

# Codigestão de água residual de suinocultura e vinhaça sob diferentes condições térmicas

## Codigestion of swine wastewater and sugarcane stillage under different temperature conditions

Paulo A. Cremones<sup>1\*</sup>, Eduardo de Rossi<sup>1</sup>, Michael Feroldi<sup>1</sup>, Joel Gustavo Teleken<sup>2</sup>, Armin Feiden<sup>1</sup>, Jonathan Dieter<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Stricto Sensu Post graduate Course in Energy in Agriculture. Universitária Street, nº 2069, Postal Code: 85.819-110, Bairro Universitário, Cascavel, PR. Brasil, E-mail: pa.cremones@gmail.com, author for correspondence

<sup>2</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR, Under graduate Course in Technology in Biofuels. Pioneiro Street, nº 2153, Postal Code: 85.950-000, Jardim Dallas, Palotina, PR. Brasil

Recebido/Received: 2014.05.20  
Aceite/Accepted: 2015.02.10

### RESUMO

Este estudo teve como objetivo realizar processo de co-digestão anaeróbia da vinhaça, oriunda dos processos de produção do etanol hidratado, e dos resíduos de suinocultura. Utilizaram-se biodigestores tubulares sob diferentes condições de temperatura e avaliou-se a eficiência na remoção de sólidos, demanda química de oxigênio (DQO) e a produção de biogás. Para isso utilizaram-se dois reatores, sendo um deles controlado termicamente enquanto o outro permaneceu à temperatura ambiente. Determinaram-se três tempos de retenção hidráulica com 13 dias cada, realizando-se diariamente análises no efluente dos reatores. As eficiências de remoção de sólidos totais voláteis (STV) foram de 29,9% para o reator termicamente controlado contra 25,4% do reator a temperatura ambiente, para eficiência de remoção de DQO verificaram-se valores médios de 69,0% no Reator 1 e 68,4% no Reator 2. O controle da temperatura proporcionou produção acumulada de metano ao Reator 1330% superior ao reator mantido em condição ambiental.

**Palavras-chave:** metano, biocombustíveis, resíduos agroindustriais.

### ABSTRACT

The current research aimed to perform the process of anaerobic co-digestion of vinasse, originated from the production of hydrous ethanol, and from the residues of swine raising processes using tubular biodigesters under different temperature conditions, evaluating the removal efficiency of solids, COD removal and biogas production. For this, it was used two reactors, one of which was thermally controlled while the other remained at room temperature. Three hydraulic retention times were determined with 13 days each, performing daily analysis on the reactor effluent. The TVS removal efficiencies were 29.9% for the thermally controlled reactor and 25.4% for the room temperature reactor, for the COD removal efficiency, it was verified mean values of 69.0% in the Reactor 1 and 68.4% in the Reactor 2. The temperature control caused accumulated methane production to the Reactor 1,330% higher than the reactor kept in environmental conditions.

**Keywords:** methane; biofuels; agroindustrial residues.

## Introdução

A energia tem influência direta na sociedade, afetando todos os aspectos do desenvolvimento social, econômico e ambiental (Amigun *et al.*, 2008). Por isso, a prestação adequada de serviço e fornecimento de energia a preços acessíveis com mínimos danos ao ambiente torna-se crucial (Karekezi, 2002). Mesmo que grande parte da energia utilizada na atualidade seja oriunda de fontes não renováveis, é crescente a procura por fontes alternativas de energia, direcionando pesquisas e trabalhos para o incremento da matriz a partir de fontes renováveis (Santos *et al.*, 2012).

A biomassa encontra-se dentre as matérias-primas para produção de energia com elevado potencial para os próximos anos. Tem sido atraente, pois pode ser convertida numa variedade de formas de energia como calor, eletricidade, hidrogênio, metanol, etanol e biogás. De forma particular o biogás é distinto das outras formas de energia, sendo um combustível relativamente limpo além de ser importante no controle e coleta de resíduos orgânicos e produção de biofertilizantes para uso na agricultura. Além disso, não tem limitações geográficas e as suas tecnologias de processo apresentam baixa sofisticação (Neto *et al.* 2010; Chynoweth *et al.*, 2001; Taleghani e Kia, 2005).

No processo de industrialização da cana-de-açúcar, o álcool é produzido a partir de fermentação e destilação do caldo da cana. Esta operação gera um resíduo conhecido como vinhaça, consistindo em grande parte de água e não voláteis. Quando se leva em consideração que a fermentação alcoólica é facilitada por baixa concentração de açúcares (12-20%) (Garcia *et al.*, 1997), a quantidade de vinhaça produzida pode ser 10 a 15 vezes superior à de etanol (Wilkie *et al.*, 2000; Cavalett *et al.*, 2012).

A vinhaça é encontrada em pH ácido ( $\pm 4,5$ ), temperatura em torno de 90 °C, com grande presença de sais minerais como potássio ( $5,0 \text{ g L}^{-1}$ ), além de possuir elevado teor de matéria orgânica, bastante variável de acordo com o sistema produtivo de etanol, apresentando valores de 45 a 59 g DQO  $\text{L}^{-1}$  (Wilkie *et al.*, 2000; Ribas, 2006; Viana, 2006), o que marca a necessidade de tratamento.

Outro resíduo agroindustrial gerado em grandes volumes e com potencial poluente é formado pelos dejetos dos suínos, que apresenta impacto superior ao de outras espécies animais. Com conceitos de equivalência populacional, um suíno adulto, em termos de poluição de matéria orgânica, equivale em média, a 3,5 pessoas adultas (Diesel *et al.*, 2002). Os

resíduos apresentam altas cargas de fósforo e azoto, sedimentos, patógenos e alguns metais pesados (Kunz *et al.*, 2005).

A água residual de suinocultura é amplamente utilizada como fertilizante em muitos países por causa de sua alta carga orgânica e conteúdo em azoto e fósforo. No entanto, a criação intensiva de animais somada às altas cargas orgânicas do resíduo, pode classificar os resíduos como detentores de grande potencial poluidor do solo e causadores de eutrofização em corpos hídricos (Massé *et al.*, 2004; Deng *et al.*, 2006).

A biodigestão anaeróbia, se conduzida de forma otimizada, é considerada um tratamento de alta eficiência e baixo custo, capaz de diminuir o teor de matéria orgânica de efluentes, enquanto produz energia pela valorização do metano (Angelidaki *et al.*, 1993).

Levando em consideração o seu alto potencial na redução de emissões de gases de efeito estufa, o uso de resíduos agrícolas na biodigestão, como resultado de sua natureza descentralizada e região baseada em estrutura de investimento, pode contribuir significativamente para o desenvolvimento sustentável em áreas rurais, garantindo aos agricultores uma nova oportunidade de receita (Cavinato *et al.*, 2010). Além disso, proporciona a produção de energia renovável e de um fertilizante com características em nutrientes interessantes (Amon *et al.*, 2006).

A partir deste cenário e da escassez de trabalhos que visem a co-digestão destes resíduos, a presente pesquisa teve como objetivo avaliar o processo de co-digestão anaeróbia da vinhaça, oriunda dos processos de produção do etanol hidratado, e de resíduos de suinocultura utilizando-se biodigestores tubulares sob diferentes condições de temperatura.

## Material e Métodos

### Substratos

A vinhaça empregada na co-digestão é um resíduo produzido a partir de processos fermentativos e destilação no Laboratório de Produção de Biocombustíveis (LAPROBIO) da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, visando a produção de etanol hidratado. Já o resíduo de suinocultura foi recolhido numa propriedade rural, onde são criados 904 animais com peso entre 18-20 kg. A matéria-prima empregada na co-digestão provinha da lavagem por lâmina de água de baias de leitões de engorda que após passarem por gradeamento eram enviadas diretamente para lagoas de tratamento. Os dois tipos de resíduos foram acondicionados em garrafas de polietileno e mantidos sob refrigeração até o momento do uso.

A escolha da proporção de cada efluente na mistura foi definida a partir da quantidade de Sólidos Totais (ST) presentes e no pH de cada um dos resíduos, tal como nas relações de Acidez Volátil/Alcalinidade Total (AV/AT) e Alcalinidade Intermediária/Alcalinidade Parcial (AI/AT).

### **Biodigestores**

Para a condução do processo de digestão anaeróbia, empregaram-se reatores de fluxo ascendente de escala laboratorial construídos basicamente em PVC, apresentando medidas de 200 mm de diâmetro e 450 mm de comprimento. Com estas medidas obtém-se um volume total de 14,13 L. Delimitou-se como volume útil de trabalho no reator o volume de 10 L. O abastecimento do biodigestor foi realizado uma vez ao dia, de forma manual através do bocal de entrada que se prolonga até a parte inferior do reator.

### **Controle da temperatura**

Um dos reatores (Reator 1) foi mantido em incubadora sob a temperatura média de 35 °C. A incubadora foi confeccionada com casco térmico e termostato digital on/off para o controle da temperatura e definição de set-point, juntamente com um segundo termómetro digital independente com objetivo de garantir e controlar a temperatura por todo reator. Todo o sistema de captação do efluente digerido e coleta do biogás foram realizados externamente à estufa. O outro reator (Reator 2) foi mantido à temperatura ambiente, e com isso realizou-se a avaliação dos parâmetros de controle, com o objetivo de comparar com as adversidades térmicas externas, as quais tem influência direta no interior do sistema.

### **Parâmetros de controle dos reatores**

Os dois efluentes a serem digeridos em co-digestão foram submetidos a testes de pH, AT, AV e ST, visando-se a análise e estabelecimento da composição e proporção da mistura para que a biodigestão ocorresse de forma eficiente.

Estipulou-se, para avaliação do trabalho, a realização de três (três repetições) Tempos de Retenção Hidráulica (TRH) de 13 dias, ou seja, avaliação dos reatores durante 39 dias, procurando determinar diferenças na composição da matéria após digestão, nos dois reatores. Este valor foi definido com base no volume útil dos reatores e em carga de entrada de efluente que não fosse muito alta a ponto de proporcionar a lixiviação do inóculo antes da multiplicação das bactérias. Diversas misturas do efluente foram realizadas de modo a determinar a relação ideal de alcalinidade total/acidez volátil, pH

dos efluentes e de sua matéria orgânica. Avaliou-se ainda o potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigénio (DQO), sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV) e sólidos totais fixos (STF), acidez volátil (AV), alcalinidade total (AT), alcalinidade parcial (AP) e alcalinidade intermediária (AI), temperatura e azoto total Kjeldahl (NTK). Todas as análises realizadas no efluente de entrada do reator também foram efetuadas em amostras coletadas na saída deste, tornando possível o estudo, a comparação e a avaliação da eficiência entre ambos os reatores. As metodologias empregues nas análises estão referidas no Quadro 1.

**Quadro 1** – Métodos empregados para determinação dos parâmetros

<b>Parâmetro</b>	<b>Método</b>
pH	Potenciométrico (4500-H* / APHA, 1995)
Temperatura	Leitura Direta
DQO	Colorimétrico (5220-D / APHA, 1995)
ST	Gravimétrico (2540-B / APHA, 1995)
STV	Gravimétrico (2540-E / APHA, 1995)
STF	Gravimétrico (2540-E / APHA, 1995)
AV	Volumétrico (Silva, 1977)
AT	Volumétrico (Silva, 1977)
AP	Volumétrico (Silva, 1977)
AI	Volumétrico (Silva, 1977)
NTK	Semimicro Kjeldahl (Silva e Queiroz, 2002)
Metano	Respirometria (Aquino <i>et al.</i> , 2007)

**Quadro 2** – Caracterização do material de entrada

<b>Parâmetro</b>	<b>Concentrações</b>
pH	7,76
DQO (mg L <sup>-1</sup> )	30195,56
ST (mg L <sup>-1</sup> )	8816,67
STV (mg L <sup>-1</sup> )	4646,67
STF (mg L <sup>-1</sup> )	4170,00
NTK (mg L <sup>-1</sup> )	14496,65
COT (mg L <sup>-1</sup> )	2581,48
AT (mg L <sup>-1</sup> )	5534,53
AP (mg L <sup>-1</sup> )	4191,20
AI (mg L <sup>-1</sup> )	1343,33
AV (mg L <sup>-1</sup> )	1143,94

## Resultados e Discussão

Baseando-se em análises dos dois efluentes definiu-se a mistura dos efluentes em proporções de suíno:vinhaça e analisou-se o material, verificando-se quais seriam as condições de entrada da biomassa a ser digerida. Os resultados das análises estão discriminados no Quadro 2.

A utilização da mistura dos dois efluentes nesta proporção garantiu valores favoráveis no que diz respeito ao pH e relação de AV/AT. Com pH entre

6 e 8, o processo de biodigestão ocorre de forma eficiente (Chernicharo, 1997) e a relação de AV/AT deve ser de pelo menos 1/5 para que haja disponibilidade de material alcalino prevenindo possíveis quedas de pH (EEA, 2005). Apesar da necessidade de concentração de ST inferior aos 8%, notou-se que os valores de sólidos obtidos após mistura dos dois resíduos foram relativamente baixos (inferiores a 1%).

No Quadro 3 apresentam-se as eficiências de remoção de DQO, sólidos e azoto total.

**Quadro 3** – Parâmetros analisados e eficiência de remoção nos 2 reatores

Parâmetros	Reator 1			Reator 2	
	Entrada	Saída	Eficiência (%)	Saída	Eficiência (%)
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	30195,56	9373,42	68,96 ± 12,77	9539,22	68,41 ± 6,50
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	8816,67	7231,06	17,98 ± 1,19	7529,98	14,59 ± 2,25
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	4646,67	3256,96	29,91 ± 2,75	3465,16	25,43 ± 3,29
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	4170,00	4064,82	2,52 ± 3,51	3974,10	4,70 ± 1,77
NTK (mg.L <sup>-1</sup> )	14496,65	11066,74	23,66 ± 1,61	11304,48	22,02 ± 0,60

### Remoção de STV

Os STV podem ser considerados a matéria orgânica presente no resíduo passível de transformação. São estes os responsáveis diretos pela produção de biogás, sendo que quanto maior for a concentração de STV no efluente alimentado, maior será a capacidade de produção de biogás dos micro-organismos presentes no biodigestor (Miranda, 2009).

A quantidade de ST e STV, 8816,67 mg L<sup>-1</sup> e 4646,67 mg L<sup>-1</sup>, da mistura a ser digerida apresenta-se inferior a de outros trabalhos. Isso ocorre, pois a mistura de ARS empregada é proveniente de animais em estágio prematuro de vida, onde há maior diluição devido à quantidade de água adicionada nas caixas coletoras e a própria lavagem das baias no dia da entrada do lote, além da menor quantidade de esterco sólido gerada por animal ao dia (0,35 kg) conforme Oliveira (2004), consequentemente geram um teor de sólidos baixo (Sinotti, 2005). Ainda deve-se considerar a mistura com a vinhaça, que também apresenta baixos teores de sólidos, em média 0,2-6% da composição total (Granato e Silva, 2002).

Angonese *et al.* (2006) obteve a partir de água de lavagem de suínos, concentração de ST e STV de 35789 mg.L<sup>-1</sup> e 25486 mg.L<sup>-1</sup> respectivamente, com um percentual de STV superior se comparado ao presente

trabalho, obtendo assim, através de biodigestão com reator tubular eficiência de remoção de 59%.

Paralelamente, Vivian *et al.* (2010) obtiveram valores de ST e STV bastante semelhantes aos obtidos por Angonese *et al.* (2006), aproximadamente 35,79 g L<sup>-1</sup> e 24,78 g L<sup>-1</sup>, comprovando também, maior participação de matéria biodisponível no total, porém, as taxas remoção permaneceram bastante baixas, na casa de 24,16 e 34,63%, respectivamente, devido ao arraste ocorrido na alimentação do biodigestor de 135 m<sup>3</sup> tipo lagoa coberta, que segundo Kunz e Oliveira (2005) é favorecida pela operação em baixas temperaturas como na faixa psicrófila, a qual pode ter sido alcançada durante a operação deste no estágio inicial.

Segundo Costa (2012), a cinética ocorrida no processo de biodigestão anaeróbia depende fundamentalmente da temperatura, pois esta é um regulador na seleção de espécies. A temperatura pode variar a concentração de sólidos orgânicos que se encontram presentes no processo de digestão anaeróbia durante a etapa de metabolização. Com temperaturas baixas, pode-se dizer que a fração digerida diminui consideravelmente, sendo atribuída baixa taxa de hidrólise, fazendo com que partículas sólidas grandes não sejam quebradas.

Em trabalho de Bueno (2010), observou-se eficiência de 56% na remoção de STV de resíduo de suíno, já Takeuti e Matsumoto (2004), obtiveram eficiência de remoção de 80%, valores estes muito superiores aos obtidos na atual pesquisa, sendo a média de 29,91% para o Reator 1 e 25,43% para o Reator 2, fato que pode ser explicado se considerado a diferente composição do efluente e alto grau de diluição do material estudado.

Contrera *et al.* (2005), concluíram que com período de partida de um reator de fluxo ascendente tubular de 25 dias, a remoção de sólidos ocorre com pouca eficiência, sendo necessário períodos mais longos de adaptação dos reatores. Em pesquisa de Rodrigues *et al.* (2010), utilizando-se de lodo de lagoa anaeróbia como inóculo e trabalhando com digestão de resíduo de suinocultura, obteve-se partida do reator com tempo de 15 dias. A partir destas informações determinou-se que o curto período de adaptação juntamente com a desestabilidade da temperatura foram as principais variáveis que determinaram a baixa eficiência de remoção de STV, principalmente no reator 2, que se encontraram inferiores aos 30%.

### Remoção de DQO

Com relação à DQO, segundo Santos (2004), eficiências interessantes para remoção devem ser da ordem de 65% a 75%, porém afirma que reatores anaeróbios de leito móvel podem chegar a apresentar eficiência global de remoção de DQO entre 70% a 98%, confirmando o desempenho elevado desse sistema de reator.

Conforme Quadro 3, observou-se grande eficiência na remoção de DQO em ambos os reatores. Ainda segundo Costa (2012), a DQO está diretamente relacionada com o controle de temperatura, visto que a concentração de DQO diminuirá para temperaturas mais baixas provocando um aumento significativo de pH, justificando assim o fato de o reator com controle térmico, operando em temperatura superior e tendendo à constância, apresentar uma maior taxa de remoção nos tempos de retenção.

Apesar das médias de eficiência de remoção se concentrarem em torno de 68%, em momentos da pesquisa pode-se verificar que estes valores foram superados, tendo-se TRH com remoção superior a 79%.

A eficiência constatada em ambos os reatores foram significativas mediante comparação de outros trabalhos com emprego do mesmo tipo de reator. Campos *et al.* (2005), obtiveram eficiência média de 78% de remoção de DQO a partir de resíduos de suinocultura utilizando reator UASB com TRH médio de

30 horas. Angonese *et al.* (2006) observaram conversão de 77% da DQO, Bortoli *et al.* (2009) obtiveram eficiências de 70%, Bueno (2010), obteve médias de remoção entre 51% e 61,6%.

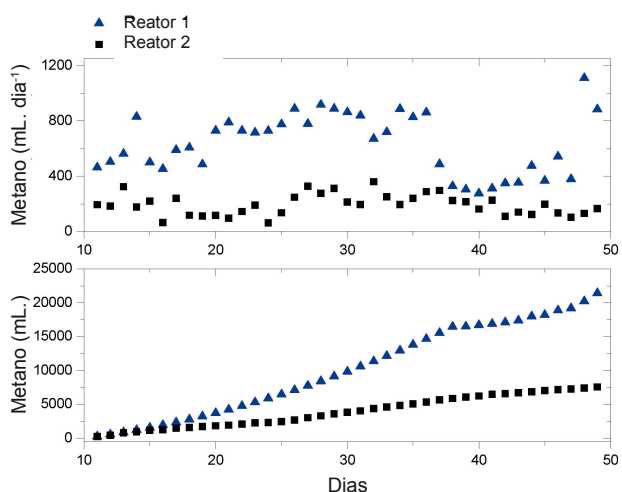
Serejo e Boncz (2011), afirmam que o tratamento da vinhaça com reatores tubulares pode garantir uma eficiência de até 75%, tornando viável o emprego deste reator no tratamento deste resíduo. Adicionalmente, Santos (2004), obteve com reator de fluxo ascendente eficiência média de remoção de 89,5%.

Adicionalmente, um aumento na temperatura do reator termicamente controlado para a faixa termofílica poderia ocasionar um aumento abrupto na remoção de DQO, no entanto, rápida degradação e conversão do material orgânico em ácidos voláteis pode não ser acompanhada pela fase metanogênica gerando acúmulo destes no sistema, ocasionando colapso do reator (Viana, 2006).

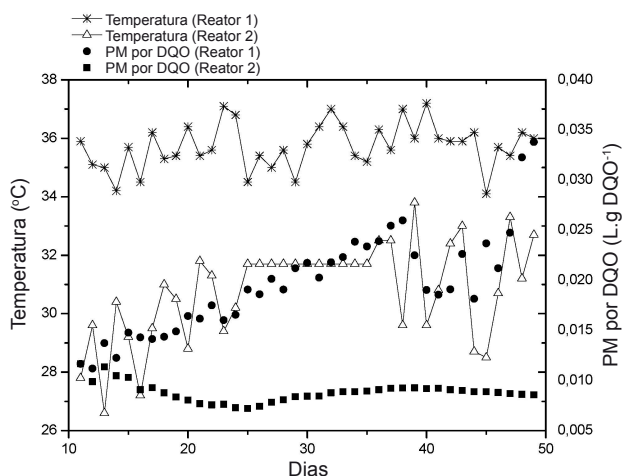
É importante salientar que as características iniciais do efluente, bem como o sistema de operação e suas condições, são bastante influenciadores no sucesso do tratamento, visto que Machado e Freire (2009) obtiveram remoção média de 23% e máxima de 40% no tratamento de vinhaça com DQO inicial de 55.000 mg.L<sup>-1</sup> em reator UASB operando com TRH de 20 horas, comprovando a variação comentada.

### Produção de metano

Na Figura 1, pode verificar-se o perfil da produção de metano durante o período de monitorização do reator. Nota-se uma diferença significativa no que diz respeito ao perfil da produção de metano entre



**Figura 1** – Produção acumulada de metano no decorrer do experimento (superior). Perfil da produção de metano no decorrer do tempo (inferior).



**Figura 2**– Perfil de produção de metano (PM) a partir da DQO removida tendo como parâmetro o controle da temperatura.

os dois reatores. A produção de biogás nem sempre está atrelada à total produção de metano, visto que os micro-organismos não apresentando condições favoráveis, podem produzir maiores concentrações de  $\text{CO}_2$ , como em casos onde a fase da metanogênese-acetoclástica é prejudicada de alguma maneira, como pH e índice de acidez elevados (Balmant, 2009). A produtividade no Reator 2 foi muito inferior (33%) ao Reator 1, apesar deste apresentar estabilidade de produção de gás durante os 49 dias de monitorização, enquanto que o reator termicamente controlado apresentou muitas variações bruscas. A relação de produção de metano por DQO alimentada correlacionada com a temperatura pode ser visualizada na Figura 2.

Fica visível que a produção de metano a partir da conversão de DQO é crescente no Reator 1 com tendência linear a partir do 15º dia de fermentação, onde a remoção de STV apresentou-se de forma mais eficiente. O Reator 2 se mostra tendendo à estabilização na produção, não apresentando melhora na eficiência no decorrer do tempo.

Souza *et al.* (2005), afirmam que temperaturas entre 35-45 °C garantem uma melhor produção de metano, além de apresentar produção de biogás de 5 a 6 vezes maior do que sob temperatura de 25 °C. Igualmente, temperaturas mais elevadas possibilitam menores tempos de TRH. Souza *et al.* (2008) afirmam que a temperatura exerce certa influência sobre a velocidade do processo de biodigestão e biodigestores. Operando na faixa termofílica, a remoção de DQO e sólidos ocorrem com maior eficiência do que em reatores sob faixa mesofílica. Ainda confirma que diferenças significativas podem ser verificadas

na produção volumétrica de metano com o aumento da temperatura, obtendo melhores resultados com utilização de biodigestores em faixas próximas a 40°C.

Contrariamente a Souza *et al.* (2008), Souza *et al.* (2005) observaram maiores produções em reatores operados em temperatura de 35°C, comparativamente a reatores a 25 e 40°C, no caso de reatores sem agitação, tendo produção superior em reatores com maior temperatura (40°C) quando agitados mecanicamente.

## Conclusões

O fator temperatura influenciou consideravelmente o processo de biodigestão nos dois reatores principalmente na produção de metano. As eficiências de remoção de DQO apresentaram-se próximas as encontradas em literatura para digestão dos resíduos estudados, enquanto as eficiências de remoção de ST e STV apresentaram valores relativamente baixos.

## Referências Bibliográficas

- Amigun, B.; Sigamoney, R. e Von Blottnitz, H. (2008) - Commercialization of biofuel industry in Africa: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 12, n. 3, p. 690-711.
- Amon, T.; Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Bodiroza, V.; Potsch, E. e Zollitsch, W. (2006) - Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerine supplementation. *International Congress Series*, n. 1293, p. 217-220.
- Angelidaki, I. e Ahring, B.K. (1993) - Thermophilic anaerobic digestion of livestock waste: the effect of ammonia. *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 4, p. 538-560.
- Angonese, A.R.; Campos, A.T.; Palacio, S.M. e Szymanski, N. (2006) - Avaliação da Eficiência de um Biodigestor Tubular na Redução da Carga Orgânica e Produção de Biogás a Partir de Dejetos de Suínos. *Enc. Energ. Meio Rural*, An. 6.
- APHA. (1995) - *Standard methods*. 19th Edition. American Public Health Association, Washington, DC.
- Aquino, S.F.; Chernicharo, C.A.L.; Foresti, E.; Santos, M.L.F. e Monteggia, L.O. (2007) - Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol. 12, n. 2, p. 192-201.
- Balmant, W. (2009) - *Concepção, construção e opera-*

- ção de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais), UFPR, Curitiba. 59p.
- Bortoli, M.; Kunz, A. e Soares, H.M. (2009) - Comparativo entre Reatores UASB e Biodigestores para Geração de Biogás no Tratamento de Dejetos de Suínos. In: Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais. Anais... Geração de Energia a partir de Resíduos de Animais. Florianópolis, p. 37-42.
- Bueno, R. de F. (2010) - Comparação entre Biodigestores Operados em Escala Piloto para Produção de Biogás Alimentado com Estrume Bovino. *HOLOS Environment*, vol. 10, n. 1, p. 111-125.
- Campos, C.M.M.; Mochizuki, E.T.; Damasceno, L.H.S. e Botelho, C.G. (2005) - Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbico de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. *Ciênc. Agrotec.*, vol. 29, n. 4, p. 848-856.
- Cavalett, O.; Junqueira, T.L.; Dias, M.O.S.; Jesus, C.D.F.; et al. (2012) - Environmental and economic assessment of sugarcane first generation biorefineries in Brazil. *Clean Technol. Environ. Policy*, vol. 14, n. 3, p. 399-410.
- Cavinato, C.; Fatone, F.; Bolzonella, D. e Pavan, P. (2010) - Thermophilic anaerobic co-digestion of cattle manure with agro-wastes and energy crops: comparison of pilot and full scale experiences. *Biores. Techn.*, vol. 101, n. 2, p. 545-550.
- Chernicharo, C.A.L. (1997) - *Princípios do tratamento biológico de águas residuais: reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 246 p.
- Chynoweth, D.P.; Owens, J.M. e Legrand, R. (2001) - Renewable methane from anaerobic digestion of biomass. *Renew. Energy*, vol. 22, n. 1-3, p. 1-8.
- Contrera, R.C.; Zaiat, M. e Schalch, V. (2005) - Partida e Adaptação de um Reator Anaeróbico Horizontal de Leito Fixo (RAHFT) para Tratamento Biológico de Líquidos Percolados de Aterros Sanitários. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Anais... ABES, vol. 1, p. 1-8.
- Costa, L.V.C. (2012) - *Produção de Biogás Utilizando Cama de Frango Diluída em Água e em Biofertilizante de Dejetos de Suínos*. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura), Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp, Botucatu. 90p.
- Deng, L.; Zheng, P. e Chen, Z. (2006) - Anaerobic digestion and post-treatment of swine wastewater using IC-SBR process with bypass of raw wastewater. *Process Biochemistry*, vol. 41, n.4, p. 965-969.
- Diesel, R.; Miranda, C.R. e Perdomo, C.C. (2002) - *Coletânea de Tecnologias Sobre Dejetos Suínos*. BIPERS – Pesquisa e Extensão, Embrapa, Suínos e Aves, EMATER.
- EEA – Empresa de Engenharia Ambiental Ltda. (2005) - *Curso de Tratamento de Esgoto. Câmara Técnica de Saneamento (CT-SA)*. [citado 2013-02-23]. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/Paginas.php?CodPagina=67>>.
- Garcia, I.G.; Venceslada, J.L.B.; et al. (1997) - Biodegradation of phenol compounds in vinasse using *Aspergillus terreus* and *Geotrichum candidum*. *Wat. Res.*, vol. 31, n. 8, p. 2005-2011.
- Granato, E.F. e Silva, C.L. (2002) - Geração de energia elétrica a partir do resíduo de vinhaça. *Encontro Energia no Meio Rural*, vol. 4, p. 1-6.
- Karekezi, S. (2002) - Renewables in Africa – meeting the energy needs of the poor. *Energy Policy*, vol. 30, n. 11-12, p. 1059-1069.
- Kunz, A.; Higarashi, M.M. e Oliveira, P.A. (2005) - Tecnologias de Manejo e Tratamento de Dejetos de Suínos Estudadas no Brasil. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, vol. 22, n. 3, p. 651-665.
- Kunz, A. e Oliveira, P.A.V. (2005) - *Biodigestor para o tratamento de dejetos de suínos: Influência da temperatura ambiente*. Comunicado Técnico. Concórdia: Embrapa CNPSA, 5p.
- Machado, O. e Freire, F.B. (2009) - Tratamento de vinhaça em reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB). In: IV Semana do Meio Ambiente da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Anais... vol. 1, p. 170-188.
- Massé, D.I.; Croteau, F.; Masse, L. e Danesh, S. (2004) - The effect of scale-up on the digestion of swine manure slurry in psychrophilic anaerobic sequencing batch reactors. *Trans. ASAE*, vol. 47, n. 4, p. 1367-1373.
- Miranda, A.P. (2009) - *Suínos em Diferentes Fases de Crescimento Alimentados com Milho ou Sorgo: Desempenho, Digestibilidade e Efeitos na Biodigestão Anaeróbia*. Tese (Doutorado em Zootecnia), Faculdade de Ciências Agrárias, UNESP, Jaboticabal. 147p.
- Neto, E.D.D.; Alvarenga, L.H.; Costa, L.M.; et al. (2010) - Implementação e Avaliação de um Biodigestor de Produção Descontínua. *Revista eletrônica E-xacta*, vol. 3, n. 2, p. 36-43.
- Oliveira, P.A.V. (2004) - *Produção e aproveitamento do biogás. Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos: Manual de boas praticas*. Concórdia: Gestão Integrada de Ativos Ambientais, p. 42-55.

- Ribas, M.M.F. (2006) - *Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio operado em batelada sequencial contendo biomassa imobilizada sob condições termofílicas e mesofílicas*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos. 175p.
- Rodrigues, L.S. e Silva, I.J. (2010) - Avaliação do Desempenho de Reator UASB no Tratamento de Águas Residuais de Suinocultura. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, vol. 14, n. 1, p. 94-100.
- Santos, J.I.; Rogério, F.; Migliavacca, R.A.; et al. (2012) - Efeito da Adubação Potássica na Cultura do Crambe. *Biosci. J.*, vol. 28, n. 3, p. 346-350.
- Santos, P.I. de A. (2004) - *Remoção de DQO e de Azoto, e Estudo dos Consórcios Microbianos em Sistema com Três Reatores Sobrepostos, em Série, Alimentado com Esgoto Sanitário*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil), Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos. 190p.
- Serejo, M.L. e Boncz, M.A. (2008) - *Estudo de Otimização de Condições para Digestão Anaeróbio de Vinhaça e Outros Rejeitos de uma Usina de Açúcar e Alcool, Visando a Produção de Biogás*. [citado 2013-02-15]. Disponível em <<http://www.propp.ufms.br/gestor/titan.php?target=openFile&fileId=459>>.
- Silva, D.J. e Queiroz, A.C. (2006) - *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. 3 ed. Viçosa, MG: UFV. 235p.
- Silva, M.O.S.A. (1977) - *Análises físico-químicas para controle das estações de tratamento de esgotos*. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB.
- Sinotti, A.P. dos S. (2005) - *Avaliação do volume de dejetos e da carga de poluentes produzidos por suíno nas diferentes fases do ciclo criatório*. Dissertação (Mestrado em Agroecossistemas), UFSC, Florianópolis. 85p.
- Souza, C. de F.; Campos, J.A.; Santos, C.R.; Bressan, W.S. e Mogami, C.A. (2008) - Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. *Ciênc. agro-tec.*, vol. 32, n. 1, p. 219-224.
- Souza, C.F.; Lucas Júnior, J. e Ferreira, W.P.M. (2005) - Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato - considerações sobre a partida. *Eng. Agríc.*, vol. 25, n. 2, p. 530-539.
- Takeuti, M.R.S. e Matsumoto, T. (2004) - Avaliação da Eficiência da Remoção da DBO, Sólidos Totais e Coliformes em Lagoas de Estabilização com Chicanas no Tratamento de Esgoto Doméstico. In: XI Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- Taleghani, G. e Kia, A.S. (2005) - Technical-economic analysis of the Saveh biogas power plant. *Renew. Energy*, vol. 30, n. 3, p. 441-446.
- Viana, A.B. (2006) - *Tratamento anaeróbio de vinhaça em reator UASB operado em temperatura na faixa termofílica (55° C) e submetido ao aumento progressivo da carga orgânica*. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos. 102p.
- Vivian, M.; Kunz, A.; Stolberg, J.; Perdomo, C. e Techio, V.H. (2010) - Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos suínos. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, vol. 14, n. 3, p. 320-325.
- Wilkie, A.C.; Riedesel, K.J. e Owens, J.M. (2000) - Stillage characterization and anaerobic treatment of ethanol stillage from conventional and cellulosic feedstocks. *Biomass and Bioenergy*, vol. 19, n. 2, p. 63-102.