



RICA



Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais

Journal homepage:
www.arvore.org.br/seer

BIODIGESTÃO ANAERÓBIA COM SUBSTRATO FORMADO PELA COMBINAÇÃO DE ESTERCO OVINOCAPRINO, MANIPUEIRA E BIOFERTILIZANTE

RESUMO

A biodigestão anaeróbia é uma alternativa para o tratamento dos resíduos descartados tanto pela ovinocaprinocultura quanto pelo processo de fabricação da farinha de mandioca no estado de Alagoas, que apresentam um alto grau de poluição caracterizando-se por sua alta carga orgânica, causando impactos nos cursos d'água e solos próximos às casas de farinha. O presente estudo avaliou a biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e a adição de 25% de biofertilizante proveniente do mesmo substrato. O biodigestor utilizado foi o modelo Indiano, com capacidade útil de 80 litros e com tempo de retenção hidráulica de 50 dias, abastecido de forma contínua. O experimento foi realizado no Instituto Federal de Alagoas – Campus Marechal Deodoro, durante 130 dias, onde foram realizadas leituras de pH, análises de sólidos totais e a quantificação do biogás. Observou-se que, com o acréscimo de 25% de biofertilizante no substrato, reduziu-se a quantidade de solução alcalina usada na correção do pH, alcançando valores de pH médio entre 7,0 e 7,85, além de uma redução global de 40,85% de sólidos totais e uma produção média semanal de 5,36 litros de biogás por Kg de substrato. Assim sendo, estes resultados poderão ser utilizados como ferramenta para um melhor gerenciamento dos resíduos gerados pelas casas de farinha e/ou propriedades rurais.

PALAVRAS-CHAVE: Biodigestão Anaeróbia; Resíduos Orgânicos; Biogás.

ANAEROBIC BIODIGESTION WITH THE SUBSTRATE FORMED BY A COMBINATION OF GOAT MANURE, CASSAVA WASTEWATER AND BIOFERTILIZER

ABSTRACT

The anaerobic biodigestion is/ an alternative for the treatment of waste that is discarded both by the working with goat breeding and by the manufacturing process of cassava flour in the state of Alagoas, which presents a high degree of pollution, being characterized by its high organic charge, causing impacts at the courses of water and soils near the flour houses. The present study evaluated the anaerobic biodigestion with the substrate formed by a combination of goat manure, cassava wastewater and the addition of 25% of biofertilizer coming from the same substrate. The bio-digester used was the Indian model, with a useful capacity of 80 liters and with hydraulic retention time of 50 days, supplied continuously. The experiment was performed at the Federal Institute of Alagoas – Campus Marechal Deodoro, during 130 days, where pH readings, total solids analysis and the quantification of the biogas were held. It was observed that with the increase of 25% of biofertilizer in the substrate, the quantity of alkaline solution used in the correction of pH was reduced, reaching values between 7,0 and 7,85, besides that there has been an overall reduction of 40.85% of total solids and a weekly average production of 5,36 liters of biogas per kg of substrate. Thus, these results could be used as a tool for better management of waste generated by flour houses and/or farms.

KEYWORDS: Anaerobic Biodigestion; Organic Wastes; Biogas.

Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais, Aquidabã, v.4, n.1, Dez 2012, Jan, Fev, Mar, Abr, Mai 2013.

ISSN 2179-6858

SECTION: Articles

TOPIC: Saneamento e Tratamento de Resíduos



DOI: 10.6008/ESS2179-6858.2013.001.0007

Claudionor de Oliveira Silva

Universidade Estadual de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/7914499903341694>
claudionor.oliveira@hotmail.com

Vicente Rodolfo Santos Cezar

Instituto Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/2400958571631287>
vrscezar@yahoo.com.br

Marília Batista dos Santos

Instituto Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/9446647721809775>
marilia.gestaoambiental@hotmail.com

Auriane Santana Santos

Instituto Federal de Alagoas, Brasil
<http://lattes.cnpq.br/4786685661085866>
aurianesantana@bol.com.br

Received: 28/02/2013

Approved: 01/04/2013

Reviewed anonymously in the process of blind peer.

Referencing this:

SILVA, C. O.; CEZAR, V. R. S.; SANTOS, M. B.; SANTOS, A. S.. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, Aquidabã, v.4, n.1, p.88-103, 2013. DOI: <http://dx.doi.org/10.6008/ESS2179-6858.2013.001.0007>

INTRODUÇÃO

A poluição do meio ambiente tornou-se uma das maiores preocupações do mundo contemporâneo e a crescente demanda pela produção de alimentos, principalmente na agropecuária e na agroindústria, vem acentuando sua participação nos impactos provocados, necessitando, cada vez mais, de um desenvolvimento de sistema de produção sustentável.

A biodigestão anaeróbia surge como uma promissora tecnologia para o tratamento dos resíduos agropecuários e agroindustriais, contribuindo na transformação destes resíduos em subprodutos, agregando valor a produção e viabilizando ambientalmente as atividades. Segundo Nogueira (1986) a biodigestão anaeróbia é um processo natural que ocorre na ausência de oxigênio, transformando compostos orgânicos complexos e outras substâncias mais simples em dois excelentes subprodutos: no biogás, uma mistura de gases, principalmente metano e gás carbônico e no biofertilizante.

A ovinocaprinocultura é uma atividade de grande valor para a agropecuária brasileira, constituindo-se de importante fonte de renda e emprego. Igualmente a todas as atividades de produção animal, produzem uma considerável quantidade de resíduos que, se manejados e dispostos de forma incorreta, pode ocasionar sérios prejuízos econômicos e ambientais aos produtores.

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (2008) o rebanho brasileiro de caprinos e ovinos somam 26 milhões de cabeças e encontra-se em crescimento, sendo que deste total, 17,8 milhões estão na região Nordeste, apresentando no estado de Alagoas cerca de 258 mil cabeças.

Essas atividades são desenvolvidas, geralmente, por pequenos produtores, que também cultivam a mandioca e processam a raiz para obtenção de farinha e fécula. Em Alagoas a mandioca é a segunda maior produção agrícola do estado, sendo responsável pela subsistência de aproximadamente 25 mil famílias, cuja economia doméstica está ligada em toda a cadeia produtiva, em torno das casas de farinha (SEBRAE, 2006).

Segundo Santiago et al. (2005), as unidades produtivas de farinha na região do agreste alagoano produzem a cada tonelada de mandioca processada, 297,7 kg de manipueira, sendo superior à produção final de farinha, que é de 283,3 kg. Salienta Cordeiro (2006) que a manipueira é o principal efluente, em termos de agressão à natureza, produzido pelas casas de farinha. É o líquido resultante da prensagem da massa de mandioca ralada na produção de farinha e do processo de extração e purificação da fécula.

Os resíduos descartados tanto pela ovinocaprinocultura quanto pela produção de farinha e fécula de mandioca apresentam um alto grau de poluição, caracterizando-se por sua alta carga orgânica e de nutrientes, causando impactos sobre os corpos receptores, tais como, eutrofização, contaminação do solo, presença de maus odores, aparecimento de vetores, e intoxicação nas pessoas, além da morte de peixes e outros animais. Conforme Santos et al. (2010), a manipueira caracteriza-se por sua elevada demanda química de oxigênio (DQO), o que gera uma

preocupação já que é lançada de maneira irregular nas proximidades das casas de farinha. Outro aspecto importante a salientar da produção de farinha é o uso de lenha para alimentação dos fornos de secagem, portanto o uso de biodigestores para obtenção de biogás possibilitaria a redução de madeira, diminuindo o impacto sobre os biomas.

O estudo teve por objetivo principal avaliar a biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e adição de 25% de biofertilizante proveniente do mesmo substrato. Os objetivos específicos foram monitorar o pH do substrato, quantificar a eficiência da biodigestão na redução de sólidos totais e quantificar a produção de biogás.

Nesta contextualização, a utilização do processo de biodigestão anaeróbia desponta como uma boa alternativa tecnológica, haja vista a disponibilização de uma grande biomassa de resíduos gerados na ovinocaprinocultura e nas casas de produção de farinha.

MATERIAL E MÉTODOS

Local da Pesquisa

O experimento foi realizado no Instituto Federal de Alagoas (IFAL) - Campus Marechal Deodoro. O município de Marechal Deodoro - AL, localiza-se nas coordenadas de latitude sul 09° 42' 37" e longitude oeste 35° 53' 42", com altitude de 31 metros, área 363,3 km² e clima tropical chuvoso com verão seco (ALAGOAS, 2009).

O Experimento

O desenvolvimento experimental ocorreu durante 130 dias, incluindo o período de adaptação dos microrganismos (partida), e o período das pré-análises. O experimento constituiu-se basicamente por um biodigestor anaeróbio modelo Indiano, com tempo de retenção hidráulica (TRH) de 50 dias, abastecido de forma contínua.

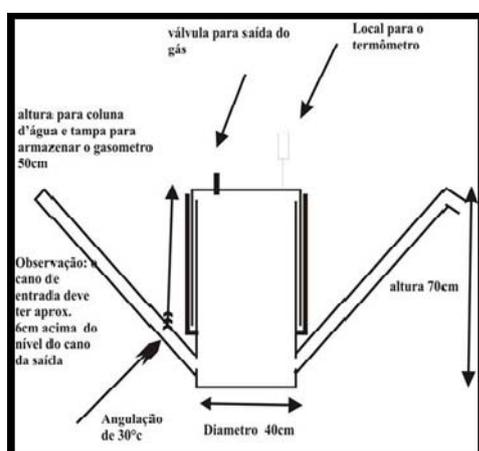


Figura 1: Esquema do biodigestor.



Figura 2: Biodigestor operado.

O biodigestor construído de fibra de vidro tem capacidade útil de 80 L de substrato e gasômetro flutuante com capacidade de armazenamento de 61 L de biogás e formado basicamente, por dois cilindros retos, um dos quais se encontra inserido no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre eles comporte um volume de água, que nomeou-se de “selo d’água”, proporcionando as condições anaeróbias para a fermentação e a retenção do gás produzido (Figuras 1 e 2).

Coleta e Preparo do Substrato

Os dejetos para o abastecimento do biodigestor foram obtidos no Setor de Ovinocaprinocultura do Campus Satuba, IFAL, sendo criados 64 ovinos das raças Santa Inês e Dorper e 05 caprinos da raça Bôer. Os animais são abrigados no aprisco de piso ripado, local que geralmente são alojados durante a noite, liberando suas fezes e urina, sendo estas retidas no solo batido por baixo do piso ripado, onde foi coletado o esterco para o experimento (Figuras 3 e 4).



Figura 3: Aprisco de piso ripado.



Figura 4: Esterco ovinocaprino (Cíbalas).

Os animais recebiam uma alimentação baseada em concentrados (ração) e volumosos (capim). O alimento volumoso era consumido a vontade, no pasto do próprio aprisco, obtendo-se uma média de consumo por animal de 3% com relação ao seu peso, os ovinocaprinos pesavam entre 35 a 40 kg. Já o alimento concentrado era fornecido de maneira controlada, recebiam 100 g de ração por animal/dia.

A partir desse material foi preparado o substrato para inoculação e alimentação diária do sistema de biodigestão, utilizando-se manipueira para diluição e adotando-se o teor de sólidos totais em 8% conforme Deganutti et al. (2002), para facilitar a circulação pelo interior da câmara de fermentação, evitando entupimentos no cano de entrada e saída do substrato.

Desta forma, foi calculada a adição da manipueira (parte líquida) ao esterco ovinocaprino (parte sólida), com base nos teores de umidade e sólidos totais, segundo metodologia descrita pela APHA (2000), empregando a equação 1:

Onde,

$$U = \frac{(PU - PS) \times 100}{PU}$$

$$ST = 100 - U$$

Equação 1

No qual: ST = teor de sólidos totais, em porcentagem; U = teor de umidade, em porcentagem; PU = peso úmido da amostra, em grama; PS = peso seco da amostra, em grama.

O substrato foi homogeneizado em liquidificador industrial com capacidade útil de 20 L (Figuras 5, 6 e 7), de modo que as cúbicas (esterco ovinocaprino) fossem quebradas proporcionando maiores condições de fermentação no interior do biodigestor.



Figura 5: Esterco e manipueira.



Figura 6: Homogeneização.



Figura 7: Substrato pronto.

Em seguida, parte do substrato homogeneizado foi utilizado para os abastecimentos diários, o qual foi armazenado em garrafas PET (polietileno tereftalato) de 2 L e congelado a -18°C, conservando as características do substrato e evitando a ação dos microorganismos (Figura 08). E a outra parte do substrato foi empregado como inóculo para partida do sistema de tratamento (Figura 09), e misturado com uma solução de NaOH à 30%, mantendo-se o pH do substrato na faixa entre 7,0 e 8,0.



Figura 08: Substrato congelado.



Figura 09: Inóculo (partida).

A manipueira utilizada foi proveniente de uma casa de farinha localizada no município de Junqueiro – Alagoas. Esse resíduo é resultante do processo de prensagem da mandioca ralada (Figuras 10 e 11), e coletada antes do seu descarte em lagoas de decantação.



Figura 10: Prensagem da mandioca.



Figura 11: Manipueira coletada.

Monitoramento do Sistema

Durante a partida do biodigestor não foram realizadas análises laboratoriais, em decorrência do período de adaptação dos microorganismos (reprodução) ao substrato a ser digerido, buscando o equilíbrio do processo indicado pela produção de biogás, na queima e formação de uma chama azul. Posteriormente, deu-se início ao abastecimento com 1,6 L de substrato ao dia, que corresponde a 75% da mistura de esterco ovinocaprino e manipueira, e a adição de 25% de biofertilizante (saída do biodigestor) proveniente do mesmo substrato de entrada, sendo alimentado continuamente durante 120 dias. Para o controle e acompanhamento do sistema foram analisados os seguintes parâmetros: pH, sólidos totais e produção de biogás.

pH (Potencial Hidrogeniônico)



Figura 12: pHmetro modelo PHS-3B.

A leitura de pH foi realizada diariamente conforme metodologia citada pelo Laboratório Nacional de Referência Vegetal (LANARV, 1988). No ato do abastecimento diário foi adicionado ao substrato formado, uma solução de NaOH à 30%, mantendo-se o pH entre 7,0 e 8,0. Utilizou-se um pHmetro de bancada, modelo PHS-3B (Figura 12) para determinação das leituras, uma medida importante nos sistemas anaeróbios, pois indica rapidamente a situação de desempenho, estabelecendo uma condição ácida ou alcalina de um determinado substrato.

Sólidos Totais

As determinações dos teores de sólidos totais (ST) foram realizadas conforme APHA (2000), sendo coletadas amostras quinzenais do substrato na entrada e saída do reator. As amostras foram acondicionadas, pesadas para a obtenção do peso úmido (PU) do material e após isto, levadas à estufa de circulação forçada (Figura 13) à temperatura de 105°C até atingir peso constante. Após a secagem, os cadinhos foram mantidos em dessecador por 30 minutos e pesados em balança com precisão de 0,01 g (Figura 14), obtendo-se então o peso seco (PS). Os valores de sólidos totais foram calculados empregando a Equação 1, mencionada anteriormente.



Figura 13: Estufa de circulação forçada.



Figura 14: Balança de precisão.

Volume do Biogás Produzido

O volume de biogás produzido diariamente foi determinado medindo-se o deslocamento vertical do gasômetro e multiplicando-se pela área da seção transversal interna do gasômetro, ou seja, 0,1384 m². Para verificação do deslocamento vertical do gasômetro foi utilizada uma régua milimétrica. Após cada, leitura, o gasômetro foi zerado, utilizando-se o registro de descarga do biogás. E efetuando-se o teste de queima do mesmo para que se pudesse determinar, de forma simples, a predominância de metano no biogás. A produção do biogás foi quantificada segundo Barana (2000), utilizando-se à expressão que resulta da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac para a correção do volume do biogás. Segundo equação 2:

$$\frac{V_0 \times P_0}{T_0} = \frac{V_1 \times P_1}{T_1} \times F$$

Equação 2

Sendo:

V_0 = volume nas condições normais de temperatura e pressão (CNTP)

P_0 = pressão na CNTP (760 mmHg)

T_0 = temperatura na CNTP (293 K)

V_1 = volume de biogás medido (L)

P_1 = pressão local de Marechal Deodoro – AL (mmHg)

T_1 = temperatura do biogás no instante da leitura, K

F = Fator de correção de umidade a temperatura de medição de biogás, segundo a equação $Y = 1,0568 - 0,0034 \cdot X$, $r = 0,9979$ (Fernandes Júnior, 1995), onde X = temperatura em °C. Conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Fator de correção de umidade (F) do biogás com relação à temperatura

Temperatura em °C	Fator (F)
28	0,9616
29	0,9582
30	0,9540
31	0,9514
32	0,9480
33	0,9446
34	0,9412
35	0,9378

Fonte: Fernandes Júnior (1995).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos neste estudo são apresentados de maneira a discutir as informações levantadas sobre o comportamento do sistema de tratamento anaeróbio operado com o substrato formado a partir de esterco ovinocaprino, manipueira e adição de 25% de biofertilizante proveniente do mesmo substrato.

Comportamento do pH

Na Figura 15 é apresentado o comportamento do pH durante 120 dias de abastecimento. Os valores foram expressos em períodos semanais.

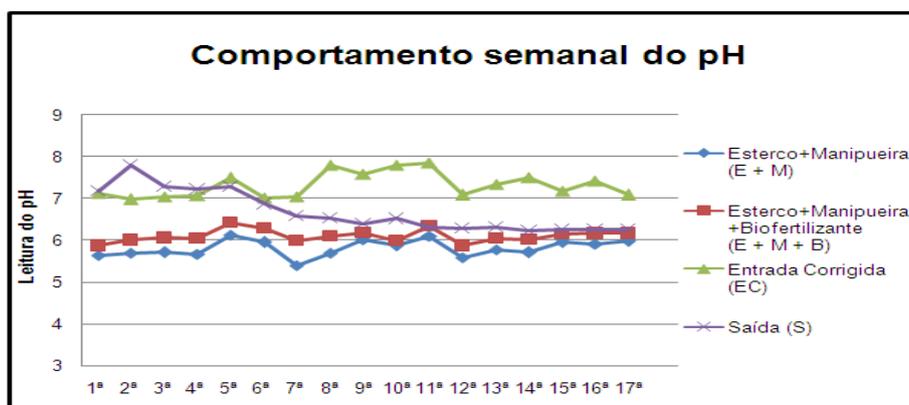


Figura 15: Comportamento semanal do pH do substrato.

Verificou-se que o pH no ato da formulação do substrato proveniente da mistura de esterco ovinocaprino e manipueira (E+M) apresentou leitura de pH médio entre 5,40 à 6,12 no decorrer das semanas, sendo que a maioria dos pontos representados atingiram pH abaixo de 6,0. Isto

ocorre devido à presença de amido na manipueira e sua simples estrutura molecular dada pelos açúcares de fácil decomposição, que geram ácidos, tornando-se um substrato impróprio para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas. Segundo Chernicharo (1997), para se obter o sucesso da biodigestão é preciso que as bactérias formadoras de metano tenham um crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4, apesar de obter estabilidade, numa mais ampla, entre 6,0 e 8,0.

Conforme citado anteriormente, os resultados de pH abaixo de 6,0, obtidos do substrato de esterco ovinocaprino e manipueira (E+M), foram inferiores aos alcançados por Quadros et al. (2010) em trabalho sobre biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em biodigestor modelo Canadense (PVC flexível), que obtiveram pH médio de 6,13 ao utilizar na formulação do substrato a mistura de esterco e água. Este valor pode ser atribuído ao uso de água para a diluição do esterco, uma vez que, a água não contém açúcares e nem matéria orgânica, apresentando em sua composição sais minerais, que lhe confere ao misturasse com o esterco um pH propício as bactérias metanogênicas.

Quando o substrato formado por esterco ovinocaprino e manipueira recebeu a adição de 25% de biofertilizante para o volume da mistura a ser abastecido dia (E+M+B), apresentou acidez em apenas dois pontos, indicando a primeira e a décima segunda semana do período com pH médio de 5,87, fato este que pode estar relacionado com a característica fermentativa da manipueira. Obtendo-se nas demais semanas leituras de pH numa média entre 6,0 e 6,42. Mesmo que o pH tenha apresentado estas leituras, optou-se pelo aumento entre 7,0 e 8,0, corrigido com o auxílio da solução de hidróxido de sódio (NaOH à 30%) na entrada do sistema (EC), devido ao biodigestor comportar 80 L de substrato e apresentar pouca agitação no seu interior, evitando assim a possível queda do pH em função da fácil fermentação da manipueira. Segundo Nogueira (1986) o pH ideal para a sobrevivência das bactérias metanogênicas, situa-se entre 7 e 8, ocorrendo desta forma a necessidade da correção. Estes valores foram maiores que os obtidos por Barana (2000) em experimento sobre o tratamento da manipueira em biodigestores de fases separadas, que alcançou melhor eficiência durante as etapas em que houve correção do pH com o NaOH à 50% no afluente do reator metanogênico para valores entre 6,5 e 7,0.

Entretanto, a concentração de NaOH à 50% utilizada por Barana (2000), requer maiores cuidados com o manuseio da solução, principalmente, quando se trata de biodigestores a nível de campo que demanda um alto consumo, oferecendo riscos aos trabalhadores por ser um produto quente e corrosivo, podendo provocar sérios danos a saúde, tais como, queimaduras, cegueiras e problemas respiratórios. Todos os manuseadores de hidróxido de sódio devem utilizar roupas de proteção adequadas e equipamentos de proteção individual (EPI), como óculos de segurança, luvas resistentes a produtos químicos, máscara facial e botas resistentes.

Portanto, o uso de 25% de biofertilizante para preparo do substrato a ser abastecido por dia, proporcionou uma elevação do pH, e conseqüentemente uma redução no consumo de hidróxido de sódio (NaOH à 30%), quando observado que o pH sem adição do efluente

biodigerido ofereceu um consumo médio de 30 mL/dia, enquanto que, com a adição obteve uma redução para 15,87 mL/dia, representando uma diminuição de aproximadamente 50% no consumo de NaOH. Deste modo, o biofertilizante funcionou como corretor de acidez apresentando pH entre 6,27 e 7,80 na saída, além de reintroduzir as bactérias metanogênicas de volta ao meio, atuando na transformação dos ácidos, neutralizando e elevando o pH, favorecendo assim, a estabilidade do sistema.

Avaliou-se que, o substrato de entrada corrigida (EC) mostrou pH médio entre 7,0 e 7,85 e sem esta correção o pH apresentou-se na maioria das semanas com valores entre 6,0 e 6,42. Quando comparado com estudo realizado por Sá, Lessa e Almeida (2009) sobre a recirculação do efluente dos reatores UASB para o tanque de equalização da estação de tratamento de cervejaria, constataram que, este efluente propiciou elevação do pH dentro do tanque, reduzindo a necessidade do uso da soda cáustica (NaOH), onde se obteve o pH médio do afluente equalizado antes do recírculo de 4,76 e após o recírculo de 33% do efluente de 6,20. No entanto, o uso de 25% de biofertilizante ao substrato a ser abastecido dia apresentou-se um valor de pH satisfatório.

Na saída do sistema (S) houve variações, pois o efluente apresentou pH médio da primeira à quinta semana entre 7,17 a 7,80, observou-se que após esse período ocorreu uma queda na leitura do pH ao longo das demais semanas, apresentando na última semana de operação do sistema um valor médio de 6,27, de modo a manter o pH do tratamento em condições normais de estabilização. Este valor foi inferior ao alcançado por Quadros et al. (2010) em experimento sobre a caracterização do biofertilizante (saída) usando dejetos de caprinos e ovinos em biodigestor modelo Canadense, que atingiram pH médio de 7,5. Ressalta-se que, este fato pode estar associado ao uso de água para diluição dos dejetos (estercos), enquanto que, no caso em estudo utilizou-se manipueira, um resíduo com característica ácida, fermentativa, que diminui o pH incidindo na sua queda.

Como pode ser visto no trabalho de Miranda et al. (2009), utilizando biodigestor Indiano no tratamento do substrato formado pela combinação de manipueira e esterco bovino, com TRH de 50 dias, somente atingiram o valor ideal de pH 7,0 da saída do sistema, a partir da quarta semana de operação, quando os autores corrigiram o substrato de entrada para leituras de pH acima de 7,0.

Redução de Sólidos Totais



Figura 16: Comportamento mensal dos teores de sólidos totais do substrato.

O comportamento dos valores percentuais de sólidos totais (ST) do substrato da entrada e da saída do reator é apresentado na Figura 16. Os valores foram expressos em períodos mensais.

Analisa-se que, os teores de sólidos totais da entrada do sistema apresentaram uma média de 9,44% para os meses de maio, junho, julho, agosto e setembro, enquanto que, os valores das saídas apresentaram os respectivos percentuais 6,87%, 6,46%, 5,10%, 4,74% e 4,75%. Como verificado, houve uma redução gradativa de sólidos totais da saída ao longo do experimento.

Observou-se que, devido à adição de 25% de biofertilizante ao substrato houve um pequeno acréscimo quanto à porcentagem de teores de sólidos totais da entrada, passando de 8% de ST para esta média de 9,44%.

Na Figura 17 é apresentada a eficiência de redução de sólidos totais do substrato no decorrer de todos os meses avaliados.

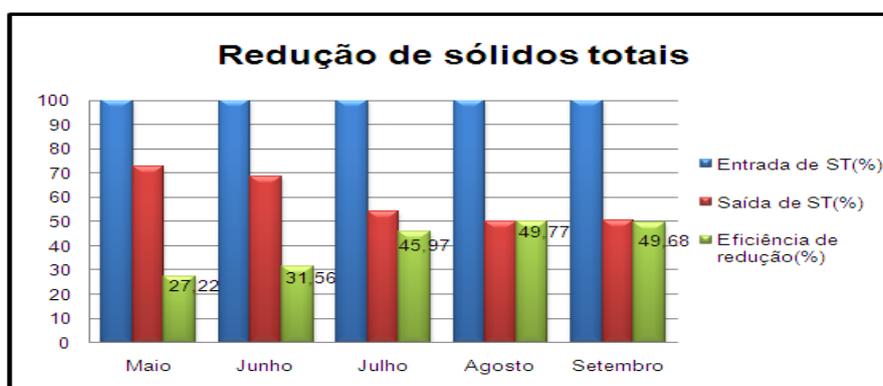


Figura 17: Eficiência mensal na redução de sólidos totais do substrato.

De acordo com a Figura 17, no mês de maio observou-se uma eficiência de remoção de ST de 27,22%, no mês de junho de 31,56%, no mês de julho de 45,97% e nos meses de agosto e setembro uma redução de aproximadamente 50%, alcançando nestes últimos meses os melhores resultados, obtendo-se uma eficiência global de 40,85%.

Em experimentos realizados por Amorim (2002) sobre o efeito das estações do ano na biodigestão anaeróbia de dejetos caprinos, obteve redução de sólidos totais durante os períodos de verão, outono, inverno e primavera, com valores de 30,76%, 26,35%, 28,45% e 34,77%, respectivamente.

Já em trabalho realizado por Amorim (2005) sobre o processo de biodigestão anaeróbia a partir dos dejetos gerados por cabras Saanen, recebendo dietas distintas, com variações nas proporções entre volumoso (feno picado) e concentrado (ração). Observou-se médias de redução de sólidos totais de 43,82% para a dieta 1 (80% volumoso + 20% concentrado), 33,48% para a dieta 2 (60% volumoso + 40% concentrado), e 31,14% para a dieta 3 (40% volumoso + 60% concentrado). Estes valores foram inferiores aos encontrados neste estudo para os meses de julho, agosto e setembro. Onde, segue a hipótese de que o acréscimo da atividade microbiana devido à recirculação de 25% de biofertilizante no ato do abastecimento diário contribuiu para esta redução.

Quando comparado com o trabalho de Al-Masri (2001) apud Amorim (2005), com objetivo de avaliar o desempenho de biodigestores anaeróbios abastecidos com dejetos de caprinos e ovinos, modelo Batelada, obteve-se reduções de sólidos totais (ST) de 72,6% quando utilizou como substrato dejetos de ovinos e 71,3% com dejetos de caprinos. Estes valores foram bastante superiores aos encontrados neste estudo. Fato este, que segundo Amorim (2005) pode estar associado à manutenção dos biodigestores em banho-maria a 30°C, conforme procedimento utilizado pelo referido autor, o que provavelmente favoreceu a degradação de ST, em comparação com este trabalho, onde não houve controle ou manutenção da temperatura do biodigestor.

A redução global de sólidos totais do presente estudo foi de 40,85%, conferindo com estudos de Miranda et al. (2009), utilizando biodigestor Indiano no tratamento do substrato de manipueira e esterco bovino, obtiveram-se uma redução de sólidos totais em torno de 83%, valor este, superior ao de 40,85%. Essa redução não se deve somente a ação dos microorganismos presentes no reator, mas também ao tipo de substrato biodigerido. No caso do esterco ovinocaprino, mesmo que apresente características fibrosas de difícil degradação, houve uma satisfatória redução de sólidos totais. Tendo, como hipótese de que a manipueira pode ter auxiliado na degradação do esterco ovinocaprino, devido ser um resíduo amiláceo, apresentando elevada característica fermentativa dada pelos açúcares de fácil decomposição, os quais geram ácidos que ajudam na quebra da celulose e lignina contida no esterco.

Além destes fatores, a redução de sólidos totais também segue a hipótese da ocorrência de sedimentação no reator, sobretudo por apresentar pouca agitação do substrato no interior do sistema, tratando-se de um biodigestor modelo Indiano sem agitação mecânica e com alto tempo de retenção hidráulica. Analisou-se que este tempo de retenção hidráulica (50 dias), com o prolongamento dos abastecimentos até os 120 dias, pode ter contribuído para a sedimentação dos sólidos, reduzindo seus teores na saída do sistema para 4,75% no último mês.

Produção de Biogás

Na Figura 18 apresenta-se o monitoramento da produção de biogás, quantificada durante todo o período de operação. Os valores foram expressos pela produção média semanal.

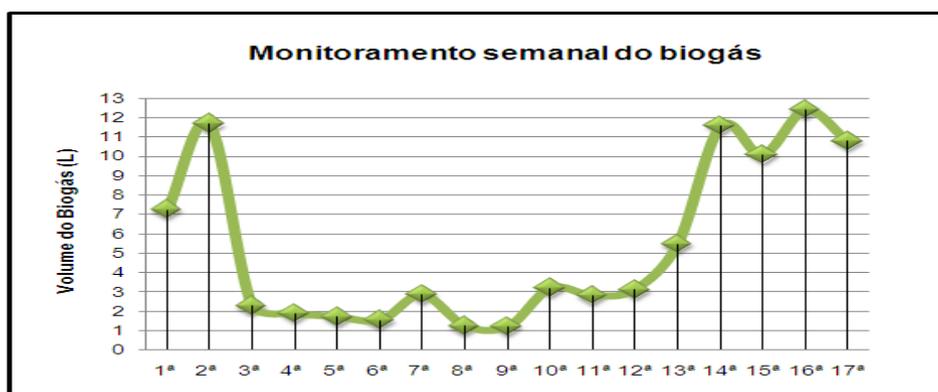


Figura 18: Monitoramento semanal da produção de biogás.

A produção de biogás, embora já ocorresse anteriormente, durante a partida, se deu de forma mais efetiva com o início dos abastecimentos. Na primeira e segunda semana de alimentação do biodigestor ocorreu, respectivamente, uma produção média de 7,24 L e 11,68 L de biogás. Entre a terceira e a nona semana ocorreu um declínio na produção média de biogás, variando entre 1,22 e 2,88 L.

O fato deste período entre a terceira e à nona semana, ter sido baixo e prolongado na produção de biogás está relacionado à qualidade e características do substrato, em específico, o esterco ovinocaprino por apresentar em sua composição materiais fibrosos que se formou na superfície da biomassa, constituindo-se numa camada seca e dura, formando uma crosta grossa que dificultou a passagem do biogás, provocando deste modo sua redução ao longo deste período. Este agravante foi revertido na sétima semana de operação com a abertura do reator para retirada da crosta, no qual, pode ter ocorrido uma pequena redução das bactérias anaeróbias formadoras de gás metano, ao entrar em contato com oxigênio.

Este comportamento do sistema pode estar associado principalmente, a lignina no esterco, visto que a presença destas frações em maiores quantidades compromete a degradação dos substratos, dificultando a redução do material orgânico no interior dos biodigestores. Fato este esclarecido em estudos de Nogueira (1986) que afirma se a matéria orgânica contém muita lignina, irão ocorrer dificuldades com a digestão e o material lenhoso tenderá a flutuar.

Apesar dos problemas gerados com o tipo de substrato, a produção de biogás, também pode estar relacionada à época do ano em que o biodigestor foi abastecido (período chuvoso). Pois em ensaio conduzido por Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004) foi observado que nas estações de verão e outono, com aproximadamente 50 dias de retenção haviam sido atingidos 90 e 60%, respectivamente, do total de biogás produzido durante todo o processo, enquanto que no inverno e primavera estes valores estavam em aproximadamente 5%. Logo, esta condição pode ser atribuída ao fato das bactérias metanogênicas serem bastante sensíveis a variações de temperaturas.

Após esse período, a produção semanal foi crescente, chegando à produção média na décima sexta e décima sétima semana, respectivamente, a valores de 12,42 L e 10,79 L de biogás por quilo de substrato.

No entanto, verificou-se que no decorrer de 17 semanas (período de 120 dias), a produção de biogás apresentou oscilação, obtendo-se uma produção média de 5,36 L/kg de substrato biodigerido. Quadros et al. (2010) em trabalho sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos caprinos e ovinos em biodigestor modelo Canadense (PVC flexível) de alimentação contínua, atingiram uma produção média de biogás de 3 L/kg de substrato. Estes valores foram menores que os encontrados no estudo de Amorim, Lucas Júnior e Resende (2004), que obtiveram uma produção de biogás de 20 L/kg de substrato, proveniente da combinação de esterco de caprino e água, adicionados em biodigestores modelo Batelada. Este resultado pode ser atribuído ao fato do

biodigestor utilizado pela referida autora ser construído abaixo da superfície do solo, evitando mudanças bruscas de temperatura, enquanto que, no estudo realizado o biodigestor foi confeccionado e instalado na superfície do solo, havendo oscilação de temperatura.

Já em estudos de Mogami (2005) sobre a produção de biogás dos substratos formados por dejetos de cabras, alimentadas com 3 dietas em biodigestores modelo Batelada com capacidade de 3,1 L em escala laboratorial, alcançou uma produção de biogás de 1,9 L/kg de substrato na dieta a base de capim, 1,8 L/kg de substrato na dieta a base de feno e 1,6 L/kg de substrato na dieta a base de silagem. Estas produções de biogás foram inferiores as encontradas no presente estudo. Todavia, vale ressaltar que o uso de manipueira para a diluição do esterco e o uso de 25% de biofertilizante acrescido ao substrato, pode ter contribuído na conversão da biomassa em energia, assim incrementando na produção de biogás.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A biodigestão anaeróbia demonstrou ser uma alternativa eficiente para o tratamento da combinação dos resíduos orgânicos (esterco, manipueira e 25% de biofertilizante), onde vale ressaltar que, a adição de 25% de biofertilizante favoreceu o desempenho do sistema sobre os aspectos pH, redução de sólidos totais e produção de biogás, com valores de eficiência superiores à vários resultados existentes em literatura. Entretanto, com os resultados encontrados no presente estudo, considerou-se que:

- O acréscimo de 25% de biofertilizante no substrato abastecido dia proporcionou uma elevação do pH, mesmo sem a adição de NaOH à 30%, alcançando valores de pH médio entre 6,0 à 6,42, já com a adição de NaOH à 30% o substrato obteve valores de pH médio entre 7,0 à 7,85;
- O uso de 25% de biofertilizante reduziu o consumo de hidróxido de sódio (NaOH à 30%), em aproximadamente 50%, quando observado que houve uma redução no consumo médio de 30 mL/dia para 15,87 mL/dia;
- O biofertilizante funcionou como corretor de acidez apresentando pH entre 6,27 e 7,80, atuando na transformação dos ácidos, neutralizando e elevando o pH, favorecendo assim, a estabilidade do sistema;
- A eficiência global do sistema na redução de sólidos totais foi de 40,85%;
- No decorrer de 17 semanas (período de 120 dias), a produção de biogás apresentou uma média semanal de 5,36 L/kg de substrato.

É importante ressaltar que, embora seja uma dificuldade atribuída ao sistema operacional, o uso do biodigestor modelo Indiano sem agitação mecânica dificultou a distribuição mais uniforme do substrato do meio. Tendo em vista que a agitação é essencial para evitar a formação de crosta na superfície.

Desta forma, estes resultados poderão ser utilizados como ferramenta para um melhor gerenciamento dos resíduos gerados pelas casas de farinha e/ou propriedades rurais (ovinocaprinocultura), visto que a biodigestão produz dois excelentes subprodutos, o biogás e o biofertilizante, que contribuirão não somente como propostas de modelos sustentáveis, mas também como forma de incrementar o lucro gerado por estas atividades.

REFERÊNCIAS

- ALAGOAS. **Anuário estatístico 2009**: caracterização dos municípios alagoanos. Maceió: Secretaria de Estado do Planejamento e do Orçamento, 2009.
- APHA. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 20 ed. Washington: American Public Health Association, 2000. CD-ROM.
- AMORIM, A. C.. **Caracterização dos dejetos de caprinos**: reciclagem energética e de nutrientes. 2002. 108p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.
- AMORIM, A. C.. **Avaliação do potencial de impacto ambiental e do uso da compostagem e biodigestão anaeróbia na produção de caprinos**. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
- AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T.. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004.
- BARANA, A. C.. **Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores**: fase acidogênica e metanogênica. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.
- CHERNICHARO, C. A. L.. **Reatores anaeróbios**: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 2 ed. Belo Horizonte: UFMG, 1997.
- CORDEIRO, G. Q.. **Tratamento de manipueira em reator anaeróbio compartimentado**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências de Alimentos) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- DEGANUTTI, R., PALHACI, M. C. J. P.; ROSSI, M. et al.. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 4. **Anais**. Campinas: 2002.
- FERNANDES JR, A.; **Digestão anaeróbica de manipueira em separação de fases**: cinética da fase acidogênica. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1995.
- IBGE. **Pesquisa da pecuária municipal**. Brasília: SIDRA, 2008.
- LANARV. **Análise de corretivos, fertilizantes e inoculantes**: métodos oficiais. Brasília: Secretaria Nacional de Defesa Agropecuária, Ministério de Agricultura, 1988.
- MIRANDA, R. M. B. et al.. Avaliação do tratamento anaeróbio de substratos oriundos da mistura do esterco bovino e manipueira. In: CONGRESSO DE PESQUISA E INOVAÇÃO DA REDE NORTE NORDESTE DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 4. **Anais**. Belém: CONNEPI, 2009.
- MOGAMI, C. A.. **Influência de diferentes dietas nas características dos dejetos de cabras leiteiras com vistas à produção de biogás**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- NOGUEIRA, L. A. H.. **Biodigestão**: a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1986.
- QUADROS, D. G. et al.. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.3, p.326-332, 2010.

SÁ, L.; LESSA, E. C.; ALMEIDA, R. A.. Economia no consumo de soda pela recirculação do efluente do reator UASB ao tanque de equalização. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. **Anais**. Recife: ABES, 2009.

SANTIAGO, A. D. et al.. Exploratório da cadeia produtiva da farinha de mandioca no agreste de Alagoas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11. **Anais**. Campo Grande: Sociedade Brasileira de Mandioca, 2005.

SANTOS, M. B. et al.. Estudo do tratamento de manipueira em biodigestores anaeróbios de fases separadas. In: SIMPÓSIO ALAGOANO DE GESTÃO AMBIENTAL, 1. **Anais**. Arapiraca: 2010. CD-ROM.

SEBRAE. **Manual de referência para casas de farinha**: boas práticas de fabricação. Maceió: SEBRAE Alagoas, 2006.