.d⁻¹ (Longaretti *et al.*, 2019).

Os resultados obtidos neste trabalho mediante os resíduos e inóculos utilizados, foram próximos aos encontrados na literatura, apesar do substrato ser peculiar em sua composição. Na literatura, para

resíduos semelhantes ao utilizado nessa pesquisa, Schneiders *et al.*, 2013 e Longaretti *et al.*, 2019 utilizaram resíduos alimentícios e de cervejeira, respectivamente, e obtiveram valores de AME menor que 1.00 gDQO-CH₄gSTV.d⁻¹, todos abaixo de 0.50 gDQO-CH₄gSTV.d⁻¹.

O volume final de metano gerado nestes testes foi próximo ao volume final estimado de metano nas CNTP com 100% de degradação do substrato (L CH₄). A faixa de valores de degradabilidade do resíduo estava dentro da esperada, pois segundo Karlsson *et al.*, 2014, substratos biodegradáveis não podem ter taxa de degradação maior que 90%, assim como substratos com alto teor de fibras não apresentam degradação superior a 60% da entrada da matéria orgânica durante o tempo de retenção no biodigestor.

Conclusão

Os resultados encontrados nesse estudo mostram que o tipo de resíduo influencia diretamente na DA e em todo o processo e produção do biogás. A utilização de resíduos da dieta de cultivo de organismos para manejo integrado de pragas apresentou uma produção viável desde que os resíduos não tenham componentes tóxicos ou inibidores da digestão anaeróbia e da atividade das arqueas metanogênicas. Conclui-se que a mistura de dois componentes com alto teor de fibras, proteínas e carboidratos demandam mais tempo na fase de hidrólise, porém são de fácil degradação. Através do teste de AME foi possível avaliar que a produção de metano estava dentro do esperado na literatura e o resíduo apresentou alta degradabilidade. Assim a digestão anaeróbia desses resíduos pode ser uma alternativa viável para geração de energia. Tornam-se necessários mais estudos com resíduos específicos a fim de se obter um comparativo para uma padronização de teste de AME com resíduos orgânicos.

Referências bibliográficas

- Abdelgadir, A., Chen, X., Liu, J., Xie, X., Zhang, J., Zhang, K., Wang, H., Liu, N. (2014) Characteristics, process parameters, and inner components of anaerobic bioreactors. *BioMed Research International*, **2014**(1), 841573. <https://doi.org/10.1155/2014/841573>
- Apha/AWWA/WEF (2005) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 21^a ed. Washington: American Public Health Association. 1082p.
- Aquino, S. F., Chernicharo, C. A. L., Foresti, E., Santos, M. L. F., Monteggia, L. O. (2007) Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, **12**(2), 192-201. <http://dx.doi.org/10.1590/S1413-41522007000200010>
- Atelge, M., Atabani, A., Banu, J., Krisa, D., Kaya, M., Eskicioglu, C., Kumar, G., Lee, C., Yildiz, Y., Unalan, S., Mohanasundaram, R., Duman, F. (2020) A critical review of pretreatment technologies to enhance anaerobic digestion and energy recovery. *Fuel*, 117494, 270.
- Aydin, S., Ince, B., Ince, O. (2015) Application of real-time PCR to determination of combined effect of antibiotics on Bacteria, Methanogenic Archaea, Archaea in anaerobic sequencing batch reactors. *Water Research*, **76**, 88-98.
- Baâti, S., Benyoucef, F., Makan, A., El Bouadili, A., El Ghmari, A. (2018) Influence of hydraulic retention time on biogas production during leachate treatment. *Environmental Engineering Research*, **23**(3), 288-293.

- Camargo, E. A., Moniz, A. C., Jorge, J. A., Valadares, J. M. A. S. (2009) *Métodos de análises químicas, mineralógica e física de solos do Instituto Agronômico de Campinas*. Campinas: Instituto Agronômico. (Boletim técnico, 106), 77p.
- Campuzano, R., Martínez, S. G. (2016) Characteristics of the organic fraction of municipal solid waste and methane production: A review. *Waste Management* **54**; 3–12.
- Chernicharo, C.A.L., Stuetz, R.M., Souza, C.L., Melo, G.C.B. (2010) Alternatives for the control of odorous emissions in anaerobic reactors treating domestic wastewater. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **15**(3), 229-236.
- Dawson, L., Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T. (2011) The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, **31**, 1737–1744.
- Feng, Q., Song, Y., Kim, D., Kim, M., Kim, D. (2019) Influence of the temperature and hydraulic retention time in bioelectrochemical anaerobic digestion of sewage sludge. *International Journal of Hydrogen Energy*, **44**(4), 2170-2179.
- Fernández-Rodríguez, J., Pérez, M., Romero, L. (2013) Comparison of mesophilic and thermophilic dry anaerobic digestion of OFMSW: Kinetic analysis. *Chemical Engineering Journal*, **232**, 59-64.
- Jain, S., Jain, S., Wolf, I. T., Lee, J., Tong, Y. W. (2015) A comprehensive review on operating parameters and different pretreatment methodologies for anaerobic digestion of municipal solid waste. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **52**, 142–154.
- Karlsson, T., Konrad, O., Lumi, M., Schmeier, N. P., Marder, M., Casaril, C.E., Koch, F.F., Pedroso, A.G. (2014) *Manual básico de biogás*. Ed. da Univates – Lajeado, 69 p. ISBN 978-85-8167-073-7 1. Biogás I. Título CDU: 620.95:662.767.2.
- Kunz, A., Amaral, A. C. do, Steinmetz, R. L. R. (2019) Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato. Concórdia: Sbera: Embrapa Suínos e Aves, 209 pp.
- Kumar, A., Samadder, S. (2020) Performance evaluation of anaerobic digestion technology for energy recovery from organic fraction of municipal solid waste: A review. *Energy*, **197**, 117253.
- Longaretti, G., Meira, J., Sganderla, I., Magro, J., Fiori, M., de Mello, J.M.M. (2019) Study of specific methanogenic activity of different anaerobic sludges. *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, **24**(6) 1139-1146.
- Luo, J., Zhang, Q., Zhao, J., Wu, Y., Wu, L., Li, H., Tang, M., Sun, Y., Guo, W., Feng, Q., Cao, J., Wang, D. (2020) Potential influences of exogenous pollutants occurred in waste activated sludge on anaerobic digestion: A review. *Journal of Hazardous Materials*, **383**, 121176.
- Mao, C., Feng, Y., Wang, X., Ren, G. (2015) Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, **45**, 540–555.
- OBA, Online Biogas App. (2021) Acesso em 2 de agosto de 2021, disponível em: <https://biotransformers.shinyapps.io/oba1>.
- Panigrahi, S., Dubey, B. (2019) A critical review on operating parameters and strategies to improve the biogas yield from anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste. *Renewable Energy*, **143**, 779-797.
- Raij, V. B., Andrade, J. C., Cantarella, H., Quaggio, J.A. (2001) Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais. Campinas: IAC. 285 pp.
- Sawyer, N., Trois, C., Workneh, T., Okudoh, V. (2019) International Journal of Energy Economics and Policy An Overview of Biogas Production: Fundamentals, Applications and Future Research. *International Journal of Energy Economics and Policy*, **9**(2), 105-116. <https://doi.org/10.32479/ijeep.7375>
- Schneiders, D.Silva, J.D., Till, A., Lapa, K., Pinheiro, A. (2013) Atividade metanogênica específica (AME) de lodos industriais provenientes do tratamento biológico aeróbio e anaeróbio. *Revista Ambiente e Água*, **8**(2), 135-145.
- Silva, M.C.P. (2014) *Avaliação de lodo anaeróbio e dejetos bovinos como potenciais inóculos para partida de digestores anaeróbios de resíduos alimentares*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte.