

Avaliação do potencial metanogênico da codigestão de resíduos de feira e fezes caninas

O estudo avaliou a geração de metano e biodegradabilidade por meio de um ensaio anaeróbio em condições mesofílicas (37°C) de três misturas de resíduos orgânicos (resíduos de feira e fezes caninas) nas seguintes proporções volumétricas: amostra 1 (30% feira e 70% fezes); amostra 2 (20% feira e 80% fezes) e amostra 3 (10% feira e 90% fezes). O inóculo utilizado teve procedência de um digestor anaeróbio que tratava fezes suínas e foi previamente aclimatado. Para o ensaio, 6 minireatores (volume efetivo de 0,3 L) foram montados (3 fixos e 3 sacrificios), contendo as misturas apresentadas e o inóculo, além de 2 reatores (brancos) que só tinham o inóculo, para estimar seu efeito intrínseco. Após 41 dias de operação, houve uma remoção total de DQO de 58%, 34% e 63% e remoção de STV de 33%, 30% e 40% para as amostras 1, 2 e 3, respectivamente. As amostras 1 e 3 demonstraram uma possibilidade de tratamento desses resíduos orgânicos justificada pela biodegradabilidade dentro da faixa esperada de um biodigestor anaeróbio. A amostra 3 obteve melhor resultado, no entanto, tardou uma semana para gerar o biogás e tratou um menor volume de substrato para manter a mesma relação de nutrientes (relação C: N: P) entre as amostras. As taxas de 86 L CH₄/kg DQO eliminada, 301 L CH₄/kg DQO eliminada e 133 L CH₄/kg DQO eliminada foram alcançadas pelas amostras respectivamente, resultados abaixo dos valores de referência.

Palavras-chave: Biogás; Biodigestão; Resíduos orgânicos.

Evaluation of the metanogenic potential of the codigestion of market residues and canine faeces

The study evaluated methane generation and biodegradability through an anaerobic test under mesophilic conditions (37 °C) of three mixtures of organic residues (fair waste and canine faeces) in the following volumetric proportions: sample 1: 30% fair and 70 % faeces; sample 2: 20% fair and 80% faeces; and sample 3: 10% fair and 90% faeces. The inoculum used came from an anaerobic digester that treated swine faeces and was previously acclimated. For the test, 6 minireactors (effective volume of 0.3 L) were assembled (3 fixed and 3 sacrificios), containing the mixtures presented and the inoculum, in addition to 2 reactors that only had the inoculum, used to estimate its intrinsic effect. After 41 days of operation, there was a total removal of COD of 58%, 34% and 63% and removal of STV of 33%, 30% and 40% for samples 1, 2 and 3, respectively. Samples 1 and 3 demonstrated a possibility of treating these organic residues justified by the biodegradability within the expected range of an anaerobic digester. Sample 3 obtained the best result, however, it took about a week to generate the biogas and treated a lower volume of substrate to maintain the same ratio of nutrients (C: N: P) of all samples. The samples reached 86 L CH₄/kg COD eliminated, 301 L CH₄/kg COD eliminated and 133 L CH₄/kg COD eliminated respectively, values below the reference values.

Keywords: Biogas; Biodigestion; Organic waste.

Topic: **Química Agrícola e Ambiental**

Received: **02/01/2021**

Approved: **26/01/2021**

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Raquel Flavia Pires Bento 
Universidade Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3634969593710166>
<http://orcid.org/0000-0003-0684-9462>
raquelbento@id.uff.br

Lívia Maria da Costa Silva 
Universidade Federal Fluminense, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/3634969593710166>
<http://orcid.org/0000-0002-5447-3079>
liviamaria@id.uff.br

Boris Uribe 
Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
<http://orcid.org/0000-0001-6655-2287>
boris.uribe@usm.cl

Lorna Guerrero 
Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
<http://orcid.org/0000-0001-6123-4052>
lorna.guerrero@usm.cl

Alejandra Urtubia 
Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
<http://orcid.org/0000-0002-0124-3587>
alejandra.urtubia@usm.cl

Sergio Almonacid 
Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
<http://orcid.org/0000-0003-3623-9059>
sergio.almonacid@usm.cl

Andrea Barahona 
Universidad Técnica Federico Santa María, Chile
<http://orcid.org/0000-0001-6574-9600>
andrea.barahona@usm.cl



DOI: 10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0009

Referencing this:

BENTO, R. F. P.; SILVA, L. M. C.; URIBE, B.; GUERRERO, L.; URTUBIA, A.; ALMONACID, S.; BARAHONA, A.. Avaliação do potencial metanogênico da codigestão de resíduos de feira e fezes caninas. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, v.12, n.1, p.102-113, 2021. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2021.001.0009>

INTRODUÇÃO

O Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR) elaborado pela FUNASA (BRASIL, 2019) traz à tona a discussão sobre a definição de população rural. Este estudo considerou, além da questão da densidade demográfica, as características da vizinhança como condicionante nessa avaliação e, redistribuiu uma parte da população, antes conceituada como urbana, para rural. Dessa forma, o PNSR previu que, em 2010 no Brasil, cerca de 21% da sua população residente era rural; dado superior aos 15,6% apresentados pelo censo 2010 (IBGE, 2011). O mesmo estudo justificou a utilização de dados do censo de 2010, que, apesar de defasados, apresentaram informações sobre população residente e o estado da arte do saneamento nessas áreas. Em relação aos resíduos gerados nas áreas rurais, segundo o PNSR (BRASIL, 2019), houve uma melhora significativa entre 1991 e 2010, no atendimento de coleta porta a porta e em caçambas que cresceu de 5% para 20% e de 1% para 7%, respectivamente. Porém, o mesmo estudo indicou o aumento de domicílios que incineraram seus resíduos, de 27% para 58%, durante o mesmo período. Além disso, os resíduos orgânicos nas áreas rurais foram, em geral, utilizados para alimentar animais e adubar plantações.

Nesta conjuntura, o PNSR aponta que os resíduos orgânicos podem ser aproveitados para a produção energética, por meio de biodigestores e que se deve investir na pesquisa, para a implantação em áreas rurais, de soluções de saneamento que empreguem a energia limpa.

No contexto chileno, em relação aos resíduos orgânicos de feira, objeto de estudo do presente artigo, a geração média diária de uma feira representou 1.584 kg de resíduos orgânicos (ALVARADO, 2016) e, no ano de 2015, foram estimadas 1.114 feiras livres em todo o Chile (SERCOTEC, 2016). O gerenciamento de resíduos de feira pode ter fluxos variáveis que se adaptem a cada realidade, desde programas de uso de hortaliças, caules e cascas para compostagem até a possibilidade de geração de gás através da digestão anaeróbia.

Em relação ao material fecal de cães de rua, ainda no contexto chileno, o acúmulo desses resíduos orgânicos, de acordo com um estudo de Ibarra et al. (2006), apenas na cidade de Santiago, em 2004, circulava nas ruas cerca de 215.000 cães, sendo 64.794 sem dono. Ibarra et al. (2006) estimou uma média de 10 g de fezes por dia e por quilo de peso de um cão normal. Assumindo peso médio de 15 quilos, representaria um pouco mais de 32 toneladas de material fecal, somente em Santiago, por dia.

A fim de buscar resolver problemas relacionados aos aludidos resíduos, a digestão anaeróbia, por meio de biodigestores, é uma possível alternativa para o gerenciamento de compostos orgânicos, uma vez que remove a carga orgânica, remoção de 40% a 75% de DQO para filtros anaeróbios segundo NBR 13.969 (ABNT, 1997), e seus produtos podem ser aproveitados como energia e biofertilizante.

O biogás gerado depende das espécies de microrganismos envolvidos, das características do substrato e dos parâmetros operacionais. Já o lodo, possui potencial de biofertilizante, por já estar parcialmente estabilizado; porém, para prevenir a disseminação de agentes patogênicos, estes devem ser avaliados antes da aplicação do lodo no solo para uso agrícola (EMBRAPA, 2015).

Neste contexto, a presente pesquisa objetivou avaliar o potencial metanogênico e a diminuição da carga orgânica de três diferentes misturas de resíduos orgânicos de feira e fezes caninas, através de ensaios

feitos no laboratório de Riles (Resíduos Industriales Líquidos) da Universidad Técnica Federico Santa María (UTFSM), em Valparaíso/Chile, nos meses de janeiro a março de 2019.

METODOLOGIA

Pré-tratamento dos resíduos e inóculo

Os resíduos orgânicos, coletados em uma feira livre na cidade de Valparaíso, consistiam basicamente de folhas, legumes e frutas (com exceção de frutas cítricas). Foram moídos em um triturador e, em seguida, calculada a umidade que resultou em 88% (12% de sólidos totais). No caso das fezes caninas, o animal era doméstico e se alimentava de ração. O material também foi triturado e sua umidade calculada foi de 68%, o que representou 32% de sólidos totais. Os resíduos de feira e as fezes caninas foram diluídos separadamente com água destilada. Dessa forma, 56g de fezes caninas foram diluídas em 0,5L de água e 20g de resíduos de feira foram diluídas em 2L.

O procedimento de diluição foi realizado, pois para ensaios de potencial bioquímico de metano (BMP), a concentração dos sólidos suspensos voláteis do inóculo ($SSV_{inóculo}$) deve ser maior do que a do substrato (GUERRERO, 2018). Inclusive, os resíduos orgânicos de feira e as fezes caninas se encontravam em um estado semissólido, dificultando a mobilização de nutrientes, de enzimas e de microrganismos.

A Figura 1.a ilustra os resíduos orgânicos triturados antes da diluição. Depois de diluídos, ambos foram homogeneizados separadamente em agitador magnético para maior biodisponibilidade do substrato à hidrólise, conforme a Figura 1.b.

Em relação ao inóculo, ressalta-se que “para se eliminar a incerteza do metano de origem endógena, é necessário incubar o lodo, na presença de nutrientes e na temperatura de realização do teste, mas sem a adição de substrato, durante um período suficiente para cessar (ou estabilizar) a produção de metano” (CHERNICHARO, 2016). O inóculo utilizado foi proveniente de uma planta de tratamento (biodigestor) de dejetos suínos, o material foi aclimatado à temperatura de 37°C, com agitação manual uma vez ao dia durante 07 dias, antes de ser utilizado nos ensaios (Figura 1.c).

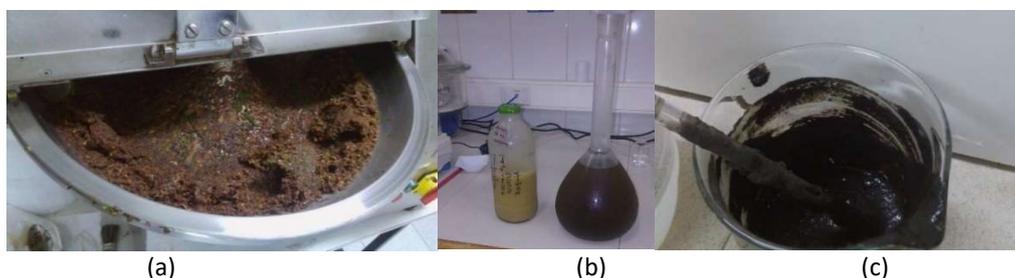


Figura 1: Resíduos de feira moídos (a), fezes caninas e resíduos de feira diluídos (b) e inóculo após sete dias aclimatado.

Caracterização dos substratos e inóculo

A caracterização dos substratos (resíduos após o pré-tratamento) e do inóculo foi realizada por meio da análise dos parâmetros: pH, temperatura, sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos totais voláteis (STV), demanda química de oxigênio (DQO), fosfatos totais e

amônia total. Todos os parâmetros foram determinados de acordo com método descrito em APHA (1998) e Guerrero (2018). Para mensurar o nitrogênio amoniacal, utilizou-se o método espectrofotométrico do fenato e os fosfatos totais foram medidos por colorimetria, pelo método do azul de molibdênio.

Ensaio de biodegradabilidade anaeróbia das misturas de substratos

Para o ensaio de biodegradabilidade anaeróbia (EBA) e avaliação de geração de metano das misturas de resíduos de feira e fezes caninas (substratos) e inóculo, adotaram-se as características iniciais descritas na Tabela 1, por serem condições ótimas para a digestão anaeróbia em ensaios de biodegradabilidade anaeróbio (GUERRERO, 2018).

Tabela 1: Condições iniciais ótimas para a digestão anaeróbia.

Características do Ensaio de Biodegradabilidade na Digestão Anaeróbia	Valores
Inóculo (g SSV/L)	1,5 a 5
No reator (DQO em g/L)	5,0
Relação C: N: P (DQO: N: P)	400:5:1
pH	6,5-7,5

Fonte: Guerrero (2018).

Para uma concentração inicial de 3g SSV/L do inóculo, foi adicionado 0,14 L de lodo nos minirreatores. Os cálculos do volume do lodo foram realizados segundo a Equação 1.

$$Vol_{lodo} = \frac{Vol_{efetivo\ reator} \times C_{ideal\ lodo}}{C_{lodo}} \quad (1)$$

Onde:

$Vol_{efetivo\ reator}$ = volume ocupado pela amostra (0,3 L);

$C_{ideal\ lodo}$ = concentração ideal do lodo (3 g SSV/L);

C_{lodo} = concentração do lodo (segundo caracterização, 63,2 g SSV/L).

Para a relação ideal de nutrientes (C:N:P= 400:5:1), considerando o carbono sendo o valor de DQO, quando essa relação não foi atingida nas amostras, foi necessário completar com cloreto de amônio (NH₄Cl) como fonte de nitrogênio para alcançar a proporção C:N (80:1). Para corrigir o pH das amostras e a sua manutenção na neutralidade (valor 7,0), foi utilizada uma solução tampão a base de fosfato de potássio monobásico (KH₂PO₄). As três porcentagens de substrato (resíduos de feira e fezes de cães) estão indicadas na Tabela 2.

Tabela 2: Porcentagens de resíduos de feira e fezes caninas nas amostras 1, 2 e 3.

Amostra	Resíduos de feira (%)	Fezes caninas (%)
1	30	70
2	20	80
3	10	90

Os ensaios, que duraram 41 dias em condições mesofílicas (37°C), foram realizados em 10 minirreatores com capacidade volumétrica de 0,5L, com volume efetivo de 0,3L - cerca de 70% do volume do frasco - considerando as três diferentes porcentagens de substrato (resíduos de feira e fezes caninas). Os 10 minirreatores consistiam em: 6 frascos com substratos (3 fixos – amostras que se mantiveram intactas, sendo abertas apenas ao final dos 41 dias e 3 sacrifícios - amostras que tiveram volumes retirados periodicamente para monitoramento dos parâmetros) e 4 frascos com o branco (2 fixos e 2 sacrifícios). Os brancos continham apenas inóculo, água e solução tampão, a fim de estimar o efeito da degradação intrínseca do inóculo.

Dessa maneira, o monitoramento de parâmetros como pH, DQO, ST, SST, STV e SSV buscou o intervalo de sete dias, totalizando seis medições, com amostras de 45ml retiradas dos minirreatores sacrificios por 41 dias. Ressalta-se que a primeira medição ocorreu somente após 10 dias de operação. Já a geração de metano foi monitorada diariamente nas 3 amostras. O Quadro 1 sintetiza a divisão dos minirreatores, seu conteúdo e as datas de medição de parâmetros durante os 41 dias de ensaio.

Quadro 1: Composição e datas de medição de parâmetros dos 10 minirreatores durante os 41 dias de operação

Minirreator	Composição do substrato	Retirada de 45ml para medição de Parâmetros (pH, sólidos e DQO)					
		Dia 01	Dia 11	Dia 20	Dia 25	Dia 32	Dia 41
Amostra 1- Fixo	30% resíduos feira						
Amostra 1- Sacrifício	70% fezes caninas						
Amostra 2- Fixo	20% resíduos feira						
Amostra 2- Sacrifício	80% fezes caninas						
Amostra 3- Fixo	10% resíduos feira						
Amostra 3- Sacrifício	90% fezes caninas						
Branco 1 – fixo	Água destilada						
Branco 1 – sacrificio							
Branco 2 – fixo							
Branco 2 – sacrificio							

Para a partida dos minirreatores, foi realizada a purga de oxigênio, com introdução do gás de nitrogênio. A Figura 2 ilustra a disposição do ensaio.



Figura 2: Disposição dos minirreatores em banho no ensaio de biodegradabilidade anaeróbica para condições mesofílicas (37°C) e medição de metano através de provetas graduadas.

A Tabela 3 mostra um resumo das quantidades volumétricas aplicadas às três amostras e o branco antes de iniciar o EBA.

Tabela 3: Composição (porcentagem e volume) das amostras (1, 2 e 3) e do branco.

	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Branco
% Resíduo de feira	30	20	10	0
% Fezes caninas	70	80	90	0
Vol. substrato (L)	0,249	0,219	0,196	0
Vol. resíduo de Feira (L)	0,075	0,044	0,020	0
Volume fezes (L)	0,175	0,175	0,176	0
Volume efetivo (L)	0,300	0,300	0,300	0,300
Volume Água + solução tampão(L)	0,036	0,067	0,090	0,286
Volume Inóculo (L)	0,014	0,014	0,014	0,014

O tempo de retenção foi de 41 dias, pois os ensaios foram considerados finalizados quando a produção diária de biogás atingiu sua fase estacionária. No entanto, é importante destacar que a Norma NBR

12.209 (ABNT, 2011) determina que tempo de digestão para biodigestores não homogeneizados nos tratamentos de esgoto deve ser maior ou igual a 45 dias.

Medição de produção de metano

A medição da produção de metano (mL CH₄) foi realizada por meio da metodologia desenvolvida por diferentes pesquisadores (AQUINO et al., 2007; CHERNICHARO, 2019) que consiste no uso do deslocamento de uma solução de NaOH em uma garrafa invertida que precipita em um cilindro graduado. O hidróxido contido na solução absorve o CO₂ do biogás, garantindo que o valor medido no cilindro graduado é principalmente do metano produzido, como mostrado na Figura 3.

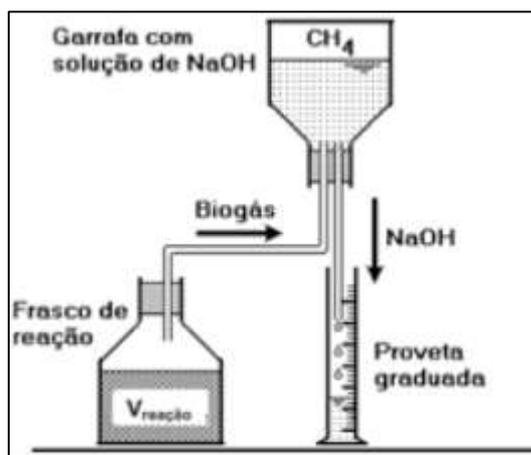
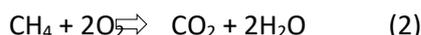


Figura 3: Sistema de medição de geração de metano. Fonte: Aquino et al. (2007).

Medição da atividade metanogênica específica

A Equação 2 demonstra que um mol de CH₄ demanda dois moles de O₂ para sua completa oxidação a CO₂ e H₂O. Logo, cada 16 gramas de CH₄ gerado significa a retirada de 64 gramas de DQO do despejo.



Segundo Chernicharo (2019), “nas condições normais de temperatura e pressão, isso corresponde a 350 mL de CH₄ para cada grama de DQO degradada”. Assim, para o cálculo da atividade metanogênica, faz-se necessário o cálculo de um fator de conversão (FC) para estimar a DQO contida do metano gerado. Esse FC pode ser calculado de acordo com a Equação 3 (MONTALVO et al., 2003).

$$FC = 350 \frac{(273+T)}{273} \quad (3)$$

Onde:

FC: fator de conversão (mL CH₄/g DQO CH₄);

T: temperatura operacional do reator (37 °C).

Com o volume acumulado de metano em determinado período de tempo, pode-se calcular a AME pela Equação 4 (MONTALVO et al., 2003):

$$AME = \frac{\Delta\text{CH}_4}{\Delta t} \cdot \frac{24}{FC \cdot V \cdot \text{SSV}} \quad (4)$$

Onde:

AME: atividade metanogênica específica (g DQO CH₄/g SSV_{inoc}.dia);

Δt: tempo de retenção do biodigestor (h);

$\frac{\Delta\text{CH}_4}{\Delta t}$: inclinação máxima de produção de metano por tempo (mL CH₄/h);

FC: fator de conversão (mL CH₄/g DQO CH₄);

V: volume de inóculo (L);

SSV: sólidos suspensos voláteis do inóculo (g SSV/L).

Cálculo de desempenho

Em relação ao desempenho do biodigestor, as taxas de geração metano por DQO_{elim} (Equação 5) pode ser utilizado como indicador de desempenho.

$$\text{taxa de metano / carga orgânica eliminada} = \frac{\Delta CH_4}{\Delta DQO_{elim}} \quad (5)$$

Onde:

 ΔCH_4 : produção de metano, (L CH₄); ΔDQO_{elim} : carga orgânica eliminada (kg).

RESULTADOS

Caracterização dos substratos

Os resíduos de feira e fezes caninas diluídos (substratos) foram caracterizados, conforme mostrado na Tabela 4. Após diluição, os valores de 0,05% e 3,2% de sólidos totais foram estimados para os resíduos de feira e fezes canina, respectivamente.

Tabela 4: Caracterização dos resíduos de feira, fezes caninas e inóculo.

Parâmetros	Resíduos de feira	Fezes caninas	Inóculo
DQO total (g/l)	0,77	28,32	91,99
N (mg/l)	1,67	76,40	3,599
P (mg/l)	0,35	227,89	13,24
ST (g/l)	1,15	30,61	-
STV (g/l)	0,96	23,12	-
SST (g/l)	0,650	20,68	135,95
SSV (g/l)	0,60	14,16	63,20
pH	6,20	4,67	7,49

Biodegradabilidade das amostras

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios de DQO inicial e final, a taxa de biodegradabilidade e os desvios-padrões das amostras.

Tabela 5: Médias de DQO inicial e final e biodegradabilidade das amostras, descontando a influência do inóculo.

Amostras	DQO _{inicial} (g/l)	DQO _{final} (g/l)	Biodegradabilidade (%)
1	7,5 ± 0,75	3,2 ± 0,14	57,8 ± 17,4
2	4,3 ± 0,31	2,8 ± 0,26	34,0 ± 19,3
3	5,0 ± 0,67	1,9 ± 0,07	62,8 ± 23,4

Com a análise do comportamento da variação dos valores de DQO nas três amostras mostrado no Gráfico 1, pôde-se perceber uma diminuição significativa, mais acentuada da amostra 1, na primeira semana devido à hidrólise e solubilização progressiva da matéria orgânica. Isso pode ter ocorrido, pois, apesar de se buscar a mesma carga orgânica inicial para todas as amostras, a amostra 1 obteve um maior valor de DQO, conforme mostrado na Figura 4.

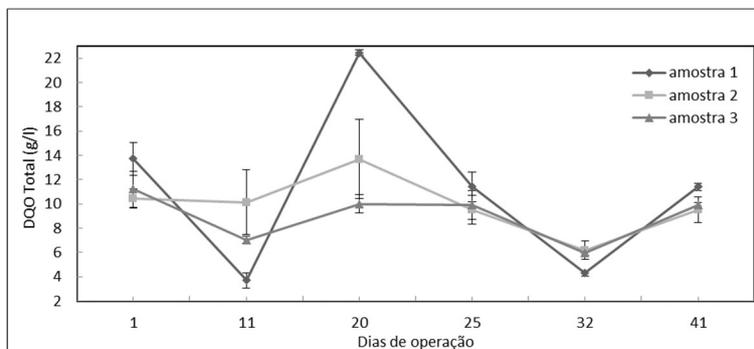


Figura 4: Comportamento da DQO das amostras 1, 2 e 3 durante os 41 dias de EBA.

Redução de sólidos

A Tabela 6 apresenta as remoções médias de STV, SSV e SST das amostras 1, 2 e 3. A remoção dos sólidos pode expressar a eficiência do processo, assim, os resultados possibilitam a comparação com valores de referência que exprime o desempenho da biodigestão das amostras.

Tabela 6: Remoções médias de STV, SSV e SST das amostras 1, 2 e 3.

	Remoção STV (%)	Remoção SSV(%)	Remoção SST (%)
Amostra 1	33,3 ± 23,14	78,3 ± 14,4	62,5 ± 51,6
Amostra 2	30,1 ± 4,4	73,2 ± 13,9	42,3 ± 30,5
Amostra 3	39,5 ± 6,0	88,3 ± 30,1	56,6 ± 29,6

Produção de metano

O Gráfico 2 demonstra a geração de metano acumulado durante os 41 dias das três amostras descontando a influência do inóculo, que alcançou uma geração de volume acumulado de metano de cerca de 373 ml para a amostra 1; 436 ml para a amostra 2; e 420 ml para a amostra 3.

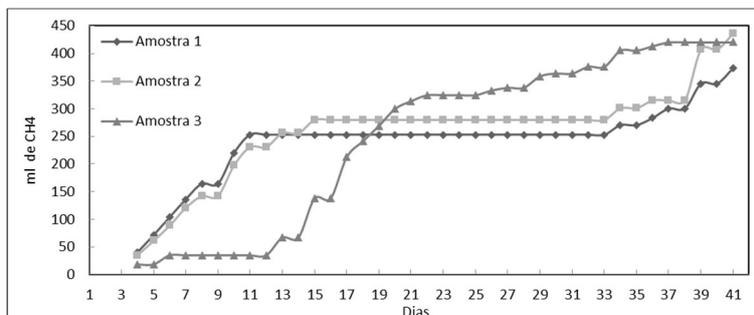


Gráfico 2: Produção resultante de metano, sem a influência do inóculo, das amostras 1, 2 e 3 ao longo de 41 dias de ensaio.

Atividade Metanogênica Específica

A atividade metanogênica específica (AME) varia de acordo com o tipo de substrato utilizado no ensaio. As amostras 1, 2 e 3 apresentaram os seguintes resultados: 0,075, 0,063 e 0,089 g DQO CH₄ / g SSV_{inoc}·dia, respectivamente.

Desempenho das amostras

Em relação ao desempenho das amostras 1, 2 e 3, houve geração de 85,6, 301,22 e 133,28 L CH₄/kg de DQO_{elim}, para as amostras 1, 2 e 3 respectivamente.

DISCUSSÃO

Em relação à caracterização dos resíduos orgânicos e fezes caninas, Leite et al. (2008) apresentaram uma caracterização de resíduos orgânicos vegetais que contemplava os parâmetros de DQO, ST, STV e SSV, porém com 5% de sólidos totais (ST). Comparando e correlacionado as respectivas concentrações de ST, os resíduos de feira do presente estudo obtiveram um valor de DQO cinco vezes maior e os valores de ST e SSV cerca de três vezes maiores. Em relação às fezes caninas, correlacionando à caracterização de dejetos suínos (GOSMANN, 1997) que possuía cerca de 30% de sólidos totais, os dejetos caninos do presente estudo apresentaram maiores concentrações dos parâmetros analisados. O valor da DQO se mostrou cinco vezes maior e o STV cerca de onze vezes maior. Apesar da discrepância quando as caracterizações dos resíduos de feira e fezes caninas são comparadas a valores de referência, a relação entre os parâmetros de cada caracterização (dos resíduos de feira e fezes caninas) foi coerente. Essa afirmação pode ser comprovada visto que as concentrações da DQO foram superiores às concentrações de SSV, já que a DQO contempla além dos SSV, os sólidos filtráveis voláteis (SFV). No mesmo sentido, os STV encontrados nas caracterizações dos resíduos de feira e fezes caninas são maiores que os SSV de cada um, porém próximos, conforme esperado para resíduos orgânicos.

Já sobre a biodegradabilidade, após os 41 dias de operação as amostras 1 e 3 apresentaram porcentagens de biodegradabilidade próximas da faixa esperada de um reator anaeróbio, de 40 a 75% para filtros anaeróbios segundo a NBR 13.969 (ABNT, 1997). Em relação ao comportamento dos valores de DQO, a variação acentuada de DQO da amostra 1 pode ter ocorrido pelo seu valor superior de $DQO_{inicial}$. Apesar de se ter buscado a mesma carga orgânica inicial para todas as amostras nos cálculos iniciais dos volumes das partes (resíduos de feira e fezes caninas), quando medida, a $DQO_{inicial}$ da amostra 1 resultou em cerca de 50-74% superior às amostras 2 e 3. Segundo Mesquita (2009), taxas de carregamento orgânico elevadas podem causar uma “saturação” do lodo, gerando compostos intermediários e metabólicos excretados pelos microrganismos. Assim, essa maior concentração de carga orgânica da amostra 1 poderia justificar o comportamento oscilante e diferencial comparado às amostras 2 e 3.

Sobre a questão da remoção dos sólidos, a qual pode expressar a eficiência de um reator, segundo Ferreira (2015), seu estudo apresentou valores de remoção de STV entre 70% e 85% para digestão anaeróbia de resíduos alimentares com tempo de detenção hidráulica de 30 dias. Nesta faixa, nenhuma das três amostras obtiveram resultados satisfatórios. Em relação aos SSV, que são diretamente proporcionais à quantidade de microrganismos (SPERLING, 2002), o estudo feito por Bueno (2010) com dois biodigestores operados com estrume bovino durante 29 dias demonstrou uma remoção de SSV de aproximadamente 40%. As remoções de SSV das três amostras se encontraram satisfatórias e acima desse valor de remoção esperada. Por fim, para filtros anaeróbios dimensionados segundo a NBR 13.969 (ABNT, 1997), a remoção deve ocorrer entre 60% e 70% em relação ao SST, a amostra 3 se encontrou próxima e a amostra 1 dentro desta faixa satisfatória.

Ressalta-se que, em relação ao período de incubação, este pode durar horas ou dias para cessar a

geração de metano do lodo (CHERNICHARO, 2019). Assim, o tempo de incubação do presente estudo (7 dias) provavelmente foi suficiente para aclimatar o lodo. A partir dessa consideração, a geração inicial de metano das amostras 1 e 2 logo nos seus primeiros dias de operação foi proveniente da decomposição anaeróbia dos próprios substratos. No entanto, a amostra 3 tardou cerca de 12 dias para principiar sua geração de metano. As três amostras iniciaram sua operação com a mesma relação de nutrientes, porém, em relação aos sólidos totais (ST), as amostras apresentaram os seguintes valores iniciais: $14,66 \pm 3,20$, $16,81 \pm 0,71$ e $19,42 \pm 1,80$ em g/L. A maior concentração de ST da amostra 3 pode ter ocasionado uma possível inibição na fase de hidrólise. Segundo Chernicharo (2019) o fator tamanho das partículas pode afetar a velocidade e o rendimento na hidrólise.

Os resultados das amostras 1, 2 e 3 relacionados à AME se encontraram abaixo de valores indicados por Silva et al. (2013), $0,17 \text{ g DQO CH}_4 / \text{g SSV}_{\text{inoc}} \cdot \text{dia}$, em pesquisa para avaliar a AME (de 11 dias) de lodo alimentício de um reator anaeróbio (UASB). No estudo de Belli Filho et al. (2002), que utilizaram como o inóculo um lodo granular proveniente de um reator UASB que tratava esgoto doméstico, com substrato de resíduos sólidos orgânicos urbanos, o valor médio da AME máxima alcançada foi de $0,19 \text{ g DQO CH}_4 / \text{g SSV}_{\text{inoc}} \cdot \text{dia}$. Assim, percebe-se insatisfatórias as atividades metanogênicas das 3 amostras. Em consonância, em relação ao desempenho da biodigestão das amostras, nenhuma alcançou uma geração dentro do intervalo esperado entre $346\text{-}360 \text{ L CH}_4 / \text{kg de DQO}_{\text{elim}}$ (GUERRERO, 2018) para digestão anaeróbia com valores ideais de relação de nutrientes (C:N:P), concentração de SSV do lodo, pH e DQO inicial em 5g/L. Esse baixo desempenho pode ser justificado pelo alto teor de DQO inicial no reator (maior que 5g/L). Apesar da melhor taxa de $301,21 \text{ L CH}_4 / \text{kg de DQO}_{\text{elim}}$ da amostra 2, a mesma demonstrou baixo grau de biodegradabilidade (remoção de DQO em 34%), valor fora da faixa esperada para reatores anaeróbios. A Tabela 8 sintetiza os resultados, assim como seus respectivos valores de referência.

Tabela 7: Parâmetros de rendimento das amostras e valores de referência.

Parâmetro	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Valor de referência
DQO _{elim} (%)	57,8	34,0	62,8	40 a 75% para filtros anaeróbios segundo a NBR 13.969 (ABNT, 1997)
SSV _{elim} (%)	78,3	73,2	88,6	40% (BUENO, 2010)
STV _{elim} (%)	33,3	30,1	39,5	70 a 85% (FERREIRA, 2015)
gDQO CH ₄ / gSSV _{inoc} ·dia	0,075	0,063	0,089	0,17 (SILVA et al., 2013) 0,19 (BELLI FILHO et al., 2002)
L CH ₄ /kg DQO _{elimado}	85,57	301,22	133,28	346-360 L CH ₄ / kg de DQO _{elim} (GUERRERO, 2018)
Tempo para estabilização (acima de 60% de geração de CH ₄)	11	15	19	10 a 20 dias (CPT, 2003)

CONCLUSÕES

A pesquisa avaliou as três amostras em relação à biodegradabilidade e à geração de metano. As amostras 1 e 3 demonstraram uma possibilidade de tratamento desses resíduos orgânicos, pois alcançaram a redução de DQO próxima aos 60% (dentro da faixa esperada para a biodigestão anaeróbia) e a amostra 3 obteve o melhor resultado de biodegradabilidade devido aos maiores valores de DQO_{eliminada} e STV_{eliminada}. Em relação à geração metano, as três amostras apresentaram valores inferiores ao valor de referência, cerca de

25%, 87% e 38% respectivamente do valor mínimo esperado. Esse desempenho satisfatório para biodegradabilidade e insatisfatório para a geração de metano traz à tona a utilidade do uso do biodigestor, a qual deve ser esclarecida para balizar sua viabilidade. Destaca-se que a amostra 3 retardou cerca de uma semana, comparado às amostras 1 e 2, para iniciar a geração de biogás, que pode ser ajustado com trituração das fezes e resíduos orgânicos. Ademais, a amostra 3 tratou o menor volume de substrato para manter a mesma relação C: N: P. Por fim, recomenda-se que sejam avaliadas a estabilização do lodo através da medição do teor de sólidos fixos e a presença de patógenos.

REFERÊNCIAS

- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 13969**: Tanques sépticos-Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.
- ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12209**: Elaboração de Projetos Hidráulico-Sanitários de Estações de Tratamento de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- ALVARADO, K. F.. **Vive feria-Sistema de recolección de residuos orgánicos para ferias libres**. Monografía (Licenciatura en Arquitectura y Urbanismo) - Universidad de Chile, Santiago, 2016.
- APHA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20 ed. Washington: APHA, 1998.
- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; FLORENCIO, L.; MONTEGIA, L. O.. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.12, n.2, p.192-201, 2007.
- BELLI FILHO, P.; RITA F.; SOARES, H. M.; MEDEIROS, N. R.; MATIAS, W. J.; CASTILHOS JUNIOR, A. B.. Digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos integrada com lodo de tanque séptico associado ao tratamento de lixiviado em reator UASB. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, 28. **Anais**. Cancún, 2002.
- BUENO, R. F.. Comparação entre biodigestores operados em escala piloto para produção de biogás alimentado com estrume bovino. **Holos Environment**, v.10, n.1, p.111-2010, 2010. DOI: <https://doi.org/10.14295/holos.v10i1.2547>
- BRASIL. Ministério da Saúde. Fundação Nacional de Saúde. **Programa Nacional de Saneamento Rural (PNSR)**. Brasília: Funasa, 2019.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 17º Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos - SNIS – 2019**. Brasília: MCI DADES, 2019.
- CPT. Centro de Produções Técnicas. **Construção, operação de biodigestores**. Jaboticabal: UNESP, 2003.
- CHERNICHARO, C. A. L.. **Reatores Anaeróbios**: Princípios do Tratamento biológico de águas residuárias. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2019.
- EMBRAPA. **Dejetos bovinos para produção de biogás e biofertilizante por biodigestão anaeróbia**. Circular Técnica, 110. Embrapa Gado de Leite, 2015.
- GOSMANN, H. A.. Resultados comparativos com armazenagem de dejetos de suínos em esterqueira e bioesterqueira. In: WORKSHOP SOBRE DEJETOS SUÍNOS, 1997. **Anais**. Concórdia: EMBRAPA-CNPISA, 1999. p.20-23.
- FERREIRA, B. O.. **Avaliação de um sistema de metanização de resíduos alimentares com vistas ao aproveitamento energético do biogás**. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2015.
- GUERRERO, L.. **Apuntes de Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos (RILES)**. Apostila do curso de Tratamiento de Residuos Industriales Líquidos do Departamento de Ingeniería Química y Ambiental. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2018.
- IBARRA, L.; ESPÍNOLA, F.; ECHEVERRÍA L. M.. Una prospección a la población de perros existente en las calles de la ciudad de Santiago, Chile. **Avances en Ciencias Veterinarias**, Chile, v.21, n.1-2, 2006. DOI: <http://doi.org/10.5354/0719-5273.2010.39537>
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE, 2011.
- LEITE, V. D.; LOPES, W. S.; SOUZA, J. T.; PRSAD, S.; SILVA, S. A.. Tratamento anaeróbio de resíduo sólido orgânico com alta e baixa concentração de sólidos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.13, n.2, p.190-196, 2009.
- MESQUITA, P. L.. **Caracterização de produtos microbianos solúveis (SMPs) em reatores aeróbio e anaeróbio de bancada em diferentes condições operacionais**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2009.
- MONTALVO, S.; GUERRERO, L.. **Tratamiento anaerobio de residuos**: producción de biogás. Valparaíso: Universidad Técnica Federico Santa María, 2003.
- SILVA, J. D.; SCHNEIDERS, D.; TILL, A.; LAPA, K. R.; PINHEIRO, A.. Atividade metanogênica específica (AME) de lodos industriais provenientes do tratamento biológico aeróbio e

anaeróbio. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v.8, n.2, p.135-145, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.4136/ambiente-agua.1098>

SPERLING, M. V.. **Lodos ativados**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG,

2002.

SERCOTEC. Servicio de Cooperación Técnica. **Catastro Nacional de Ferias Libres**. Santiago: Ministerio de Economía, Fomento y Turismo, 2016.

A CBPC – Companhia Brasileira de Produção Científica (CNPJ: 11.221.422/0001-03) detém os direitos materiais desta publicação. Os direitos referem-se à publicação do trabalho em qualquer parte do mundo, incluindo os direitos às renovações, expansões e disseminações da contribuição, bem como outros direitos subsidiários. Todos os trabalhos publicados eletronicamente poderão posteriormente ser publicados em coletâneas impressas sob coordenação da **Sustenere Publishing**, da Companhia Brasileira de Produção Científica e seus parceiros autorizados. Os (as) autores (as) preservam os direitos autorais, mas não têm permissão para a publicação da contribuição em outro meio, impresso ou digital, em português ou em tradução.