

POTENCIAL DE DEJETOS DE SUÍNOS COMO SUBSTRATO NA BIODIGESTÃO ANAERÓBIA SOB EFEITO DE DIFERENTES TEMPERATURAS E TEMPOS DE RETENÇÃO HIDRÁULICA¹

Cecília de Fátima Souza²
Cláudia Ribeiro dos Santos³
Josiane Aparecida Campos³
Cristina Akemi Mogami³
Waleska Soares Bressan³

RESUMO

Estudou-se a influência de tempos de retenção hidráulica (TRH) de 10, 15, 25 e 30 dias, de temperaturas (T) de 25, 35 e 40°C e de agitação (Ag) do substrato (com e sem) na biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos. O experimento foi conduzido num período de seis meses, e o período de partida foi aproximadamente de 70 dias. Foram utilizados 24 biodigestores de bancada com 10 L de volume útil cada um, e como substrato, dejetos de suínos em fase de terminação, diluídos em água com 6% de sólidos totais. Para a obtenção das temperaturas desejadas, foram montadas três baterias com oito biodigestores em cada, instalados dentro de caixas de fibrocimento contendo aproximadamente 270 litros de água. O aquecimento da água foi feito por meio de resistências elétricas, e o controle das temperatura em cada caixa, por meio de termostatos. A aplicação da agitação foi feita por meio de motores de liquidificador instalados em metade dos biodigestores de cada bateria.

¹ Aceito para publicação em 18.10.2004.

² Prof. adjunto, DEA/CCA/UFV. 36571-000. E-mail: cfsouza@ufv.br

³ Mestranda, Dep. Engenharia Agrícola, UFV. 36570-000 Viçosa, MG. E-mails: claudiarisan@vicos.ufv.br, josicampos@vicos.ufv.br, akemi@vicos.ufv.br, waleska_mestrado@yahoo.com.br

Na fase de operação contínua ou de cargas diárias, o potencial de produção foi maior na temperatura de 35°C, sem agitação do substrato no TRH de 30 dias, registrando-se nessas condições o potencial médio de 0,136 m³ de biogás.kg⁻¹ de dejetos.

Palavras-chave: biogás, suinocultura, tratamento de resíduos.

ABSTRACT

POTENTIAL OF SWINE WASTE AS SUBSTRATUM IN ANAEROBIC DIGESTION UNDER DIFFERENT TEMPERATURES AND HYDRAULIC RETENTION TIMES

The objective of this study was to analyze the influence of hydraulic retention times (HRT) of 10, 15, 25 and 30 days, temperatures (T) of 25, 35, and 40°C and substratum agitation (Ag) (with and without) on the anaerobic digestion of swine waste. Thus, 24 laboratorial digesters, with 10 liters of useful volume each, were operated during six months. The substratum, containing 6% of total solids, was composed of swine waste at end phase, diluted in water. The departure period was approximately 70 days. In order to obtain the required temperatures, three groups were installed, with eight digesters each, inside three fiber cement recipients containing approximately 270 liters of heated water. Water heating was conducted by means of electric resistances and the temperature control, by thermostats. Substratum agitation was conducted by means of blender motors installed in half of the digesters, in each group. During the period of continuous operation or of daily loads, the biogas potential yield was greater at the temperature of 35°C, without substratum agitation in the HRT of 30 days, with the average potential under these conditions being defined as 0.136 m³ of biogas per kg of fresh waste.

Key words: biogas, swine culture, waste treatment.

INTRODUÇÃO

A crescente necessidade de preservação do ambiente e de bem-estar da população vem desafiando a comunidade científica no que se refere aos processos de tratamento de resíduos poluidores, bem como às possibilidades de utilização dos mesmos como fonte alternativa de energia. Dentro do contexto de implementação de técnicas voltadas à minimização de impactos ambientais e à racionalização do uso de energia, merece destaque a utilização de biodigestores no meio rural, os quais se relacionam aos aspectos de saneamento e energia, além de estimularem a reciclagem orgânica e de nutrientes Lucas Júnior e Silva (9).

No interior dos biodigestores em condições anaeróbicas, ou seja, sem a disponibilidade de oxigênio molecular livre, ocorre a degradação da matéria orgânica sob a ação de grupos distintos de microrganismos, caracterizando o processo biológico chamado de biodigestão anaeróbia. Isso significa que o processo compreende o estabelecimento de condições

adequadas à geração, crescimento e desenvolvimento de microrganismos em um substrato Curtis e Moffitt,(3, 12).

As vantagens oferecidas por este processo incluem a redução em quantidade de todo o material residual acumulado na fazenda, requerendo disposição final, transformação da matéria orgânica sem geração de poluentes do ar, produção de valiosos subprodutos – como o gás metano, que é fonte de energia – e de resíduo estável como fertilizante e condicionador do solo e, por fim, a não necessidade de energia para a movimentação mecânica (Burton, Merkel, Moffitt e Turner (1, 10, 12,).

Diversos tipos de resíduos podem ser utilizados para carregar os biodigestores, e vários autores enfatizam o potencial dos dejetos de suínos como substrato na biodigestão anaeróbia Chara, Itodo et al. (2, 7).

Konzen (8) afirmou que os dejetos de suínos possuem bom potencial energético na produção de biogás, visto que mais de 70% dos seus sólidos totais são constituídos de sólidos voláteis, componentes essenciais do substrato para o processo de biodigestão anaeróbia. O mesmo autor citou que 1m³ de esterco de suíno produz em torno de 50 m³ de biogás, ou seja, aproximadamente 0,051 m³ de biogás por kg de dejetos.

Nos sistemas atuais de criação de suínos, a maioria sob confinamento, a quantidade de águas residuárias produzidas é em torno de 5 a 10 litros por cabeça ao dia. A reciclagem deste material corresponde ao aproveitamento do seu potencial como fonte de energia, ao mesmo tempo em que permite minimizar os problemas ambientais Burton e Turner (1,).

De acordo com Lucas Júnior e Nascimento (9, 13), o potencial de produção pode ser expresso em m³ de biogás por dia, por kg de estrume “*in natura*” adicionado como parte do substrato, por kg de sólidos totais adicionados ou reduzidos, por kg de sólidos voláteis adicionados ou reduzidos, por m³ de substrato em fermentação ou por m³ de volume do biodigestor.

Magalhães (11) mencionou potencial de 0,0792 m³ de biogás por kg de dejetos ou 0,1782 m³ de biogás por animal em fase de terminação, por dia. De acordo com Ortolani et al. (14), pode ser considerada produção média de 43 a 100 litros de biogás para cada kg de dejetos de suíno.

Diversos fatores podem interferir na eficiência do processo de digestão da matéria orgânica. O aspecto fundamental é que o grupo de microrganismos encontre ambiente favorável ao seu desenvolvimento, sendo a temperatura um dos principais parâmetros dos quais as bactérias dependem, em especial as metanogênicas Tchobanoglous (15).

Hill (6) pesquisou, utilizando análise computacional, a cinética da biodigestão anaeróbia e concluiu, como fenômeno não esperado, que a produção líquida de metano foi mais evidenciada na faixa mesofílica do que na termofílica. O autor explicou a ocorrência pelo fato de que a temperatura muito alta produziu um tempo de retenção muito curto, dessa forma apenas o carbono de mais fácil digestão e presente no substrato foi transformado em metano.

Hashimoto (5) relatou não ter havido efeito significativo na produção de metano quando comparou a temperatura de 33 com a de 55°C. Tal conclusão sobre a temperatura requerida para a operação mesofílica do biodigestor justifica seu uso para produção de metano. Assim, um dos principais pré-requisitos para a produção ótima desse gás é a manutenção de limites estreitos da temperatura no biodigestor, ou seja, baixa amplitude.

Haridim (4) conduziu experimento para avaliar o efeito do aquecimento do substrato de dejetos de bovinos de leite, empregando temperaturas de 25, 35 e 40°C e concluiu que a produção volumétrica de metano foi maior à temperatura de 35°C.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o potencial de produção de biogás dos dejetos de suínos, bem como avaliar as condições de operação relativas à temperatura, tempo de retenção hidráulica e agitação do substrato para a maximização da produção.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, UNESP – Campus de Jaboticabal, SP. Foram estudadas as temperaturas (T) de 25, 35 e 40°C, sob efeito ou não de agitação (Ag), com tempos de retenção hidráulica (TRH) de 30, 25, 15 e 10 dias. Para o estudo foi projetado e construído, em escala reduzida (laboratorial), o sistema de biodigestão, no qual foram instalados o sistema de agitação do substrato, o sistema de controle da temperatura, o sistema de coleta e armazenamento do biogás e o sistema de obtenção dos dados. Foram construídas três baterias de biodigestores, cada uma com oito biodigestores de bancada, instalados dentro de caixas de fibrocimento de 500 L de capacidade, cuja

finalidade foi manter o volume de água necessário para permitir o aquecimento uniforme do substrato (270 L) (Figura 1). Em cada caixa foi instalada uma bomba d'água, que permitiu misturar a água aquecida, sendo avaliado, em cada uma dessas caixas, o efeito de uma temperatura (25, 35 e 40°C) sobre o processo de degradação da matéria orgânica e produção de biogás. O aquecimento da água foi feito por meio de resistências elétricas, e o controle da temperatura, por meio de termostatos. Cada biodigestor teve um gasômetro independente, dimensionado para armazenar 15 L de biogás e permitir a quantificação do biogás produzido, por meio de escala graduada afixada em sua parte externa. Cada biodigestor de bancada foi confeccionado com PVC e teve volume total de 14 L e volume útil de 10 L, uma única câmara de digestão com entrada do afluente localizada a 5 cm do fundo e saída do efluente a 10 cm abaixo do nível do substrato. O diâmetro interno foi de 20 cm, a altura total de 45 e a altura útil de 32 cm. As tubulações de carga e descarga foram de PVC, com diâmetro de 4 cm. Para carregar cada biodigestor com 10 L de afluente contendo 6% de sólidos totais utilizou-se esterco de suíno em fase de terminação, diluído em água. Os animais foram alimentados com ração balanceada, formulada à base de milho e farelo de soja.

Durante a fase de operação contínua, ou seja, de aplicação de cargas diárias, era medido diariamente o deslocamento do gasômetro para determinação do volume de biogás produzido em cada biodigestor. A análise da produção de biogás foi feita com base em dados de um período de 20 dias consecutivos para cada tempo de retenção hidráulica (TRH), cada temperatura (T) e cada nível de agitação (Ag). Foi observado que no início da aplicação das cargas diárias até a metade do período para cada TRH a produção era bastante inconstante, após o qual a mesma passava a ser relativamente constante, tendência verificada em todos os tratamentos. Isso justificou a tomada dos dados de 20 dias dentro desse período para a análise. Para a determinação do potencial de produção, em m^3 de biogás. kg^{-1} de dejetos, considerou-se a massa de dejetos que compôs o substrato, adicionada em cada biodigestor, referente a cada tempo de retenção hidráulica.

Foi feita a análise de variância, utilizando-se o delineamento experimental em blocos casualizados no esquema de parcelas sub-subdivididas, e cada tempo de retenção hidráulica constituiu uma parcela, cada temperatura uma subparcela e a agitação uma parcela subdividida.

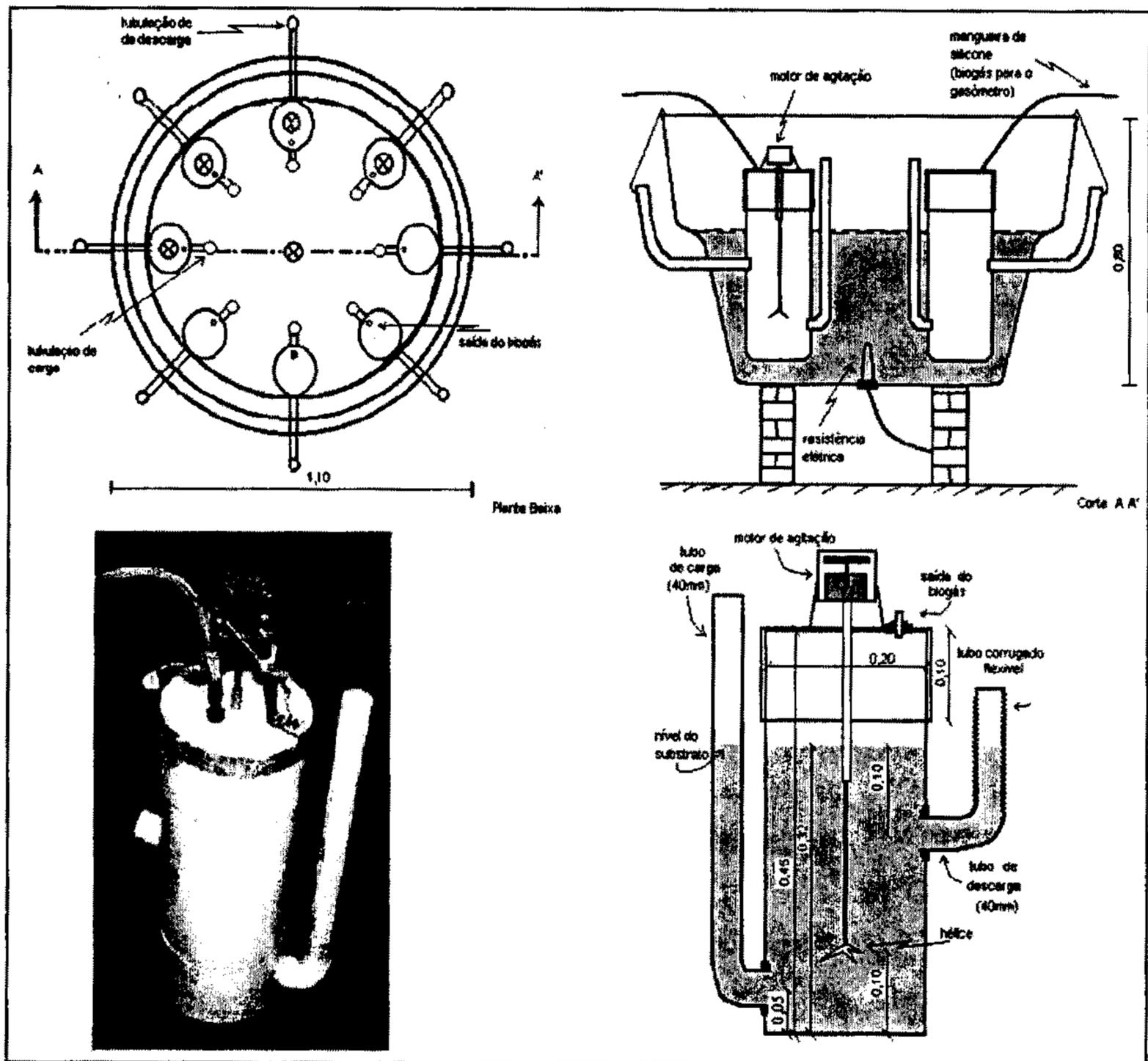


FIGURA 1 – Corte transversal das caixas de fibrocimento contendo os biodigestores utilizados no experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás por kg de dejetos (PB/kg) foi, em média, de $0,089 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$, com desvio-padrão de $0,035 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$. A análise foi feita com base nos dados do período de produção constante para cada TRH. O resumo da análise de variância apresentado no Quadro 1 indica que houve diferença significativa entre os tratamentos, compostos pela combinação de todos os níveis dos três fatores estudados, ou seja, tempo de retenção hidráulica (TRH), temperatura (T) e agitação (Ag), com relação à produção de biogás por kg de dejetos, em $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$.

QUADRO 1 – Resumo da análise de variância referente aos efeitos do TRH (em dias), da T (em °C) e da agitação Ag (com/sem) sobre a produção de biogás por kg de dejetos (PB/kg), em $m^3.kg^{-1}$, nos biodigestores testados		
Fontes de variação	Quadrados médios	
	GL	PB/kg
Blocos	19	0,0001 ^{NS}
TRH	3	0,0633**
Erro (a)	57	0,0001
T	2	0,1754**
T x TRH	6	0,0032**
Erro (b)	152	0,0001
Ag	1	0,0014**
Ag x TRH	3	0,0017**
Ag x T	2	0,0042**
Ag x TRH x T	6	0,0004**
Erro (c)	228	0,0001
C.V. Parcela		12,49%
C.V. Subparcela		7,61%
C.V.Subsubparcela		7,14%
* Significativo a 5% de probabilidade.		
** Significativo a 1% de probabilidade.		
NS: não significativo.		

Da análise dos resultados apresentados no Quadro 1, pode-se afirmar que os diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH), temperatura (T) e agitação (Ag) impostos ao substrato resultaram em diferentes níveis de produção de biogás por kg de dejetos. As interações duplas foram todas significativas, indicando que há interferência dos tempos de retenção hidráulica sobre as temperaturas, dos tempos de retenção hidráulica sobre os níveis de agitação e das temperaturas sobre os níveis de agitação na produção de biogás por kg de dejetos. A interação tripla significativa evidencia a interdependência entre os três fatores sobre a produção de biogás por kg de dejetos. No Quadro 2 estão apresentadas as produções médias de biogás por kg de dejetos.

Analisando-se o Quadro 2, observa-se que as maiores produções de biogás por kg de dejetos ocorreram nos TRHs de 30 e 25 dias, na temperatura de 40°C e nos biodigestores sem agitação do substrato.

Nos Quadros 3, 4 e 5 estão apresentadas as produções de biogás por kg de dejetos, considerando-se as interações entre os fatores.

QUADRO 2 – Produções médias de biogás por kg de dejetos, em $\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$, para os quatro tempos de retenção hidráulica (TRH), em dias, as três temperaturas (T), em $^{\circ}\text{C}$, e os dois níveis de agitação (Ag) estudados

TRH (dias)	PB/kg ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$)	T ($^{\circ}\text{C}$)	PB/kg ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$)	Ag	PB/kg ($\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$)
30	0,109 A	40	0,110 A	Sem	0,091 A
25	0,107 A	35	0,106 B	Com	0,087 B
15	0,077 B	25	0,051 C		
10	0,062 C				

Médias seguidas de mesma letra, em cada coluna, não diferem entre si, pelo Teste Tukey ($P>0,05$).

QUADRO 3 – Produções médias de biogás por kg de dejetos, em $\text{m}^3.\text{kg}^{-1}$, influenciadas pelos fatores TRH e T

TRH (dias)	T ($^{\circ}\text{C}$)		
	40	35	25
30	0,127 Bb	0,136 Aa	0,064 Ac
25	0,134 Aa	0,124 Bb	0,063 Ac
15	0,100 Ca	0,092 Cb	0,039 Bc
10	0,080 Da	0,070 Db	0,037 Bc

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, dentro de uma mesma coluna, e as seguidas das mesmas letras minúsculas, dentro de uma mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Por meio da análise dos resultados apresentados no Quadro 3, pode-se verificar que as maiores produções médias diárias de biogás por kg de dejetos ocorreram no TRH de 25 dias, na temperatura de 40°C , no TRH de 30 dias, na de 35°C , e no TRH de 30 dias, na de 25°C . Na temperatura de 35°C , no TRH de 30 dias, foi verificada a maior produção e na de 25°C , no TRH de 10 dias, a menor.

Por meio da análise dos resultados apresentados no Quadro 4, pode-se verificar que a maior produção média diária de biogás por kg de dejetos ocorreu no TRH de 30 dias, quando não se utilizou agitação do substrato, e a menor foi constatada no TRH de 10 dias, também não se utilizando a agitação do substrato.

QUADRO 4 - Produções médias de biogás por kg de dejetos, em $m^3.kg^{-1}$, influenciadas pelos fatores TRH e Ag

Ag	TRH (dias)			
	30	25	15	10
Sem	0,115 Aa	0,110 Ab	0,079 Ac	0,059 Bd
Com	0,104 Ba	0,104 Ba	0,076 Bb	0,066 Ac

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, dentro de uma mesma coluna, e as seguidas das mesmas letras minúsculas, dentro de uma mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

QUADRO 5 - Produções médias de biogás por kg de dejetos, em $m^3.kg^{-1}$, influenciadas pelos fatores T e Ag

Ag	T ($^{\circ}C$)		
	40	35	25
Sem	0,110 Ab	0,113 Aa	0,049 Bc
Com	0,111 Aa	0,098 Bb	0,053 Ac

Médias seguidas das mesmas letras maiúsculas, dentro de uma mesma coluna, e as seguidas das mesmas letras minúsculas, dentro de uma mesma linha, não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P>0,05$).

Por meio da análise dos resultados apresentados no Quadro 5, pode-se verificar que a maior produção média diária de biogás por kg de dejetos ocorreu na temperatura de $35^{\circ}C$, nos biodigestores sem agitação do substrato, e a menor foi constatada na temperatura de $25^{\circ}C$, também sem agitação do substrato. Nos biodigestores com agitação do substrato, a temperatura de $40^{\circ}C$ resultou em maior produção por kg de dejetos.

Semelhantemente ao que foi verificado na presente pesquisa, Nascimento e Lucas Júnior (9), trabalhando com biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos, em cinco tempos de retenção hidráulica, também encontraram idênticos, indicando maior eficiência no aproveitamento do resíduo no tempo de retenção hidráulica de 30 dias, no qual se registrou produção média de biogás de $0,1152 m^3.kg^{-1}$.

Considerando o exposto por Van Velsen et al. (16), Hashimoto (5) e Haroim (4), pode-se afirmar que, semelhantemente na faixa mesofílica de temperatura, considerada no presente trabalho, não houve diferença significativa no potencial de produção de biogás entre as temperaturas de 35 e $40^{\circ}C$.

CONCLUSÕES

1) O sistema de biodigestão anaeróbia, montado em escala laboratorial para estudo do efeito do tempo de retenção hidráulica e da temperatura e agitação do substrato, sobre a produção de biogás a partir de dejetos de suínos em fase de terminação, é eficiente, pois permite a o aquecimento do substrato a temperaturas mais altas e reduz com a utilização de taxas energéticas maiores, pode-se recomendar operação de biodigestores, carregados com dejetos de suínos, à temperatura de 35°C, sem agitação do substrato, com TRH de 30 dias. Na presente investigação, o maior potencial de produção de biogás por kg de dejetos (PB/kg) encontra-se (0,136 m³.kg⁻¹) nos biodigestores submetidos às condições mencionadas.

REFERÊNCIAS

1. BURTON, C.H. & TURNER, C. Manure management – Treatment strategies for sustainable agriculture. 2 ed. Silsoe Research Institute, Wrest Park, Silsoe, Bedford, 2003. 451 p.
2. CHARÁ, O.J.D. El potencial de las excretas porcinas para uso múltiple y los sistemas de descontaminación productiva. CIPAV, 2000, 11p. Disponível em: <<http://www.cipav.org.co/confr/chara1.htm>>. Acesso em: 29 mai. 2000.
3. CURTIS, S.E. Environmental management in animal agriculture. Ames: The Iowa State University Press, 1983. 409 p.
4. HARDOIM, P.C. Efeito da temperatura de operação e da agitação mecânica na eficiência da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos. 1999. 88 f. Tese (Doutorado em Zootecnia – Área de Concentração em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.
5. HASHIMOTO, A.G. Methane from swine manure: effect of temperature and influent substrate concentration on kinetic parameter (K). *Agricultural Wastes*, 9:299-308, 1984.
6. HILL, D.T. Optimum operational design criteria for anaerobic digestion of animal manure. *Transactions of the ASAE*, 25:1029-32, 1982.
7. ITODO, I.N.; AWULU, J.O. & PHILIP, T. A comparative analysis of biogas yield from poultry, cattle and piggery wastes. In: *Livestock Environment*, 4., International Symposium, 6., 2001, Louisville, Kentuck. *Proceedings...* p. 402-5.
8. KONZEN, E.A. Manejo e utilização de dejetos de suínos. Concórdia, SC: EMBRAPA-CNPSA, 1983. 32 p (Circular Técnica, 6).
9. LUCAS JÚNIOR, J. & SILVA, F.M. Aproveitamento de resíduos agrícolas para a geração de energia. Simpósio - Energia, Automação e Instrumentação. In: *Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola*, 27, 1998, Poços de Caldas. *Anais...*, Lavras: SBEA/UFLA, 1998. p.63-7.
10. MERKEL, J.A. Managing livestock wastes. Connecticut: AVI Publishing, 1981. 419 p.
11. LUCAS JÚNIOR, J. Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios. 1994. 137 f. Tese (Livre-

- Docência) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.
12. MAGALHÃES, A.P.T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, 1986. 120p.
 13. MERKEL, J.A. Managing livestock wastes. Connecticut: AVI Publishing, 1981. 419 p.
 14. MOFFITT, D. Waste management and recycling of organic matter. In: CIGR Handbook of agricultural engineering. Animal Production and Aquacultural Engineering. St Joseph. MI. USA: ASAE, 2:163-96, 1999.
 15. NASCIMENTO, E. F. & LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia do estrume de suínos: produção de biogás e redução de sólidos em cinco tempos de retenção hidráulica. Energia na Agricultura, 10(4):21-31, 1995.
 16. ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M. & LUCAS JÚNIOR., J. Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35p. (Boletim Técnico).
 17. TCHOBANOGLIOUS, G. Wastewater engineering: treatment disposal reuse. 2. ed. Davis- California: McGraw-Hill Book Company, 1979. 920p.
 18. VAN VELSEN, A.F.M.; LETTINGA, G. & DEN OTTELANDER, D. Anaerobic digestion of piggery waste. 3. Influence of temperature. Netherlands Journal of Agricultural Science, 27:225-67, 1979.