

# Efeito da adição de glicerol residual na digestão anaeróbia de efluentes de fecularia e abatedouro

## *Effect of the addition of residual glycerol in anaerobic digestion of starch and abattoir effluents*

Marcos Araújo Lins<sup>1</sup>, Jussara Silva Berger<sup>2</sup>, Manoel Penachio Gonçalves<sup>3</sup>, Dilcemara Cristina Zenatti<sup>4</sup>, Eliane Hermes<sup>5</sup>

**RESUMO:** A codigestão anaeróbia consiste na mistura de dois ou mais substratos com características complementares, tendo como vantagens maior rendimento de metano e elevada remoção de matéria orgânica. Este estudo objetivou quantificar e monitorar o comportamento da produção de metano e remoção de sólidos voláteis (SV) a partir da codigestão anaeróbia individual da maniveira e do efluente da linha vermelha do abate de bovinos com glicerol residual da produção de biodiesel. Os reatores com 1,6 L de volume de trabalho foram operados em batelada com tempo de retenção hidráulica (TRH) de 21 dias. Para quantificar a produção de metano, utilizou-se um gasômetro baseado no princípio de deslocamento de volume de solução de NaOH pelo gás. A maior produtividade de metano e eficiência de remoção de SV foram obtidas na codigestão anaeróbia da maniveira + glicerol com  $0,17 \pm 0,11 \text{ L}_{\text{metano}} \text{ L}^{-1} \text{ reator} \text{ d}^{-1}$  e  $68 \pm 1\%$ , respectivamente. Na digestão anaeróbia do efluente da linha vermelha + glicerol a produtividade de metano foi 55% superior ao respectivo tratamento controle (sem adição de glicerol), mas neste tratamento observou-se a menor eficiência de remoção de SV entre todos os ensaios. O uso do glicerol residual como cosubstrato aumentou a taxa de produção de metano, possibilitando a redução dos custos de produção deste biocombustível e mitigação dos impactos ambientais.

**Palavras-chave:** Bioenergia. Produção de metano. Remoção de sólidos voláteis.

**ABSTRACT:** Anaerobic co-digestion consists in the mixture of two or more substrates with complementary features, with the advantage of higher methane yield rates and high removal of organic matter. Current assay quantifies and monitors the behavior of methane production and the removal of volatile solids by anaerobic co-digestion of starch and of the effluent of the red line of bovine laying down with residual glycerol of biodiesel production. The 1.6 L reactors were operated in batches with hydraulic retention time (TRH) of 21 days. A gasometer based on volume displacement of a NaOH solution by gas was employed to quantify methane production. High methane productivity and SV removal efficiency were obtained by anaerobic co-digestion of starch + glycerol with  $0.17 \pm 0.11 \text{ L}_{\text{methane}} \text{ L}^{-1} \text{ reactor} \text{ d}^{-1}$  and  $68 \pm 1\%$ , respectively. In the case of anaerobic digestion of the effluent of the red line + glycerol, methane productivity was 55% higher than control (without addition of glycerol), although the treatment had the lowest removal efficiency rate among all the assays. Residual glycerol as co-substrate increased the methane production rate and made possible cost decrease in the production of the biofuel and mitigation of environmental impacts.

**Keywords:** Bioenergy. Production of methane. Removal of volatile solids.

### Autor correspondente:

Eliane Hermes: [elianehermes@yahoo.com.br](mailto:elianehermes@yahoo.com.br)

Recebido em: 31/08/2017

Aceito em: 11/06/2020

## INTRODUÇÃO

A mandiocultura e a indústria de carne e derivados estão entre os principais setores do agronegócio brasileiro. Contudo, essas atividades geram efluentes com características físico-químicas de ser tanto um poluente quando dispostos de maneira inadequada no meio ambiente, como uma formidável fonte de nutrientes para microrganismos. Estes são capazes de degradar compostos orgânicos complexos convertendo-os em biogás, um biocombustível com-

<sup>1</sup> Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (UNIOESTE), Cascavel (PR), Brasil.

<sup>2</sup> Tecnóloga em Biotecnologia pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), Palotina (PR), Brasil.

<sup>3</sup> Doutorando do Programa de Pós-graduação em Fitopatologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" da Universidade de São Paulo - ESALQ-USP, Piracicaba (SP), Brasil.

<sup>4</sup> Docente do Departamento de Engenharias e Exatas da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Palotina (PR), Brasil.

<sup>5</sup> Docente permanente do Programa de Pós-graduação em Biotecnologia da Universidade Federal do Paraná (UFPR), Palotina (PR), Brasil.

posto majoritariamente por metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) (QUIAO *et al.*, 2011; ORTIZ; VILLAMAR; VIDAL, 2014; FRIEDRICH *et al.*, 2016; GARFÍ *et al.*, 2016).

A manipueira, efluente líquido gerado durante a prensagem da mandioca para obtenção da fécula, apresenta elevada carga de matéria orgânica, nitrogênio, fósforo, metais pesados e cianeto, substância capaz de interromper o transporte de oxigênio em animais e humanos (PINTO; CABELLO, 2011; KUCZMAN *et al.*, 2011).

O sangue, principal constituinte do efluente da linha vermelha, possui a mais alta demanda química de oxigênio (DQO) entre todos os efluentes líquidos gerados em abatedouros animais e elevada concentração de nitrogênio, cerca de 30 g L<sup>-1</sup>, além de óleos e graxas (THEBALDI *et al.*, 2011).

O glicerol residual é o principal efluente gerado na produção de biodiesel, uma substância sem valor comercial, em razão das impurezas e do elevado custo para purificação. Porém, é um composto com grande quantidade de carbono biodisponível para os microrganismos (ASTALS; NOLLA-ARDEVOL; MATA-ALVAREZ, 2012). Essa característica química em combinação com outros efluentes pode elevar a produção de metano, provocada pela melhoria na relação carbono/nitrogênio (C/N) e aumento na concentração de sólidos voláteis.

Em virtude dessa característica, tem sido estudado o aproveitamento deste resíduo como fonte de carbono orgânico facilmente biodegradável como cosubstrato na otimização da produção de biogás (ROBRA *et al.*, 2010; CASTRILLÓN *et al.*, 2013; LARSEN *et al.*, 2013; KONRAD *et al.*, 2014).

A digestão anaeróbia é uma alternativa interessante como etapa de tratamento para efluentes com elevada carga orgânica (LEE *et al.*, 2009). Como vantagens, há o baixo custo de implantação, operação e manutenção, baixa produção de sólidos, tolerância a elevadas cargas tóxicas e possibilidade de uso do biogás para cogeração de energia térmica e elétrica (DUDA; OLIVEIRA, 2011; TESSARO *et al.*, 2015; BARICHELLO *et al.*, 2015; STRASSBURG; OLIVEIRA; JUNIOR, 2016).

A codigestão anaeróbia consiste na mistura de dois ou mais substratos com características complementares, tendo como vantagens maior rendimento de metano e maior remoção de matéria orgânica (MATA-ALVAREZ *et al.*, 2014).

Neste contexto, o presente estudo teve como objetivo quantificar e monitorar o comportamento da produção de metano e a remoção de sólidos voláteis a partir da codigestão anaeróbia individual da manipueira e de efluente da linha vermelha de abatedouro bovino com glicerol residual.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Todo o experimento foi conduzido no Laboratório de Química Analítica e Análises Ambientais da Universidade Federal do Paraná (UFPR), localizado no município de Palotina - Paraná (24°, 17'S, 53°, 50'W).

### 2.1 COLETA DAS AMOSTRAS

As amostras foram coletadas em frascos de polietileno e prontamente refrigeradas. A manipueira foi adquirida junto a uma amidonaria localizada em Terra Roxa - Paraná (24°, 09'S, 54°, 05'W) e o efluente da linha vermelha foi obtido em um abatedouro de bovinos localizado em Iporã - Paraná (24°, 00'S, 53°, 42'W). O glicerol foi cedido por uma indústria de biodiesel, localizada em Marialva - Paraná (23°, 29'S, 51°, 47'W).

### 2.2 MÉTODOS ANALÍTICOS E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DOS RESÍDUOS

Os parâmetros físico-químicos caracterizados no início e final da digestão anaeróbia foram: pH, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), alcalinidade total (AT), ácidos graxos voláteis (AGV's) e relação alcalinidade intermediária

e alcalinidade parcial (AI/AP). Estes foram realizados conforme metodologias descritas por APHA (2005) e Foresti *et al.* (2005), sendo que a metodologia utilizada não permite obter o valor da AT, quando o pH da amostra for inferior a 5,75 e consequentemente impossibilitando a determinação da relação AI/AP, referente à alcalidade por ácidos voláteis e por bicarbonato ( $\text{HCO}_3^-$ ), respectivamente.

Na Tabela 1 estão detalhadas as características físico-químicas dos resíduos e inóculo utilizados no presente estudo.

**Tabela 1.** Características físico-químicas dos resíduos e inóculo utilizados no presente estudo

Resíduo	pH	ST (g L <sup>-1</sup> )	SV (g L <sup>-1</sup> )	AT (g CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	AGV (g *HAc L <sup>-1</sup> )
Manipueira	5,0	12,41 ± 1,10	9,72 ± 5,52	-	1,42 ± 0,70
Linha vermelha	7,2	1,83 ± 0,75	1,76 ± 0,61	0,04 ± 0,01	0,23 ± 0,05
Glicerol	6,8	808,47 ± 11,42	764,43 ± 11,84	-	-
Inóculo	7,8	23,05 ± 0,22	14,81 ± 1,31	-	-

\*HAc - Ácido acético.

Após a determinação da concentração de ST e SV nas amostras, estimou-se por meio da Equação 1 o volume de glicerol necessário para igualar a composição de SV entre as amostras de manipueira e do efluente da linha vermelha.

$$C_1 \cdot V_1 + C_2 \cdot V_2 = C_F \cdot V_F \quad \text{Eq. (1)}$$

Em que:

$C_1$  - Composição de sólidos voláteis no efluente (g L<sup>-1</sup>);

$V_1$  - Volume do efluente (L);

$C_2$  - Composição de sólidos voláteis no glicerol (g L<sup>-1</sup>);

$V_2$  - Volume de glicerol (L);

$C_F$  - Composição final de sólidos voláteis no efluente (g L<sup>-1</sup>);

$V_F$  - Volume final (L).

A adição controlada de glicerol equilibrou a composição de SV entre a manipueira (15,68 g L<sup>-1</sup>) e o efluente da linha vermelha (15,78 g L<sup>-1</sup>), ficando ambos com 1,5% m v<sup>-1</sup>.

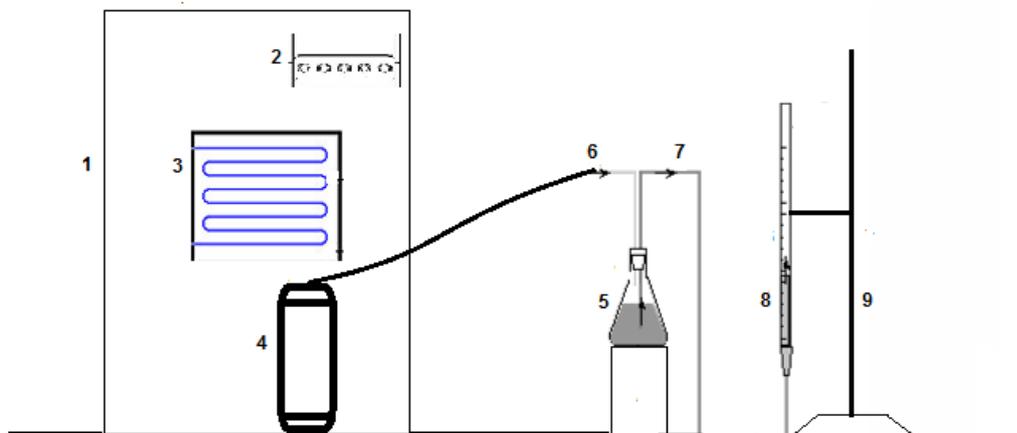
### 2.3 PARTIDA E OPERAÇÃO DOS REATORES

Os reatores com volume útil de 1,6 L foram confeccionados com tubos de policloreto de vinila (PVC), operados em batelada a  $35 \pm 2$  °C e TRH de 21 dias.

A partida dos reatores foi dada com 10% do lodo procedente de um reator de processo contínuo destinado à digestão anaeróbia de dejetos suínos e 90% de efluente (manipueira ou efluente da linha vermelha com ou sem adição de glicerol), totalizando quatro tratamentos.

### 2.4 QUANTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO DE METANO

A produção de metano foi monitorada diariamente. Para isso, utilizou-se um gasômetro conforme modelo apresentado por Foresti *et al.* (2005), composto por um frasco de *Erlenmeyer* e uma pipeta graduada de 50,00 mL (Figura 1).



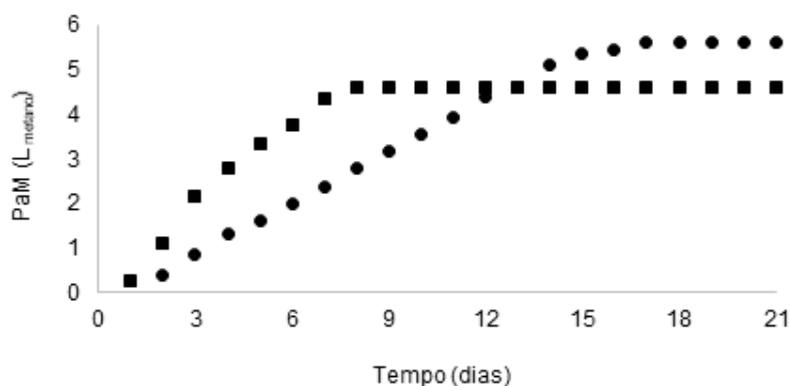
**Figura 1.** Esquema utilizado para quantificação da produção de metano. (1) Abrigo dos reatores; (2) Termostato; (3) Aquecedor; (4) Reator; (5) Frasco com solução de NaOH; (6) Entrada de biogás; (7) Saída de metano; (8) Pipeta graduada; (9) Suporte universal.

A saída de gás do reator foi conectada a uma mangueira de silicone, e esta, ao frasco contendo solução de hidróxido de sódio (NaOH) 50 g L<sup>-1</sup> e pH 12. Outra mangueira de silicone, conectada à solução de NaOH, ligou o frasco à pipeta. Desta forma, o volume dos gases gerados no reator entrou no frasco e deslocou a coluna de solução de NaOH na pipeta permitindo a quantificação de metano, enquanto CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S foram absorvidos pela solução.

Os resultados referentes à produção de metano foram expressos utilizando-se as unidades de medida proposta por Kunz; Do Amaral; Steinmetz (2016).

### 410 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

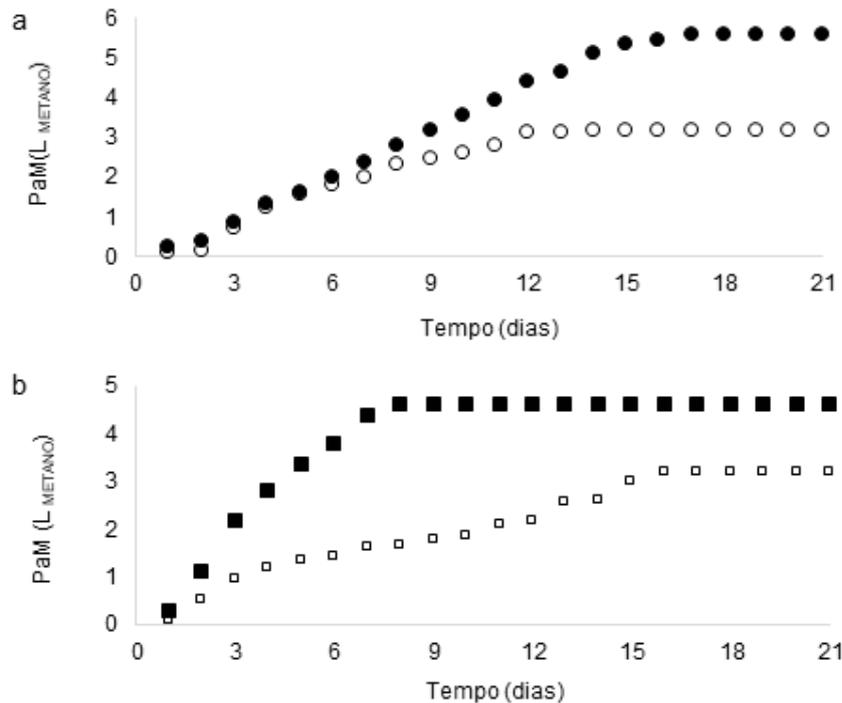
A produção acumulada de metano (PaM) (Figura 2) no tratamento manipueira + glicerol alcançou 5,60 L<sub>metano</sub>, 21% superior aos 4,61 L<sub>metano</sub> observados no tratamento do efluente da linha vermelha + glicerol. Contudo, este último apresentou maior taxa de produção de metano (PrM). Isto é possível concluir pela maior inclinação da curva em relação ao eixo y, já que, neste caso, o valor do coeficiente angular no trecho mais inclinado da curva será maior comparado ao coeficiente angular da curva da PaM do tratamento manipueira + glicerol (AQUINO *et al.*, 2011).



**Figura 2.** Produção acumulada de metano para os tratamentos manipueira + glicerol e efluente da linha vermelha + glicerol

A maior taxa de PrM no tratamento do efluente da linha vermelha + glicerol é provavelmente devido à maior biodegradabilidade do sangue e da gordura animal em relação à manipueira, que possuem rendimento de biogás de 0,7, 1,0 e aproximadamente 0,4 m<sup>3</sup><sub>biogás</sub> kg<sup>-1</sup><sub>MF adic.</sub> (metros cúbicos de biogás por quilograma de matéria fresca adicionada), respectivamente (DEUBLIN; STEINHAUSER, 2011).

A PaM no tratamento manipueira + glicerol foi 75% maior que os 3,19 L<sub>metano</sub> observado no tratamento controle (sem adição de glicerol) (Figura 3a). No tratamento do efluente da linha vermelha + glicerol a PaM foi 45% maior que o respectivo tratamento controle com 3,17 L<sub>metano</sub> (Figura 3b).



**Figura 3.** Produção acumulada de metano: (a) manipueira + glicerol e tratamento controle (manipueira); (b) efluente da linha vermelha + glicerol; e tratamento controle (efluente linha vermelha).

Esse incremento na produção de metano observado nos tratamentos com adição de glicerol possivelmente deve-se à elevada fração de carbono orgânico biodisponível contida neste cosubstrato, implicando positivamente sobre o crescimento da biomassa elevando a produtividade de metano (PdM) e a PrM (Tabela 2). Já nos tratamentos controle havia uma única fonte de nutrientes, além da menor composição de SV, especialmente no efluente da linha vermelha.

**Tabela 2.** Produtividade de metano (PdM) e produção de metano (PrM) obtida nos tratamentos aplicados

Tratamento	PdM (L <sub>metano</sub> L <sup>-1</sup> reator d <sup>-1</sup> )	PrM (L d <sup>-1</sup> )
Manipueira + glicerol	0,17 ± 0,11	0,27 ± 0,18
Manipueira	0,09 ± 0,11	0,15 ± 0,17
Linha vermelha + glicerol	0,14 ± 0,20	0,22 ± 0,32
Linha vermelha	0,09 ± 0,10	0,15 ± 0,15

A PdM e a PrM no tratamento manipueira + glicerol foram 88 e 80% maiores que no respectivo tratamento controle e no tratamento efluente da linha vermelha + glicerol foram 55 e 47% maiores que no tratamento controle, respectivamente.

Heydt *et al.* (2015) estudaram a produção de biogás a partir da codigestão termofílica do glicerol residual da produção de biodiesel com manipueira, em reatores operados em batelada de 3,20 L e TRH 12 dias. O melhor resultado para produção acumulada de biogás foi observado no tratamento com adição de 3% de glicerol, com 5,70 L<sub>biogás</sub>.

Larsen *et al.* (2013) estudaram a codigestão anaeróbia da manipueira com glicerol em reator anaeróbio de 8,77 L operado de forma semicontínua e relataram produtividade de biogás de  $1,98 \text{ L}_{\text{biogás}} \text{ L}^{-1} \text{ reator} \text{ d}^{-1}$  com 48% de metano ( $\approx 0,95 \text{ L}_{\text{metano}} \text{ L}^{-1} \text{ reator} \text{ d}^{-1}$ ). Kuczman *et al.* (2011), tratando manipueira a  $33 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$  em reator tubular de fluxo horizontal de 16,1 L, obtiveram produtividade de biogás de 0,52; 0,41; 0,65; e 0,63  $\text{L}_{\text{biogás}} \text{ L}^{-1} \text{ reator} \text{ d}^{-1}$  em TRHs de 13; 8,3; 6,6; e 15 dias, respectivamente.

Costa *et al.* (2013) estudaram a inclusão de biorremediadores no processo de digestão anaeróbia de efluente do abate de bovinos em reatores de PVC de 2 L. Obtiveram rendimento de biogás de  $0,1 \text{ L}_{\text{biogás}} \text{ g}^{-1} \text{ SV}_{\text{adic.}}$  no tratamento controle, valor semelhante ao estimado no presente estudo para o efluente da linha vermelha ( $\approx 0,2 \text{ L}_{\text{biogás}} \text{ g}^{-1} \text{ SV}_{\text{adic.}}$ ). Ware; Power (2016), por meio de ensaios de potencial bioquímico de metano com efluente de abatedouro de bovinos, obtiveram rendimento de biogás entre  $4,9$  e  $6,5 \text{ L}_{\text{metano}} \text{ g}^{-1} \text{ SV}_{\text{adic.}}$

A eficiência de remoção de SV (Figura 4) no tratamento do efluente da linha vermelha + glicerol foi menor comparado ao tratamento controle,  $41 \pm 5\%$  e  $67 \pm 4\%$ , respectivamente. Já no tratamento manipueira + glicerol a eficiência de remoção de SV foi superior, com  $68 \pm 1\%$  em relação aos  $60 \pm 2\%$  obtidos no tratamento controle.

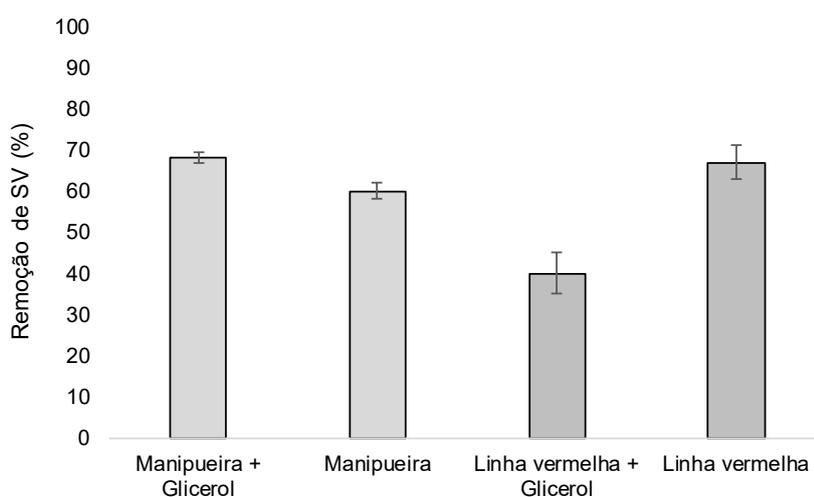


Figura 4. Eficiência de remoção de SV nos tratamentos aplicados

Fleck *et al.* (2017) estudaram a otimização das condições operacionais do tratamento anaeróbio da manipueira em reator de 20 L operado em batelada a diferentes temperaturas. A maior remoção de SV registrada foi de 69,31% a temperatura de  $45 \text{ }^\circ\text{C}$  e 10% de SV.

Silva *et al.* (2011) compararam a remoção de SV na manipueira ocorrida em dois reatores de fluxo horizontal contendo suportes de bambu com diferentes relações de largura e comprimento, 1:3 e 1:6, com 6,0 e 6,8 L, respectivamente. O melhor resultado foi obtido no reator com relação largura e comprimento de 1:3, com 18% de remoção de SV.

A remoção de SV inferior no tratamento do efluente da linha vermelha + glicerol pode ter sido; em razão da acidificação do substrato. É possível observar na Tabela 3 que houve redução no pH do efluente tratado em relação à caracterização físico-química inicial (Tabela 1), indicio de desequilíbrio da relação AI/AP. Segundo Mézes *et al.* (2011) um valor superior a 0,4 para a relação indica sobrecarga no reator, além do aumento da concentração de AGV's que no início era de  $0,23 \pm 0,05 \text{ HAC L}^{-1}$  e no efluente tratado passou para  $6,03 \pm 1,41 \text{ g HAC L}^{-1}$ .

**Tabela 3.** Caracterização físico-química final dos efluentes tratados

Tratamento	pH	AT (g CaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	AI/AP	AGV (g HAc L <sup>-1</sup> )
Manipueira + glicerol	5,50	-	-	2,29 ± 0,08
Manipueira	6,90	1,42 ± 0,02	2,20	2,98 ± 0,02
Linha vermelha + glicerol	5,90	1,29 ± 0,29	2,20	6,03 ± 1,41
Linha vermelha	7,40	1,05 ± 0,02	0,50	0,56 ± 0,01

No entanto, o valor da relação AI/AP considerada propícia para a produção de biogás pode variar de acordo com o efluente, tal como a manipueira que normalmente possui pH abaixo do recomendado e também baixa alcalinidade, mas é amplamente estudada como substrato para produção de biogás.

Lee *et al.* (2009) e Mao *et al.* (2015) recomendam, para produção de biogás, valores de pH compreendidos entre 6,5 e 8,2, sendo 7,0 o valor ótimo. Em pH abaixo de 6,0 a taxa de crescimento dos microrganismos metanogênicos é bastante reduzida e em pH acima de 8,3 aumenta-se o risco de inibição por amônia livre, espécie química permeável à célula microbiana provocando desequilíbrio nos prótons e/ou deficiência de potássio (K<sup>+</sup>). Já as bactérias fermentativas podem adaptar-se a maiores variações de pH entre 4,0 e 8,5 (DEUBLIN; STEINHAUSER, 2011).

No presente estudo é possível que o inóculo oriundo de um reator que tratava dejetos de suíno; tenha fornecido a alcalinidade necessária para a produção de biogás a partir da manipueira, que tinha pH inicial igual a 5,0 (Tabela 1).

Apesar do glicerol ter proporcionado incremento na produção de metano, há uma limitação no emprego deste efluente como cosubstrato. O uso de catalisador básico, tal como NaOH ou KOH para promover a reação de transesterificação para a produção de biodiesel, torna necessário o uso de ácido hidrocloreídrico ou sulfúrico para neutralizar o pH deste efluente. Quando se utiliza ácido sulfúrico, a presença de sulfato pode desencadear a elevação de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) no biogás que é altamente corrosivo aos componentes do moto gerador (FIERRO *et al.*, 2016), onerando assim o processo de purificação deste biocombustível.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adição de glicerol residual da produção de biodiesel como cosubstrato na digestão anaeróbia da manipueira e efluente da linha vermelha demonstrou-se uma alternativa interessante para o incremento da produção de metano. Isso significa uma maior quantidade de metano em menor TRH, implicando diretamente sobre o tamanho do reator e conseqüente economia na edificação deste equipamento.

Todavia, para que o processo se torne eficiente, é necessário um monitoramento mais cuidadoso, tendo em vista o aumento da carga orgânica provocado pela adição de glicerol que pode em alguns casos ocasionar inibição da atividade metanogênica decorrente do maior risco da acidificação do substrato.

O efluente da linha vermelha apresentou notável biodegradabilidade que apesar da menor composição de SV obteve produção de metano igual ao da manipueira.

## REFERÊNCIAS

- AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L.; FORESTI, E.; DOS SANTOS, M. L. F.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, n. 2, p. 192-201, abr./jun. 2007.
- APHA. American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21. ed. Washington, 2005.
- ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOL, V.; MATA-ALVAREZ, J. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. **Bioresource Technology**, v. 110, p. 63-70, 2012.
- BARICHELLO, R.; HOFFMANN, R.; SILVA, S. O. C.; DEIMLING, M. F.; FILHO, N. C. O uso de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região Noroeste do Rio Grande do Sul. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 333-355, maio/ago. 2015.
- CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 312-317, 2013.
- COSTA, L. V. C. D.; MOGHRABI, J. D. A.; SAGULA, A. L.; LUCAS JÚNIOR, J. D. Tratamento anaeróbio da água residuária de frigorífico com uso de biodigestores: utilização de remediadores biológicos para produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas**, v. 7, n. 2, p. 77-85, 2013.
- DUBLIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources: an introduction**. 2. ed. Wiley-VCH, 2011.
- 414 DUDA, R. M.; OLIVEIRA, R. A. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator UASB e filtro anaeróbio em série seguidos de filtro biológico percolador. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 16, n. 1, p. 91-100, jan./mar. 2011.
- FIERRO, J.; MARTINEZ, E. J.; ROSAS, J. G.; FERNÁNDEZ, R. A.; LÓPEZ, R.; GOMEZ, X. Co-Digestion of swine manure and crude glycerine: Increasing glycerine ratio results in preferential degradation of labile compounds. **Water, Air & Soil Pollution**, v. 227, n. 78, p. 1-13, 2016.
- FLECK, L.; TAVARES, M. H.; EYNG, E.; ANDRADE, M. A. D. M.; FRARE, L. M. Optimization of anaerobic treatment of cassava processing wastewater. **Engenharia Agrícola**, v. 37, n. 3, p. 574-590, 2017.
- FORESTI, E.; ZAIAT, M.; MORAES, E. M.; ADORNO, T. A. M.; PAIM, A. P.; RODRIGUES, J. A. D.; RATUSNEI, M. S.; CANTO, S. C.; DAMASCENO, L. H. S.; BORZANI, W. **Métodos e análises físico-químicas de rotina de águas residuárias tratadas biologicamente**. Instituto Mauá de Tecnologia, USP. 2005.
- FRIEDRICH, L.; SANDERSON, K.; PAZUCH, A. F.; BARICCATTI, R. A.; LENZ, A. M.; SOUZA, S. N. M.; LINDINO, C. A.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; FRIGO, E. P.; FEIDEN, A. Crude glycerol co-digestion associated with swine manure in biogas production: A study in Brazil. **African Journal of Agricultural Research**, v. 11, n. 9, p. 792-799, 2016.
- GARFÍ, M.; MARTÍ-HERRERO, J.; GARWOOD, A.; FERRER, I. Household anaerobic digesters for biogas production in Latin America: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 60, p. 599-614, 2016.
- HEYDT, A. R.; CREMONEZ, P. A.; PARISOTTO, E. I. B.; MEIER, T. R. W.; TELEKEN, J. G. Biodigestão anaeróbia de resíduos líquidos de fecularia com adição de glicerol em fase termofílica. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 4, (Edição especial), p. 498-514, 2015.
- KONRAD, O.; KOCH, F. F.; LUMI, M.; TONETTO, J. F.; BEZAMA, A. Potencial of biogas production from swine manure supplemented with glycerine waste. **Engenharia Agrícola**, v. 34, n. 5, p. 844-853, set./out. 2014.

- KUCZMAN, O.; GOMES, S. D.; TAVARES, M. H. F.; DOUGLAS, G. B.; TORRES, D. G. B.; ALCÂNTARA, M. S. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única. **Engenharia Agrícola**, v. 31, n. 1, p. 143-149, jan./fev. 2011.
- KUNZ, A.; DO AMARAL, A. C.; STEINMETZ, R. L. R. **Padronização de uso das unidades de medidas em processos de produção de biogás**. Embrapa Suínos e Aves, Comunicado Técnico nº 537, Concórdia, 2016.
- LARSEN, A. C.; GOMES, B. M.; GOMES, S. D.; ZENATTI, D. C.; TORRES, D. B. Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch industry effluent. **Engenharia Agrícola**, v. 33, n. 2, p. 341-352, mar./abr. 2013.
- LEE, M.; HIDAKA, T.; HAGIWARA, W.; TSUNO, H. Comparative performance and microbial diversity of hyperthermophilic and thermophilic co-digestion of kitchen garbage and excess sludge. **Bioresource Technology**, v. 100, p. 578-585, 2009.
- MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 45, p. 540-555, 2015.
- MATA-ALVAREZ, J.; DOSTA, J.; ROMERO-GUIZA, M. S.; FONOLL, X.; PECES, M.; ASTALS, S. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 36, p. 412-427, 2014.
- MÉZES, L.; BIRÓ, G.; SULYOK, E.; PETIS, M.; BORBÉLY, J.; TAMÁS, J. Novel approach on the basis of FOS/TAC method. *In*: INTERNATIONAL SYMPOSIA RISK FACTORS FOR ENVIRONMENT AND FOOD SAFETY, 2011, Oradea. **Anais [...]**. Oradea, 2011, p. 802-807.
- ORTIZ, G.; VILLAMAR, C. A.; VIDAL, G. Odor from anaerobic digestion of swine slurry: influence of pH, temperature and organic loading. **Scientia Agrícola**, v. 71, n. 6, p. 443-450, 2014.
- PINTO, P. H. M.; CABELLO, C. Tratamento de manipueira de feccularia em biodigestor anaeróbico para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação. **Energia na Agricultura**, v. 26, n. 3, p. 127-140, 2011.
- QUIAO, W.; YAN, X.; YE, J.; SUN, Y.; WANG, W.; ZHANG, Z. Evolution of biogas production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment. **Renewable Energy**, v. 36, p. 3313-3318, 2011.
- ROBRA, S.; SERPADA, R. C.; OLIVEIRA, A. M.; ALMEIDA NETO, J. A.; SANTOS, J. V. Generation of biogas using crude glycerin from biodiesel production as a supplement to cattle slurry. **Biomass and Bioenergy**, v. 34, n. 9, p. 1330-1335, 2010.
- SILVA, J. L. G.; ANDREANI, C. L.; WATTHIER, E.; GOMES, S. D. Redução de sólidos totais, voláteis, e fixos em reatores anaeróbios de fluxo contínuo com meio suporte. *In*: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAS, 2, 2011, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. Foz do Iguaçu, 2011. p. 1-4.
- STRASSBURG, U.; OLIVEIRA, N. M.; JUNIOR, W. F. R. O potencial de geração de biogás proveniente da criação de suínos no Oeste do Paraná: um estudo exploratório. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 9, n. 4, p. 803-818, out./nov. 2016.
- TESSARO, A. B.; TESSARO, A. A.; CANTÃO, M. P.; MENDES, M. A. Potencial energético da cama de aviário produzida na região Sudoeste do Paraná e utilizada como substrato para a produção de biogás. **Revista em Agronegócio e Meio Ambiente**, v. 8, n. 2, p. 357-377, maio/ago. 2015.
- THEBALDI, M. S.; SANDRI, D.; FELISBERTO, A. B.; ROCHA, M. S.; NETO, S. A. Qualidade da água de um córrego sob influência de efluente tratado de abate bovino. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 15, n. 3, p. 302-309, mar. 2011.
- WARE, A.; POWER, N. Biogas from cattle slaughterhouse waste: Energy recovery towards an energy self-sufficient industry in Ireland. **Renewable Energy**, v. 97, p. 541-549, 2016.