

ENERGIA NA AGRICULTURA

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO DESEMPENHO DE BIODIGESTORES COM ESTERCO BOVINO

Larissa Rodrigues de Castro¹ e Luís Augusto Barbosa Cortez²

RESUMO

A presente pesquisa trata do estudo de biodigestores de batelada mantidos a diferentes temperaturas, visando analisar os níveis mais favoráveis à produção de biogás e à degradação de sólidos totais e voláteis de esterco bovino. A temperatura mais adequada obtida em laboratório (31°C) foi aplicada em um biodigestor rural modelo indiano, com 10m³ de capacidade, a fim de se verificar seu desempenho.

Palavras-chave: biodigestão, biogás, degradação

EFFECT OF TEMPERATURE ON THE PERFORMANCE OF BIODIGESTERS WITH COW MANURE

ABSTRACT

The current research focus on the study of batch biodigesters, maintained at different temperatures, to analyse the most adequate levels for biogas production, total and volatile solids degradation of cow manure. The most adequate temperature obtained in laboratory (31°C) was applied to a indian rural biodigester with 10 m³ capacity in order to verify its performance.

Key words: biodigestion, biogas, degradation

INTRODUÇÃO

Apesar da crescente modernização da atividade agropecuária brasileira, os níveis de poluição, a má utilização de reservas naturais e os custos energéticos também vêm aumentando no país. Cada vez mais fertilizantes são importados e aumenta a degradação de recursos e solos brasileiros.

Pode-se perceber, também, um crescimento do desejo de criação de uma sociedade rural auto-suficiente que produza praticamente tudo que se requer para cobrir as necessidades materiais, sobrando excedentes suficientes para serem vendidos ou trocados por recursos essenciais que faltam ao sistema ou que devam vir de fora.

Com o objetivo de se racionalizar o uso de energia e dos recursos naturais, protegendo o meio ambiente e desenvolvendo a produção, o emprego da biodigestão no meio rural vem sendo estudado por exercer papel de sistema ecologicamente sustentável, que recicla a matéria e a energia, reproduzindo o ciclo repetidamente, de forma a otimizar os recursos.

A biodigestão anaeróbia consiste na fermentação com ausência de oxigênio de dejetos animais, plantas e lixo (doméstico e urbano) através de bactérias anaeróbias que sintetizam a matéria orgânica transformando-a em metano e dióxido de carbono, principais componentes do biogás.

A realização e a eficiência da biodigestão dependem de condições específicas de operação, como temperatura e pH do

¹ Mestranda em Engenharia Agrícola, UNICAMP, Rua José Paulino 1800/84 Centro, Campinas, SP, CEP 13013-002; E-mail: larissa@aquarium.com.br; Tel./fax (019) 233-2041

² Professor Livre Docente da Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP; Cidade Universitária "Zeferino Vaz", Campinas, SP CEP 13083-970; Tel. (019) 788-1033; E-mail: cortez@agr.unicamp.br

meio, tipo de substrato usado no processo, concentração de sólidos e período de retenção da biomassa no biodigestor, dentre outros.

Com relação ao pH, Fulford (1988) cita que o nível ideal é entre 6 e 8. No início do processo, a formação de ácido orgânico pode reduzir o pH para menos que 7. Então, as bactérias metanogênicas começam a transformar ácidos em produtos gasosos e o pH retorna a um nível próximo do neutro. Em condições de alta acidez, recomenda-se a adição de modificadores de pH para aumentar a produção de metano.

Quanto à temperatura, o processo pode ocorrer numa faixa de 10°C a 60°C, de acordo com o tipo de bactéria: bactérias criofílicas, que atuam a temperaturas inferiores a 20°C, bactérias mesofílicas, a temperaturas entre 30 e 40°C e bactérias termofílicas, entre 45 e 60°C.

Conforme Gautz & Liu (1996) quando há acréscimos na temperatura as reações biológicas se processam muito mais rapidamente, resultando em uma operação mais eficiente e tempo de retenção menor. Dois níveis de temperatura ótimos para a digestão anaeróbia foram estabelecidos. Para a mesofílica, a faixa de temperatura situa-se entre 30 a 37°C e, para a faixa termofílica, a temperatura ideal é de cerca de 50°C.

Segundo Craveiro (1982) a necessidade de controle de temperatura e alto custo de energia para manutenção da temperatura limitam o processo termofílico, porém a alta temperatura requerida para a biodigestão termofílica não é considerada desvantagem no caso dos resíduos orgânicos rejeitados a altas temperaturas, como a vinhaça que sai da destilaria de álcool a aproximadamente 80°C; neste caso, é viável o processo da biodigestão na fase termofílica. Assim, poder-se-ia dispensar o aquecimento da biomassa e, usando-se isolamento térmico adequado, minimizar a energia necessária para manter a temperatura do processo.

A importância da biodigestão anaeróbia está na redução da poluição causada pelos resíduos animais e vegetais, eliminação das ervas daninhas e de bactérias causadoras de doenças, no aproveitamento do efluente do biodigestor como biofertilizante estabilizado e conseqüente diminuição dos custos com fertilizantes, eliminação de maus odores e moscas das tradicionais esterqueiras e produção de biogás, com diversas aplicações na produção agropecuária.

Dentre os fatores que mais dificultam hoje, no Brasil, a difusão da obtenção dessa forma de energia em propriedades rurais, o custo com a construção dos biodigestores é o principal; assim, para viabilizar a biodigestão como tecnologia para o saneamento e fonte alternativa energética, é necessária a otimização do processo, acelerando-o e diminuindo o tempo de retenção do material dentro do biodigestor reduzindo, deste modo, o seu tamanho e, portanto, barateando os custos de implantação do processo.

Buscando-se novas formas sustentáveis de alimentação mundial, aproveitamento de detritos e modelos de produção em que todos os seres vivos estejam em total simbiose e harmonia, o desenvolvimento de pesquisas relativas à biodigestão rural vem adquirindo maior importância. Assim, este estudo visou identificar os níveis de temperatura mais favoráveis a um desempenho satisfatório de biodigestores.

MATERIAL E MÉTODOS

Experimentos com biodigestores e gasômetros de bancada

Nos primeiros testes realizados no Laboratório de Termodinâmica e Energia da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP, foram utilizados nove biodigestores de batelada, com capacidade de 15 litros cada um, acoplados aos seus respectivos gasômetros. A biomassa foi de esterco bovino, com umidade próxima a 20%, preparada na proporção de 1 (esterco) : 3 (água).

Cada grupo de três biodigestores foi imerso em tanques contendo água a temperatura controlada por resistências e termostatos, exceto aqueles submetidos a temperatura ambiente. As temperaturas estudadas foram a ambiente, 35, 45 e 55°C. Para medição das temperaturas ambiente, dos tanques com água e interna em todos os reatores, contou-se com o auxílio de um Datalogger marca COEL modelo CI/6-J e de termopares do tipo J (FeCo).

Em testes mais recentes e contando-se com um sistema de aquisição automática dos dados de biogás produzido, a biomassa utilizada para cada biodigestor foi de 5 litros de água e 5 litros de esterco. Neste experimento, a temperatura foi controlada por termopares conectados a um aparelho de leitura marca COEL (mostrador digital com 1°C de precisão). Verificou-se a eficiência dos biodigestores considerando-se a produção de gás obtida e a degradação de sólidos na biomassa.

Todos esses biodigestores seguem o modelo desenvolvido pela CESP e assim como os gasômetros, foram feitos em PVC. Os gasômetros (Figura 1) possuem pequena abertura vertical lateral em acrílico, com escala para leitura dos níveis da água e da campânula de gás, que permite calcular o volume total de biogás em cada gasômetro.

Assim, o volume total de biogás produzido por cada biodigestor é calculado como segue:

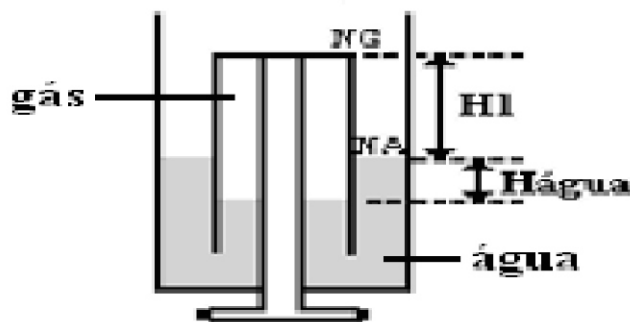


Figura 1. Esquema do gasômetro mostrando os níveis de água (NA) e de gás (NG)

O volume de gás V_G (m^3) no interior da campânula é dado por:

$$V_G = (H_1 + H_{\text{água}}) \cdot A_1 \quad (1)$$

em que, H_1 representa a diferença entre os níveis superior, do gasômetro e da água, na parte externa (m); $H_{\text{água}}$ é a diferença entre os níveis da água, externo e interno ao gasômetro (m) e A_1 é a área transversal do gasômetro (m^2); assim, tem-se que:

$$H_1 = NG - NA$$

$$A_1 = (3,14 \cdot (7,5)^2) / 4 = 44,2 \text{ cm}^2 = 44,2 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

$H_{\text{água}}$ é obtida através de:

$$P = d \cdot g \cdot H_{\text{água}} + P_{\text{atm}} \cdot x \quad (2)$$

$$P = (W - E) / A_1 + P_{\text{atm}} \cdot x \quad (3)$$

onde: P é a pressão interna do gasômetro (kPa); P_{atm} designa a pressão atmosférica (atm); d é a densidade da água (1000 kg.m⁻³); g corresponde à aceleração da gravidade (9,8 m.s⁻²); W é o peso do gasômetro, incluindo o peso de suas partes em PVC e em ferro; E significa o empuxo devido ao volume deslocado pela parte imersa do gasômetro; e x é o fator de transformação de atm para kPa (101,325).

Igualando-se (2) e (3) tem-se:

$$H_{\text{água}} = [(g/A_1) \cdot (m - d \cdot A_2 \cdot (H - H_1))] / [(d \cdot g \cdot A_1 - d \cdot g \cdot A_2) / A_1]$$

São dados:

$$\begin{aligned} m \text{ (massa do gasômetro)} &= 720,0 \cdot 10^{-3} \text{ kg} & W &= m \cdot g \\ \Pi \text{ (altura do gasômetro)} &= 50,5 \cdot 10^{-2} \text{ m} & E &= d \cdot (\Pi_2 O) \cdot g \cdot V \text{ (PVC imerso)} \\ \Pi_2 \text{ (parte do gasômetro imersa na água)} & & V \text{ (volume de PVC imerso)} &= \Pi_2 \cdot A_2 \\ H_2 &= H - (NG - NA) - H_{\text{água}} \end{aligned}$$

Portanto, calcula-se $H_{\text{água}}$:

$$H_{\text{água}} = \frac{[(9,8/44,2 \cdot 10^{-4}) \cdot (720 \cdot 10^{-3} - 1000 \cdot 4,4 \cdot 10^{-4} \cdot (50,5 \cdot 10^{-2} - H_1))]}{[(1000 \cdot 9,8 \cdot 44,2 \cdot 10^{-4} - 1000 \cdot 9,8 \cdot 4,4 \cdot 10^{-4}) / 44,2 \cdot 10^{-4}]}$$

$$H_{\text{água}} = 12,51 \cdot 10^{-2} + 11,1 \cdot 10^{-2} \cdot H_1$$

Da equação (1) encontra-se então:

$$VG = (H_1 + H_{\text{água}}) \cdot A_1$$

$$VG = (12,51 + 111,1 \cdot (NG - NA)) \cdot 44,2 \cdot 10^{-6} \quad (4)$$

Tendo-se VG, deve-se subtrair dele o volume de gás que resta no interior da campânula de gás quando esta é esvaziada; portanto, o volume de biogás VP produzido é dado por:

$$VP = VG - [44,2 \cdot 10^{-4} \cdot (NG - NA)] \quad (5)$$

sendo que os dados dos níveis da água e do gasômetro devem ser em metro, obtendo-se o volume produzido em m³.

Sistema de aquisição de dados utilizado nos biodigestores de bancada

Para a automação do processo de aquisição de dados utilizou-se um microcomputador PC/AT 486 DX, equipado com uma placa de aquisição de dados de modelo CTPD (Contador/Temporizador e Paralelo Digital), interruptores de pressão (conhecidos popularmente por “micros”) acoplados aos gasômetros, válvulas solenóides em cada gasômetro servindo para esvaziá-lo, placa de relés responsável pela abertura das válvulas solenóides, uma placa de temporização contendo multivibradores monoestáveis e um novo programa de computador desenvolvido em linguagem Delphi, que controla o processo e salva os dados adquiridos.

O circuito de temporização consiste de seis conjuntos

de multivibradores monoestáveis (um para cada gasômetro) baseados no circuito integrado 555 e cujas constantes de tempo foram ajustadas para cerca de 15 segundos.

O gás produzido pelo biodigestor é armazenado no interior do gasômetro; com isto, a campânula de gás é deslocada e, ao atingir uma altura predeterminada, aciona o interruptor mecânico fixado na parte superior do gasômetro e, com o contato, um sinal é enviado ao circuito de temporização, que o mantém ativo por quinze segundos aproximadamente (tempo suficiente para esvaziar o gasômetro, com alguma folga). Esse sinal é enviado à placa de relés, que controla a abertura e o fechamento das válvulas solenóides, simultaneamente lido pela placa de aquisição dos dados, onde é processado pelo programa de controle.

Basicamente, o programa de controle conta o número de esvaziamentos de cada gasômetro num intervalo de tempo, registrando o dia e a hora em que ocorreram. Conhecendo-se a capacidade de armazenamento de cada gasômetro, calculada pela fórmula já mencionada, pode-se determinar o volume total de gás produzido.

Com a produção de gás dos três biodigestores que atuam numa mesma temperatura, calcula-se a média aritmética entre elas, obtendo-se a produtividade média em cada temperatura num determinado intervalo de tempo.

Com essas informações, pode-se avaliar a temperatura em que a produção de biogás é maior.

Experimento com biodigestor modelo indiano de 10m³

Nesta parte do experimento utilizou-se um biodigestor metálico, modelo indiano, com capacidade de 10m³, existente no Campo Experimental da Faculdade de Engenharia Agrícola da UNICAMP. A instalação do biodigestor metálico foi realizada em área próxima a um estábulo para fornecimento do esterco; além do estábulo, há um sistema de escoamento para a caixa de entrada que alimentará o biodigestor e uma caixa de coleta. Depois desse recipiente de saída o efluente é armazenado em duas outras caixas, esgotadas a cada 15 dias, podendo então ser usado como biofertilizante de culturas.

Nos primeiros testes, o biodigestor foi submetido a temperatura ambiente (em torno de 25°C) e a partida dada com o reator cheio de água e uma carga afluente de 200 litros, sendo a diluição de 1 (esterco fresco) : 1 (água).

Após concluídos os testes com os biodigestores de batelada e, portanto, encontrada a temperatura mais propícia ao processo da biodigestão anaeróbia, tal temperatura foi aplicada neste biodigestor de 10m³, agora em regime de batelada. Tal modo de operação foi escolhido porque o resultado da temperatura mais favorável aplicado no mesmo foi obtido em reatores laboratoriais, justamente em regime de batelada; assim, para esses novos testes utilizou-se no biodigestor carga de 1 (esterco) : 3 (água). A biomassa utilizada era proveniente dos animais da própria faculdade.

Para reproduzir a temperatura de 31°C neste biodigestor de 10m³ utilizou-se uma bomba de calor tipo solo/água (operando com R22) desenvolvida na própria UNICAMP. Esta bomba possui um sistema de circulação da água (que é aquecida) e de aproveitamento do calor do solo para aquecimento da água do biodigestor.

Após obtida a requerida temperatura da água, adicionou-se

o esterco (com o auxílio de trator e carreta, visto que a biomassa possuía volume de 2500m³) e, posteriormente, foi fechado o reator. Para manutenção da temperatura usou-se a bomba de calor, agora para o aquecimento da água contida ao redor do biodigestor (para permitir a ascensão/elevação da “tampa” do biodigestor quando da produção de biogás). Foram utilizados termostatos para ligação e desligamento da bomba em função da temperatura desejada.

A biomassa permaneceu menos de um mês dentro do reator. Para se analisar o processo, foram feitas medições do biogás produzido três vezes por semana e determinações dos sólidos totais e voláteis da carga utilizada no processo. Para determinação do volume de gás obtido contou-se com o auxílio de uma fita métrica pregada verticalmente ao lado do biodigestor; esse volume foi, então, dado pela área da base do biodigestor e a altura de gás nele produzida.

Análise dos teores de sólidos totais e voláteis e do pH

Nos testes mais recentes foram analisados os teores de sólidos totais e de sólidos voláteis dos afluentes e efluentes do processo de biodigestão, para se conhecer a degradação de sólidos na biomassa.

Para a determinação dos teores de sólidos totais as amostras da carga foram colocadas em cadinhos previamente aferidos, pesados em uma balança com precisão de 1 miligrama, obtendo-se o peso úmido (PU) da amostra. Posteriormente, o material foi seco em estufa marca Quimis de circulação mecânica, a temperatura de 105°C, por no mínimo dezoito horas, até atingir peso constante; as amostras foram então colocadas em dessecador marca Merse até esfriarem; e após novamente pesadas, obteve-se o peso seco (PS). Os teores de sólidos totais foram determinados pela fórmula (Arcuri, 1986):

$$ST = 100 - [(PU - PS) \cdot 100] / PU \quad (6)$$

Para o cálculo dos teores de sólidos voláteis aproveitaram-se os materiais secos obtidos após a determinação dos sólidos totais. Os materiais foram postos em mufla marca Robertshaw, com a temperatura inicialmente de 300°C, passando-se em seguida para 600°C, permanecendo assim por três horas. Deixou-se a mufla resfriar lentamente e os cadinhos com as cinzas foram retirados, estando o forno com temperatura de 120°C. Foram então colocados em dessecador para resfriar até a temperatura ambiente e, em seguida, pesados em balança com precisão de 1 miligrama, obtendo-se assim o peso de cinzas (PC). Os teores de sólidos voláteis da biomassa foram calculados por (Arcuri, 1986):

$$SV = ST - [1 - (PU - PC) / PU] \cdot 100 \quad (7)$$

Houve análise do pH apenas no início e no fim do processo, devido a dificuldade de se colher amostras dos biodigestores.

Eficiência do biodigestor

Para se conhecer a eficiência do biodigestor ou redução de sólidos voláteis, calculou-se a Taxa de Aplicação de Material Orgânico (TAMO) e a Velocidade de Decomposição de Sólidos Voláteis (VDSV); a eficiência foi então determinada por VDSV/TAMO (BATISTA, 1981).

A TAMO refere-se à quantidade de sólidos voláteis

aplicadas no biodigestor em relação ao volume do mesmo, num determinado intervalo de tempo e está associada ao tempo de retenção e à concentração de sólidos voláteis. Essa taxa é calculada (em unidade de massa por volume e tempo) por (BATISTA, 1981):

$$TAMO = \frac{\text{sólido volátil total do afluente}}{\text{capacidade do biodigestor} \cdot \text{tempo}} \quad (8)$$

É importante ressaltar que, como os biodigestores que operam no laboratório são de regime de batelada, não precisando, portanto, de abastecimento diário, o tempo considerado foi de aproximadamente 1 mês, tempo necessário para a realização de cada teste.

A Velocidade de Decomposição de Sólidos Voláteis está relacionada à quantidade de sólidos voláteis que se degrada com a biodigestão. É, assim, obtida (em unidade de massa por volume de biodigestor e tempo) pela fórmula (EMBRATER, 1981):

$$VDSV = \frac{(\text{sólido volátil total do afluente} - \text{sólido volátil total do efluente})}{\text{capacidade do biodigestor} \cdot \text{tempo}} \quad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Biodigestores e gasômetros de bancada

Para os primeiros testes realizados com os biodigestores de bancada mantidos a temperatura ambiente (25°C) e a temperaturas controladas de 35, 45 e 55°C, obtiveram-se os dados para a produção de biogás acumulativa, mostrados na Figura 2. Verificou-se que os biodigestores mantidos a 35°C foram os de maior produção de biogás enquanto que a menor produção foi observada para 45°C.

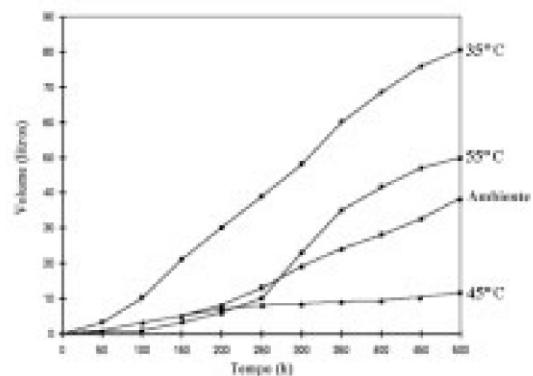


Figura 2. Produção acumulativa de biogás nas temperaturas ambiente, 35, 45 e 55°C

No segundo experimento realizaram-se testes com biodigestores mantidos às variações da temperatura ambiente que resultaram numa temperatura média de 12°C (com desvio-padrão de 3,9), e controlados às temperaturas de 31°C (com desvio-padrão de 3,2), 43°C (com desvio-padrão de 2,0) e 53°C (com desvio-padrão de 2,28). Verificou-se, neste experimento, que os três biodigestores mantidos em tanque a temperatura ambiente não produziram gás devido à grande variação de temperatura (que atingiu valores muito baixos, como 7°C, por se tratar de inverno). Segundo vários autores, como Fullford (1988), temperaturas inferiores a 10°C inibem a atividade microbiana e

mudanças súbitas de mais de 5°C em um dia podem interromper a atividade de bactérias metanogênicas, resultando na formação de ácidos voláteis não digeridos.

Verificou-se, conforme pode ser visto na Figura 3, que para a temperatura de 53°C a produção de gás foi grande nas primeiras 72 horas, superando os valores encontrados para 31°C e 43°C e que passado este período, houve um acréscimo muito pequeno na produção, com o decorrer do tempo (a curva tende a ser constante com as horas). Para a temperatura de 43°C notou-se comportamento semelhante ao observado em 31°C, porém nesta última a produção de biogás foi muito superior à das demais temperaturas estudadas.

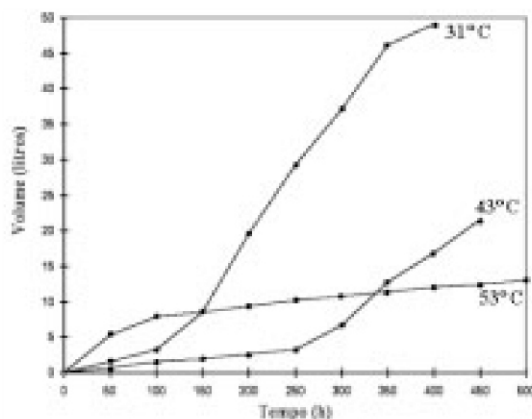


Figura 3. Produção acumulativa de biogás nas temperaturas de 31, 43 e 53°C

Os valores de sólidos totais e voláteis, eficiência e pH para a biomassa afluente e efluente desses últimos testes, são mostrados na Tabela 1.

Tabela 1. Sólidos totais e voláteis e pH para o afluente e efluente da biodigestão e eficiência do processo a diferentes temperaturas

Temp °C	STa ¹	STe ²	SVa ³	SVe ⁴	Ef	pH _a	pH _e
	%						
31	11,7	5,8	10,4	4,9	53	6,96	6,49
43	8,0	5,6	6,1	4,2	32	6,25	7,07
53	11,9	7,4	10,9	6,9	36	6,12	5,67

¹ Sólidos Totais afluente; ² Sólidos Totais efluente; ³ Sólidos Voláteis afluente; ⁴ Sólidos Voláteis efluente

Esses resultados mostram uma boa eficiência (sendo a recomendada superior a 30%, conforme BATISTA, 1981). No cálculo de VDSV e TAMO considerou-se o tempo de 17 dias para o teste com a temperatura de 31°C e 20 dias para os demais. O motivo para um período menor em uma das temperaturas foi o fato de ter sido verificada a produção de biogás em apenas um dos três gasômetros, principalmente devido a uma interrupção de energia elétrica em toda Universidade Estadual de Campinas, por mais de sete horas, que afetou o sistema de aquisição. Apesar de possuir o no-break instalado no microcomputador onde foi feito o registro de dados, o mesmo não funciona por mais de noventa minutos, podendo gerar perda de informações por ocasião de queda de tensão.

Como se observa pelos dados das amostras afluente e efluente colhidas dos biodigestores a 31 e 53°C, o valor baixo

do pH indica redução na atividade das bactérias metanogênicas.

Nas Figuras 2 e 3, observa-se que a faixa mesofílica é a mais favorável, tanto com relação à produção de biogás quanto com referência à eficiência na degradação de sólidos da biomassa utilizada.

Como se observa pelos gráficos apresentados, os resultados obtidos no experimento são de certa forma coincidentes. Nota-se que, mesmo para os melhores dados encontrados (na faixa termofílica) a eficiência obtida nos testes de biodigestão, embora tenha sido superior à recomendada pela BATISTA (1981), mostra que há redução de apenas uma parte dos sólidos voláteis da biomassa. Deve-se lembrar que a duração dos testes foi menor que o tempo de retenção recomendado para a remoção de resíduos, o que pode ter influenciado nos resultados.

Enquanto no experimento foram obtidos melhores resultados na faixa mesofílica, Chen et al. (1980) observaram maiores taxas de produção de metano na faixa termofílica em comparação com a mesofílica quando da fermentação de adubo bovino; já Conserve et al. (1977) concluíram que existia maior lucro de energia em temperaturas mesofílicas.

Biodigestor modelo indiano de 10m³

Os dados da produção de gás acumulativa obtida nos primeiros testes com o biodigestor metálico mantido a temperatura ambiente são mostrados na Figura 4. Operando continuamente e passados onze dias após a partida, iniciou-se a produção de gás no biodigestor que atingiu a média de 2,5 m³gás/dia depois de um mês e meio.

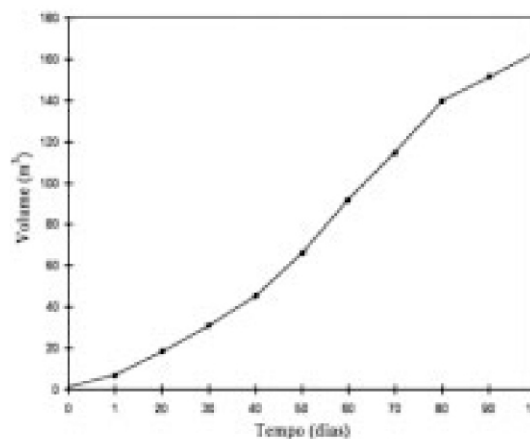


Figura 4. Produção acumulada de biogás para o biodigestor modelo indiano mantido a temperatura ambiente

Na fase final dos experimentos aplicou-se a temperatura mais favorável obtida nesses últimos testes laboratoriais (31°C) no biodigestor de 10m³, modelo indiano, da faculdade.

Os dados da produção acumulativa de biogás obtidos no biodigestor modelo indiano, assim como os referentes ao volume de gás produzido (sobre a capacidade dos reatores) nos biodigestores de laboratório e no reator do Campo Experimental, ambos a temperatura de 31°C, são mostrados nas Figuras 5 e 6.

Verificou-se grande dificuldade para manutenção da temperatura requerida da biomassa dentro do biodigestor, mesmo com a utilização da bomba de calor, devido às grandes variações da temperatura no ar (atingindo valores muito baixos com o inverno) que influenciaram no reator.

Observou-se durante o experimento que, após os primeiros dez dias de teste, a produção de gás foi muito elevada, ocorrendo pequenas perdas de gás (através de bolhas na água ao redor do biodigestor) em finais de semana devido à impossibilidade de esvaziamento do reator, o que pode ter causado pequenas variações nos resultados obtidos.

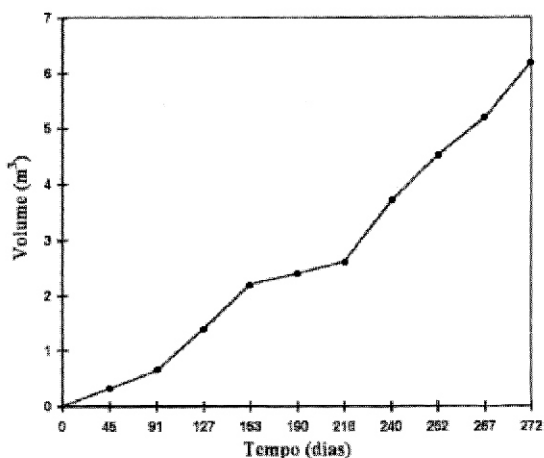


Figura 5. Produção acumulada de biogás para o biodigestor modelo indiano a temperatura de 31°C

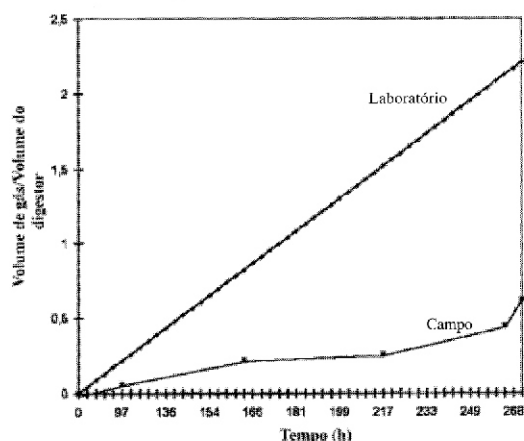


Figura 6. Produção acumulada de biogás obtida em laboratório e no campo a temperatura de 31°C

Observando-se as figuras apresentadas, percebe-se que o volume de gás obtido em laboratório é superior ao volume no biodigestor de 10m³ do Campo Experimental, ambos mantidos a 31°C; isto pode ser explicado pelo fato do gás armazenado nos gasômetros de PVC possuir pressão inferior à pressão do biogás produzido no biodigestor metálico do campo (visto que a pressão necessária à elevação da campânula de plástico é muito menor que a requerida para levantar a cúpula metálica); portanto, para efeito de comparação seria importante verificar-se não apenas o volume produzido mas, também, a massa do gás. Uma outra possível causa para a verificação de um volume de biogás menor no reator do campo é que o controle foi feito de maneira manual (e não computacional/automática) o que provocou algumas perdas de gás (através de bolhas na água existente ao redor do biodigestor) podendo ter influenciado nos resultados obtidos.

Observou-se, também, que a manutenção da temperatura de 31°C nos biodigestores laboratoriais é muito mais fácil que no biodigestor do campo, pois este último é mais susceptível às condições do meio ambiente.

Para os experimentos com o biodigestor metálico de 10m³ operando a 31°C determinaram-se, também, teores de sólidos

totais e voláteis (afluente e efluente), pH e eficiência do processo, cujos resultados são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Sólidos totais e voláteis e pH para o afluente e efluente e eficiência do biodigestor modelo indiano

Temp °C	STa ¹	STe ²	SVa ³	Sve ⁴	Ef	pH _a	pH _e
	%						
31	7,0	0,7	6,4	0,5	92	6,87	6,40

¹ Sólidos Totais afluente; ² Sólidos Totais efluente; ³ Sólidos Voláteis afluente; ⁴ Sólidos Voláteis efluente

Os valores obtidos para os sólidos totais e voláteis afluentes foram inferiores para o reator do campo, devido ao fato de que o substrato utilizado possuía a proporção de sólidos em relação aos líquidos (1:3) inferior à dos biodigestores do laboratório (1:1). Pelos resultados, pode-se notar uma eficiência para o experimento no campo muito superior à obtida em laboratório.

CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos pode-se concluir que:

1. A faixa de temperatura mesofílica (de 30°C a 40°C) mostrou-se a mais favorável ao desempenho dos biodigestores, não só em relação à produção de biogás como também em relação à eficiência na degradação de sólidos do esterco bovino.
2. Apesar da temperatura afetar o processo de biodigestão anaeróbia, não se obteve bons resultados na faixa termofílica devido, provavelmente, a uma dificuldade de adaptabilidade das bactérias a essa faixa de temperatura;
3. A manutenção da faixa de temperatura mesofílica em experimentos do campo exige controle adequado devido a maior susceptibilidade de tais biodigestores às variações do ambiente.

AGRADECIMENTOS

À FAPESP e ao CNPq, pelas bolsas concedidas, e à FAPESP, pelo auxílio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARCURI, P.B. **Efeito da temperatura ambiental na produção e qualidade do biogás em biodigestor modelo indiano na Zona da Mata de Minas Gerais**. Viçosa, Universidade Federal de Viçosa, 1986. 92p. (Tese de Mestrado).
- BATISTA, L.F. **Manual Técnico - construção e operação de biodigestores**. Empresa Brasileira de Assistência Técnica e Extensão Rural (EMBRATER). Brasília, 1981. 54p.
- CHEN, Y.R., VAREL, V.H. & HASHIMOTO, A.G. Effect of temperature on methane fermentation kinetics of beef cattle manure. In: BIOTECHNOLOGY AND BIOENGINEERING SYMPOSIUM, 10, 325-339, 1980.
- CONVERSE, J.C., GRAVES, R.E. & EVANS, G.W. Anaerobic degradation of dairy manure under mesophilic and thermophilic temperatures. TRANSACTIONS OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 20:336-340, 1977.
- CRAVEIRO, A.M. **Produção de biogás**. Instituto de Pesquisas Tecnológicas S.A., São Paulo, 1982. 27p.
- FULFORD, D. **Running a biogas program: A handbook**. London, Intermediate Technology Publications, 1988. 187p.
- GAUTZ, L.D. & LIU, X. Heating of anaerobic digestors using hot gas. In: AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS, 1996. 19p. (Paper 96-4119).