

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS SOB EFEITO DE TRÊS TEMPERATURAS E DOIS NÍVEIS DE AGITAÇÃO DO SUBSTRATO - CONSIDERAÇÕES SOBRE A PARTIDA¹

CECÍLIA F. SOUZA², JORGE DE LUCAS JÚNIOR³, WILLIAMS P. M. FERREIRA⁴

RESUMO: Neste trabalho, avaliou-se a biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos. Para isso, foi utilizado esquema laboratorial, constituído de 24 digestores com volume total de 14 L, sendo cada um abastecido com dejetos de suínos em fase de terminação, diluídos em água, perfazendo 10 L de volume útil de substrato com concentração inicial de sólidos totais de 6%. Três grupos formados por oito desses biodigestores foram expostos a três temperaturas (25; 35 e 40 °C) e a dois níveis de agitação (com e sem) do substrato. A análise da fase de partida foi feita com base na produção média acumulada de biogás, num período de 71 dias. Os resultados demonstraram que a agitação não interferiu e que o melhor desempenho, inclusive o menor tempo gasto para atingir determinado nível de produção de biogás, foi verificado na temperatura de 35 °C.

PALAVRAS-CHAVE: biodigestor, suinocultura, etapa de partida.

ANAEROBIC DIGESTION OF SWINE WASTES UNDER EFFECT OF THREE TEMPERATURES AND TWO SUBSTRATUM AGITATION LEVELS - CONSIDERATIONS ABOUT THE DEPARTURE PHASE

ABSTRACT: In this work was evaluated the anaerobic digestion of swine wastes. For that, a laboratory scheme was used, consisting of 24 digesters whose total volume was 14 L, being each one supplied with ending swine wastes, diluted in water, resulting on 10 L of net volume of substratum, with initial total solids concentration of 6%. Three groups formed by eight of these biodigesters were exposed to three temperatures (25; 35 and 40 °C) and to two substratum agitation levels (with and without). The departure phase analysis was based in the average accumulated biogas yield along the period of 71 days. Results showed that agitation didn't contribute and that the best performance, including the minor time requested to obtain a specific biogas yield level, was verified in the temperature of 35 °C.

KEYWORDS: digester, piggery, departure phase.

¹ Extraído da tese de doutorado do primeiro.

² Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, DEA/UFV, Fone: (0XX31) 3899.1887, cfsouza@ufv.br

³ Prof. Adjunto, Departamento de Engenharia Rural, UNESP - Câmpus de Jaboticabal - SP, Fone: (0XX16) 3209.2637 jlucas@fcav.unesp.br

⁴ Doutor em Engenharia Agrícola, Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa, DEA/UFV, Fone: (0XX31) 3899.2729, salva_terra@yahoo.com.br

Recebido pelo Conselho Editorial em: 22-4-2002

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 7-6-2005

INTRODUÇÃO

A problemática ambiental da suinocultura está no fato de que, a partir do momento em que se optou por explorações em regime de confinamento, o total de dejetos gerados, anteriormente distribuído na área destinada à exploração extensiva, ficou restrito a pequenas áreas. Além disso, houve aumento crescente da demanda por produtos de origem animal e aumento do emprego de tecnologia moderna (mecanização de operações, melhor alimentação do rebanho, controle mais eficiente de doenças, etc.), o que resultou em aumento do efetivo do rebanho, acompanhado por índices elevadíssimos de produtividade (SILVA, 1973; KONZEN, 1983; OLIVEIRA, 1993).

Com esse aumento crescente da população de suínos no Brasil, que hoje chega a contar com 36,5 milhões de animais alojados, com a perspectiva de crescimento para os próximos anos e com a implantação de novos projetos no setor suinícola, torna-se necessária a adoção de métodos e técnicas para manejar, estocar, tratar, utilizar e dispor dos resíduos, dentro do sistema de produção, com o objetivo da manutenção da qualidade ambiental, reutilização dos resíduos em outros sistemas agrícolas e maior rentabilidade na produção. Segundo LUCAS JÚNIOR (1998), até a década de 1970, os resíduos da suinocultura não constituíam problema grave, pois o número de animais era bem menor e o destino dos dejetos era o solo, com a finalidade de adubação orgânica. No entanto, o aumento da produção e o manejo inadequado dos dejetos tornaram-se problemas ambientais significativos.

Considerando-se a disposição desse material em solo, SILVA (1973) afirmou que o esterco de suíno funciona apenas como condicionador do solo, pois, na verdade, tem baixas concentrações de N, P e K, comparadas às dos adubos químicos. Além disso, a operação de aplicação direta no solo é extremamente complicada e se não há finalidade fertilizante, há que se considerar a ocupação de áreas para acúmulo e, por fim, o aspecto visual bastante desagradável. LOURES (1995) comentou, ainda, sobre a salinização e deposição dos metais pesados presentes na composição, provenientes de dietas com excedentes de Cu ou Zn, por exemplo, como efeitos da disposição de dejetos de suínos em solos.

O lançamento direto em cursos d'água, feito sem controle por longos anos, passou a ser considerado ameaça para o meio ambiente como um todo e para a qualidade de vida da humanidade, tendo como principais conseqüências a mortalidade acentuada dos peixes e a eutrofização. Do ponto de vista ecológico, o termo "eutrofização" designa o processo de degradação que sofrem os lagos e outros corpos d'água quando excessivamente enriquecidos de nutrientes, principalmente nitrogênio e fósforo, que limitam a atividade biológica (BRANCO, 1971).

O aumento dos nutrientes pode ser ocasionado por drenagem pluvial, componentes de esgotos domésticos e industriais, o que pode ser minimizado pelo controle da drenagem pluvial, construção de canais de desvio de efluentes e tratamento dos efluentes (SPERLING, 1996).

De acordo com a legislação vigente, o lançamento dos resíduos em cursos d'água somente pode ser feito após o tratamento dos mesmos, o que consiste na compatibilização da composição final ou remoção dos poluentes, de forma que tal procedimento não resulte em problemas ambientais tão acentuados (ITABORAHY, 1999).

MERKEL (1981) e VOERMANS et al.(1994) ainda fizeram referência à questão dos odores indesejáveis provenientes das instalações de criação de suínos, devido à grande quantidade de dejetos acumulados. A emissão de amônia é a principal responsável, além do que, a mesma contribui para a acidificação do solo, sendo tóxica para os organismos clorofilados.

A biodigestão anaeróbia representa importante papel, pois além de permitir a redução significativa do potencial poluidor, trata-se de um processo no qual não há geração de calor e a volatilização dos gases, considerando-se pH próximo da neutralidade, é mínima, além de se considerar a recuperação da energia na forma de biogás e a reciclagem do efluente (FISHER et al., 1979; LUCAS JÚNIOR, 1998).

O biogás, formado principalmente por metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2), gás amônia (NH_3), sulfeto de hidrogênio (H_2S) e nitrogênio (N_2), obtido a partir do esterco, tem sido usado com frequência, principalmente na Europa, em substituição ao gás natural que tem se tornado de difícil obtenção. A execução do projeto das estruturas necessárias para produzir energia do esterco, os biodigestores anaeróbios, é de custo elevado, mas a durabilidade e eficiência das mesmas tornam o empreendimento econômico. A Índia tem atualmente mais de 10.000 biodigestores em operação. Dentro dessas estruturas, bactérias fermentam a matéria orgânica sob condições estritamente anaeróbias, isto é, sem a presença de oxigênio, e produzem o gás. Considerando-se o uso do esterco como fertilizante, na alimentação de animais e como fonte de energia, o esterco constituindo um problema ambiental e ainda que recursos como o petróleo e o gás natural se tornem cada vez mais escassos, a alternativa da biodigestão anaeróbia dos dejetos representa uma opção significativa (ENSMINGER, 1992; LUCAS JÚNIOR, 1994).

Alguns autores se referem ao emprego da agitação da biomassa como interferente no processo de digestão e, conseqüentemente, na produção de biogás, tendo como finalidades manter a temperatura uniforme no substrato e evitar a formação de crostas, podendo ser feita por meio de agitadores mecânicos ou de recirculação do efluente ou do biogás (SILVA, 1983; LUCAS JÚNIOR et al., 1987).

Ainda há muito o que ser feito, mas o desenvolvimento do conhecimento sobre a digestão anaeróbia é um dos mais promissores no campo da biotecnologia, uma vez que é fundamental para promover, com grande eficiência, a degradação dos resíduos orgânicos que são gerados em grandes quantidades nas modernas atividades rurais e industriais. À medida que os sistemas de produção animal se intensificam e se modernizam, também se intensificam as necessidades energéticas e de tratamento dos resíduos (LUCAS JÚNIOR, 1987).

Com base no exposto, considerando que a interferência em determinados parâmetros pode resultar em aumento da produção de biogás, o presente trabalho teve como objetivos avaliar o desempenho e o comportamento na partida de biodigestores de bancada, alimentados com dejetos de suínos, com concentração de sólidos totais de 6% e submetidos a três temperaturas (25; 35 e 40 °C) e à agitação do substrato.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, UNESP - Câmpus de Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são: latitude 21°15'22" S, longitude 48°18'58" W e altitude de 575 m.

A região possui clima subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação média anual de 1.300 mm e temperatura média anual de 21,5 °C, ou seja, identificado como Cwa, segundo a classificação pelo Método de Köppen.

Montagem do sistema de obtenção dos dados

Foram construídas três baterias de biodigestores de bancada (Figura 1), cada uma para estudar o efeito de uma temperatura. Cada bateria possuía oito biodigestores de bancada com capacidade total de 14 L, instalados dentro de caixas de fibrocimento de 500 L de capacidade, isoladas termicamente por meio de envoltório de 3 cm de poliestireno (isopor), contendo 270 L de água aquecidos às temperaturas estipuladas: T1 = 40 °C; T2 = 35 °C e T3 = 25 °C (Figura 2). Em cada caixa, foi instalado um sistema de aquecimento por meio de resistências elétricas de 5.000; 3.000 e 1.000 W, e um controle termostático (termostatos de 20 A) de temperatura. A homogeneização foi garantida pela utilização de bomba d'água de 150 W em cada caixa, o que permitia acionar a movimentação da água sempre que o termostato fazia disparar o sistema de aquecimento.

Em cada bateria, quatro biodigestores possuíam sistema de agitação mecânica independente, para permitir avaliar a eficiência da agitação do substrato (A_1), o qual era acionado duas vezes durante o dia, aplicando-se oito agitações intermitentes, durante oito segundos, todos os dias, ao longo do período experimental. Quatro biodigestores de cada bateria não possuíam agitação (A_0).

Cada biodigestor teve um gasômetro independente, com capacidade de 15 L de volume útil, construído com a finalidade de armazenar e possibilitar a quantificação do biogás produzido. Todos os 24 gasômetros ficaram imersos em uma caixa de fibrocimento de 1.000 L de capacidade, contendo água e uma lâmina de 5 mm de óleo para manter a estanqueidade do sistema, ou seja, evitar perdas do biogás produzido ou mesmo a absorção do CO_2 produzido (Figura 2).

Biodigestores e respectivos gasômetros foram codificados para facilitar a coleta de dados.



FIGURA 1. Biodigestor de bancada, com 14 L de capacidade, usado no experimento.

Operação dos biodigestores

Para carregar cada biodigestor com volume útil de 10 L de afluente, contendo 6% de sólidos totais (0,6 kg de matéria seca), utilizou-se de 85% de esterco fresco de suíno adulto, fase de terminação, cujo teor de ST, previamente determinado, foi de 18,94% e 15% de inóculo de biofertilizante de estrume de bovino, produzido em biodigestor da área experimental de biodigestão do Departamento de Engenharia Rural, UNESP - Câmpus de Jaboticabal, cujo teor de ST, previamente determinado, foi de 4,78%. Tais valores permitiram calcular as quantidades de 2,8 kg de esterco, 1,96 kg de inóculo e 6,25 kg de água para cada biodigestor. O carregamento foi feito no dia 7-6-2000, marcando o início da fase de partida.

Os termostatos de cada caixa foram ajustados para acionar o sistema de agitação e aquecimento da água simultaneamente, para temperaturas menores que 40 °C na primeira caixa, para menores que 35 °C na segunda caixa e para 25 °C na terceira caixa. Ao final do abastecimento inicial, realizou-se a agitação do substrato e todos os gasômetros foram zerados.

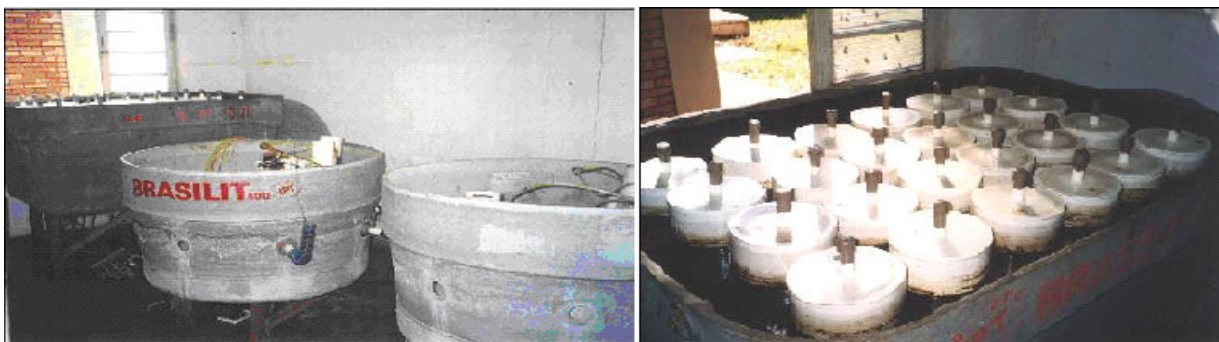


FIGURA 2. Caixas de fibrocimento contendo os biodigestores de bancada e os gasômetros.

Fase de partida

Durante a fase de partida, os biodigestores funcionaram de maneira intermitente (batelada). Diariamente, era medido o deslocamento do gasômetro para a determinação do volume de biogás produzido em cada biodigestor. Também, no mesmo momento, era medida a temperatura do ar e, posteriormente, era efetuada a correção no volume de biogás para 1 atm. e 20 °C, de acordo com metodologia empregada por CAETANO (1985) e HARDOIM (1999).

Definiu-se como momento ideal para fim da fase de partida, a produção acumulada de biogás superior a 70% do potencial do esterco. Tomando-se como base que o potencial de biogás do esterco suíno, indicado por LUCAS JÚNIOR (1994), é igual a aproximadamente 70 L de biogás por kg de esterco fresco e considerando que cada biodigestor recebeu carga de 2,8 kg de esterco fresco, foi determinado que cada biodigestor teria um potencial previsto de produção de 196 L e que o fim da fase de partida deveria ocorrer quando os biodigestores atingissem a produção acumulada de 137 L de biogás.

A fase de partida durou 71 dias (de 8-6 a 17-8), durante a qual alguns biodigestores conseguiram a produção média acumulada esperada de 137 L de biogás, num período próximo de 55 dias. Porém, já no 71º dia, alguns biodigestores mantinham a produção acumulada muito baixa. Assim, optou-se por encerrar a fase de partida e determinar a mínima produção média acumulada nos 71 dias, bem como analisar os tempos gastos pelos biodigestores para atingir essa produção.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios da produção acumulada de biogás, durante os 71 dias da fase de partida, para cada temperatura estudada, com (c/Ag) e sem agitação (s/Ag) do substrato, estão apresentados na Tabela 1.

TABELA 1. Valores médios da produção acumulada de biogás, durante os 71 dias da fase de partida, para cada temperatura estudada, com e sem agitação.

Temperatura (°C)	Produção Acumulada (L)		
	Sem agitação (s/Ag)	Com agitação (c/Ag)	Média
40	118,82	108,65	113,74
35	147,37	83,61	115,49
25	27,14	16,90	22,02
Média	97,78	69,72	83,75

Como pode ser observado na Tabela 1, a produção média acumulada mínima durante os 71 dias foi de 16,90 litros, observada nos biodigestores submetidos à temperatura de 25 °C, com agitação.

Com os dados de produção acumulada de cada biodigestor, verificou-se o número de dias gastos por cada biodigestor para atingir a produção média acumulada mínima de biogás. Na Tabela 2, estão apresentados os resultados dessa contagem.

A partir dos dados apresentados na Tabela 2, foi feita a análise de variância, considerando-se esquema de parcelas subdivididas, com as três temperaturas nas parcelas e a agitação na subparcela.

Na Tabela 3, são apresentados os resultados da análise de variância e, na Tabela 4, o resultado do teste de Tukey das médias dos dias gastos pelos biodigestores.

TABELA 2. Tempo necessário, em dias, para que cada biodigestor atingisse a produção média acumulada mínima de biogás, em cada tratamento.

Repetições	Tratamentos					
	40 °C s/Ag	40 °C c/Ag	35 °C s/Ag	35 °C c/Ag	25 °C s/Ag	25 °C c/Ag
1	19	39	22	26	68	32
2	7	57	27	12	68	69
3	5	6	25	68	71	71
4	34	7	20	25	65	71
Média	16,25	27,25	23,50	32,75	68,00	60,75
Desvio-Padrão	13,35	25,06	3,11	24,35	2,45	19,19

Os tratamentos se referem às três temperaturas estudadas (40; 35 e 25 °C), com ou sem agitação do substrato (c/Ag ou s/Ag)

TABELA 3. Análise de variância do tempo necessário para que cada biodigestor atingisse a produção média acumulada mínima de biogás, durante os 71 dias da fase de partida, em função da temperatura (T) e da agitação (Ag) do substrato.

Causas de Variação	GL	QM
Temperatura (T)	2	4.228,79**
Resíduo a	9	258,81
(Parcelas)	(11)	-
Agitação (Ag)	1	112,66 ^{NS}
T x Ag	2	202,79 ^{NS}
Resíduo b	9	335,64
Total	23	

NS - não significativo; ** - significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 4. Médias dos tempos, em dias, necessários para que cada biodigestor atingisse a produção média acumulada mínima de biogás, durante os 71 dias da fase de partida.

Temperatura	Média	Agitação	Média
40	21,75 B	s/Ag	35,92 A
35	28,13 B	c/Ag	40,25 A
25	64,38 A		

C.V. (%) = 17,65

Em cada coluna, médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey (P > 0,05).

C.V. - coeficiente de variação.

Observa-se, na Tabela 3, que a temperatura teve efeito significativo ($P < 0,01$) sobre o tempo necessário para que cada biodigestor atingisse a produção média acumulada mínima de biogás, durante os 71 dias da fase de partida, mas o efeito da agitação e da interação “T x Ag” foi não-significativo.

Observa-se, na Tabela 4, que as temperaturas de 40 e 35 °C não diferiram entre si, resultando em menor tempo necessário para atingir a produção média acumulada mínima de biogás. O tempo para atingir a mesma produção foi significativamente maior à temperatura de 25 °C. A agitação do substrato não resultou em diferença significativa nesse tempo.

Com relação à produção média acumulada (PA) pelos biodigestores, ao longo dos 71 dias da fase de partida, a equação que apresentou melhor ajuste ($R^2 = 0,9832$), considerando-se as temperaturas de 35 e 40 °C, que resultaram em tempos gastos estatisticamente iguais, para atingir determinada produção acumulada de biogás, foi :

$$\hat{PA} = 0,0101 t^2 + 0,9793 t + 0,9322 \quad (1)$$

em que,

\hat{PA} - estimativa da produção média acumulada de biogás, em L, para temperaturas entre 35 e 40 °C, e

t - tempo gasto para atingir a produção média acumulada, dias.

As produções médias acumuladas de biogás, observadas e estimadas por meio da eq.(1), ou seja, sob as temperaturas de 35 e 40 °C, ao longo dos 71 dias da fase de partida, estão representadas graficamente na Figura 3, e as produções médias acumuladas de biogás, observadas e estimadas por meio da eq.(2), ou seja, sob a temperatura de 25 °C, ao longo dos 71 dias da fase de partida, estão representadas graficamente na Figura 4.

A eq.(2) foi a que apresentou melhor ajuste ($R^2 = 0,9861$), considerando-se a temperatura de 25 °C, que resultou em maior tempo necessário para atingir a produção média de biogás acumulada.

$$\hat{P\hat{A}} = 0,0002 t^3 - 0,0238 t^2 + 0,8366 t + 0,9628 \quad (2)$$

em que,

$\hat{P\hat{A}}$ - estimativa da produção média acumulada de biogás (L), à temperatura de 25 °C, e

t - tempo gasto para atingir a produção média acumulada, em dias.

A partir dos dados que geraram os valores médios de produção acumulada de biogás, em litros, durante os 71 dias da fase de partida, apresentados na Tabela 1, e considerando-se as quatro repetições de cada tratamento, foi feita a análise de variância da produção acumulada de biogás, em função da temperatura e da agitação. Para isso, foi considerado o esquema de parcelas subdivididas, com as três temperaturas nas parcelas e a agitação na subparcela. Na Tabela 5, são apresentados os resultados da análise de variância e, na Tabela 6, o resultado do teste de Tukey das médias.

Observa-se, na Tabela 5, que a temperatura teve efeito significativo ($P < 0,01$) sobre a produção acumulada de biogás na fase de partida, mas o efeito da agitação e da interação “T x Ag” foi não-significativo ($P > 0,05$).

Observa-se, na Tabela 6, que as temperaturas de 40 e 35 °C não diferiram entre si, resultando em maior produção acumulada de biogás. A produção foi significativamente menor à temperatura de 25 °C.

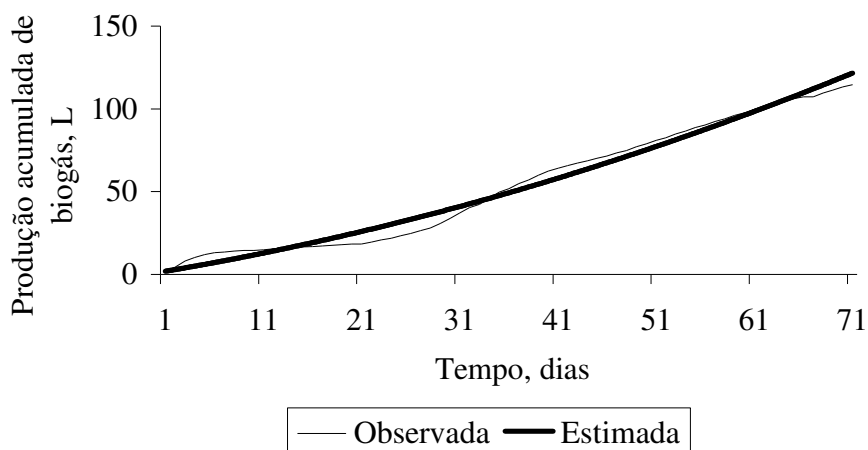


FIGURA 3. Produções médias acumuladas, observadas e estimadas, ao longo dos 71 dias da fase de partida, sob temperaturas do substrato entre 35 e 40 °C.

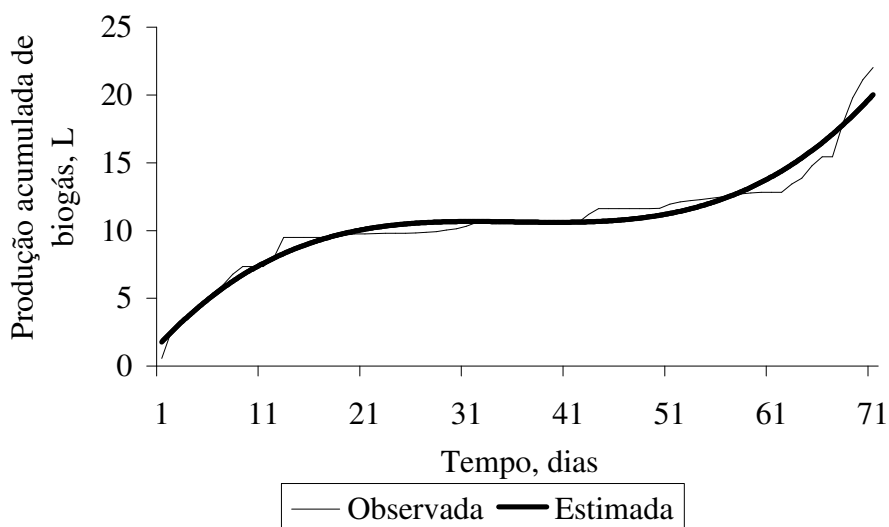


FIGURA 4. Produções médias acumuladas de biogás, observadas e estimadas, ao longo dos 71 dias da fase de partida, sob temperatura do substrato de 25 °C.

TABELA 5. Análise de variância da produção acumulada de biogás durante os 71 dias da fase de partida, em função da temperatura (T) e da agitação (Ag) do substrato.

Causas de Variação	GL	QM
Temperatura (T)	2	22.866,50**
Resíduo a (Parcelas)	9 (11)	1.243,04
Agitação (Ag)	1	4.721,46 ^{NS}
T x Ag	2	1.911,70 ^{NS}
Resíduo b	9	1.019,02
Total	23	

NS - não significativo; ** - significativo a 1% de probabilidade.

TABELA 6. Médias de produção acumulada de biogás, em litros, durante os 71 dias da fase de partida, em função da temperatura e da agitação.

Temperatura	Média	Agitação	Média
40	113,74 A	s/Ag	97,80 A
35	115,48 A	c/Ag	69,73 A
25	22,03 B		
C.V. (%) = 17,65			

Em cada coluna, as médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P > 0,05$).
C.V. - coeficiente de variação.

O melhor desempenho geral foi observado nos biodigestores submetidos às temperaturas de 35 e 40 °C. Isso, provavelmente, deveu-se ao fato de que essa faixa de temperatura no substrato favoreceu maior atividade das bactérias metanogênicas. Tal evidência está de acordo com o que menciona CHERNICHARO (1997), ou seja, na faixa mesófila, temperaturas principalmente entre 30 e 35 °C resultam em crescimento microbiano ótimo, o que vem a otimizar a formação do metano.

A aplicação da agitação não causou diferença significativa na produção acumulada de biogás. O efeito negativo da agitação pode ter sido devido ao excesso na rotação, o que exige mais estudo para a definição da quantidade adequada (rotações por minuto) aplicada ao substrato. Outros autores, como ORTOLANI et al. (1991), fizeram referência ao efeito negativo da agitação em excesso no substrato.

O coeficiente de variação encontrado (17,65%) indicou que o experimento foi relativamente bem conduzido.

CONCLUSÕES

As temperaturas de 35 e 40 °C favoreceram a partida dos biodigestores, pois resultaram em maior produção acumulada de biogás (115,48 e 113,74 L, respectivamente), em menor tempo (28,13 e 21,75 dias, respectivamente), quando comparadas com a de 25 °C, na qual a produção foi de 22,03 L, em 64,38 dias. A agitação do substrato, da forma como aplicada, não foi significativa.

Considerando-se que não houve diferença entre as temperaturas de 35 e 40 °C e que o custo de montagem do sistema para a temperatura de 40 °C é bem mais alto, a temperatura ideal para a partida dos biodigestores operados em batelada e alimentados com dejetos de suínos, com teor médio de sólidos totais de 6% é de 35 °C.

REFERÊNCIAS

- BRANCO, S.M. *Hidrobiologia aplicada à engenharia sanitária*. São Paulo: CETESB, 1971. 214 p.
- CAETANO, L. *Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás*. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- CHERNICHARO, C.A.L. *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: reatores anaeróbios*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997. v.5, p.246.
- ENSMINGER, M.E. *Poultry science*. 3th ed. Danville: Interstate Publishers, 1992. 469 p.
- FISCHER, J.R.; IANNOTTI, E.L.; PORTER, J.H.; GARCIA, A. Producing methane gas from swine manure in a pilot-size digester. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, v.22, n.2, p.370-4, 1979.

- 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 Produção Animal) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1999.
- ITABORAHY, C.R. *Desempenho de sistemas estático e dinâmico com aguapé (Eichhornia crassipes) no tratamento de águas residuárias da suinocultura*. 1999. 65 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa - MG, 1999.
- KONZEN, E.A. *Manejo e utilização de dejetos de suínos*. Concórdia: EMBRAPA-CNPSA, 1983. 32 p. (Circular Técnica, 6)
- LOURES, E.G. Técnicas de tratamento de dejetos de suínos. In: SEMINÁRIO MINEIRO SOBRE MANEJO E UTILIZAÇÃO DE DEJETOS DE SUÍNOS, 2., 1995, Ponte Nova. *Resumos...* Ponte Nova: EPAMIG/EMATER/UFV/ASSUVAP, 1995. p.32-44.
- 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.
- LUCAS JÚNIOR, J. Aproveitamento energético de resíduos da suinocultura. In: ENERGIA, Automação e Instrumentação. Lavras: UFLA/SBEA, 1998. p.81-7.
- LUCAS JÚNIOR, J.; SILVA, F.M. Aproveitamento de resíduos agrícolas para a geração de energia. In: ENERGIA, Automação e Instrumentação. Lavras: SBEA/UFLA, 1998. p.63-7.
- LUCAS JÚNIOR, J.; GALBIATTI, J.A.; ORTOLANI, A.F. Produção de biogás a partir de estrume de ruminantes e monogástricos com e sem inóculo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 16., 1987, Jundiaí. *Resumos...* Jundiaí: DEA/IA/SBEA, 1987. p.65.
- MAGALHÃES, A.P.T. *Biogás: um projeto de saneamento urbano*. São Paulo: Nobel, 1986. 120 p.
- MERKEL, J.A. *Managing livestock wastes*. Connecticut: AVI Publishing, 1981. 419 p.
- OLIVEIRA, P.A.V. *Manual de manejo e utilização dos dejetos de suínos*. Concórdia: EMBRAPA/CNPSA, 1993. 188 p. (Documento, 27)
- ORTOLANI, A.F.; BENINCASA, M.; LUCAS JÚNIOR., J. *Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada*. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35 p. (Boletim Técnico).
- SILVA, N.A. *Manual de biodigestor: modelo chinês*. 2.ed. Brasília: EMATER, 1983. 90 p. (Manual, 26).
- SILVA, P.R. Estudo das características dos resíduos das instalações de confinamento de suínos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA, 7., 1973, Salvador. *Anais...* Salvador: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 1973. p.1-18.
- SPERLING, M. Von. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2.ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Universidade Federal de Minas Gerais, 1996. 243 p.
- VOERMANS, J.A.M.; VERDOES, N.; HARTOG, L.A. Environmental impacts of pig farming. *Pig News and Information*, Farnham Royal, v.15, n.2, p.51n-54n, 1994.