

Construção De Biodigestores De Batelada Para Escala Laboratorial¹

Caroline Thaís Eckert², Elisandro Pires Frigo³, Angelo Gabriel Mari⁴, Alvaro Mari Junior⁵,
Ana Claudia Cabral⁵, Anderson Eduardo Grzesiuck⁶ e Lucas Santos Dierings⁶

¹Aceito para publicação no 2º Trimestre de 2015.

²Mestranda em Engenharia de Energia na Agricultura na Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, carol.eckert@gmail.com

³Professor adjunto no Departamento de Engenharia e Exatas na Universidade Federal do Paraná- UFPR, epfrigo@gmail.com

⁴Doutorando em Engenharia Agrícola na Universidade Estadual do Oeste do Paraná- UNIOESTE, ea.angelo@gmail.com

⁵Doutorandos em Agronomia na Faculdade Ciências Agrônomicas- UNESP, professor.alvaro.mari@gmail.com, ea.anaclaudia@gmail.com

⁶Discentes do Curso de Agronomia da Universidade Federal do Paraná- UFPR, andersongrzesiuck@gmail.com, lucasdierings@live.com

Resumo: Este estudo teve como meta principal a adequação de materiais alternativos e a difusão de técnicas para a construção de biodigestores de batelada para escala laboratorial, apresentando uma análise econômica dos elementos construtivos assim como a alteração de condicionantes ambientais, para otimizar o ambiente de geração de metano. Houveram imperfeições projetuais, acarretando na perda de gás produzido, além da oxidação do material a ser biodegradado, no entanto, a metodologia de implantação da proteção dos biodigestores e o aquecimento, causaram aumento médio térmico de 5,7 °C durante o período avaliado. O experimento apresenta viabilidade econômica, quando comparado a materiais usuais para pesquisas em biogás, porém são necessárias averiguações quanto as conexões entre gasômetro e a câmara de fermentação, para que não ocorram perdas significativas.

Palavras-chave: análise financeira, geração de energia, materiais alternativos.

CONSTRUCTION OF BATCH BIODIGESTERS FOR LABORATORY SCALE

Abstract: This study has as main goal at adequacy of alternative materials and dissemination of techniques for building batch biodigesters to laboratory scale, presenting an economic analysis of constructive elements as well as the changing environmental conditions, to optimize the environmental methane generation. There were project imperfections, resulting in the loss of produced gas, in addition to the oxidation of the material to be biodegraded, however, the deployment methodology for protection and heating of biodigesters, caused thermal increase of 5.7% during the evaluated period. The experiment presents economic viability when compared to the usual materials for research on biogas, nevertheless investigations concerning the connections between the gas tank and fermentation chamber are necessary, to that significant losses will not occur.

Keywords: financial analysis, energy generation, alternative materials.

Introdução

Os digestores anaeróbios surgiram com o pressuposto de tratamento para resíduos agroindustriais, gerando biogás e biofertilizante, posteriormente utilizados como fonte de energia e adubação agrícola, sucessivamente.

A existência de diferentes modelos de biodigestores supriu a demanda de distintas épocas e finalidades. A ocorrência de plantas de biogás na Europa surge em meados da década de 30, em que o biogás era utilizado como alternativa para iluminação pública e combustível de automóveis. Porém, na década de 50, a importância decaiu devido à queda no preço de combustíveis e também a crescente utilização de fertilizantes minerais (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008).

O biogás apenas ressurgiu, tanto na Europa como no Brasil, a partir da crise do petróleo, em 1970, que impulsionou o retorno da produção. No entanto, a inexpressiva mão de obra especializada e os altos custos de implantação, impediram que a atividade obtivesse êxito.

Atualmente, a biodigestão retoma às suas primícias, de utilização como tratamento residual e posterior geração energética. Para tal abordagem, são necessários estudos laboratoriais tanto para a produção de biogás a partir de distintos substratos e inóculos, como o estudo de construção e viabilização de plantas de biogás.

Os modelos de biodigestores são elaborados de acordo com as características do substrato, assim como as características locais: solo, temperatura, quantidade de produção de matéria prima, características do substrato, entre outros (STURMER *et al.* 2011).

As propriedades rurais brasileiras possuem distintas características de produção agropecuária, assim como características edafoclimáticas, que definem os diferentes resíduos que podem ser produzidos em cada região (FREITAS, 2006).

Segundo Seixas (1981), todos os materiais de origem orgânica podem ser adequados para um biodigestor, com exceção da madeira. Substâncias fibrosas podem formar uma camada flutuante dentro do fermentador e que pode causar a queda de produção de gás.

Em um biodigestor de batelada, a granulometria do substrato varia, pois não ocorrem entupimentos com facilidade no modelo. Além de que, a diversidade de matérias primas que podem ser introduzidas para biodegradação mudam de acordo com a demanda do gerador de resíduos e da ambientação microbiana.

No processo de um biodigestor descontínuo, a câmara de biodigestão é completamente enchida apenas uma vez. O substrato degrada sem haver adições sequenciais ou ser descarregado,

até o término do tempo de residência. Conduzindo a uma variação temporal da produção e composição do gás.

A produção de gás aumenta até atingir o seu máximo produtivo, e no fim do processo, o fermentador é esvaziado, e apenas pequenas quantidades de material permanecem para inocular o próximo carregamento. Substrato novo é misturado com o substrato fermentado restante, para continuar a utilizar os microrganismos (DEUBLEIN e STEINHAUSER, 2008).

A construção de biodigestores de bancada reproduz modelos que serão implantados a campo, utilizando as mesmas características de produção, e prevendo possíveis adversidades que estejam vinculadas a instalação e aos produtos utilizados na construção, impedindo que as mesmas problemáticas sejam refletidas nos modelos rurais. No entanto, uma pequena planta de biogás é afetada por uma maior sensibilidade para as questões biológicas, devido à variabilidade de sua dieta alimentar e susceptibilidade a alterações térmicas, se tornando fatores relevantes no decorrer da pesquisa (BAVUTTI *et al.*, 2013).

A perspectiva apresentada sobre o biogás e a importância da modelagem de um biodigestor, são respaldados neste estudo, com intuito de utilizar materiais de baixo custo aliados a distintas matérias primas, e, de fácil operacionalização, para a produção de um biodigestor laboratorial com foco didático. Enfatizando também parâmetros processuais que aumentem a eficiência da digestão anaeróbia.

Material e Métodos

Descrição do local

O projeto foi desenvolvido na Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, que tem como clima classificado por Köppen-Geiger como subtropical úmido com verão quente e estações bem definidas. Segundo o Instituto Agrônomo do Paraná (IAPAR), Palotina possui a temperatura média anual de 22,5°C, índice médio anual de precipitação de 1700 mm, e com umidade relativa do ar de 72,5%.

Definição do experimento

Para o projeto de construção de biodigestores foram criadas condições ambientais para a biodigestão, assim como, testados diferentes substratos e inóculos para que se pudesse comprovar o funcionamento dos biodigestores.

A metodologia do trabalho foi desenvolvida especificamente para as condições locais de estudo, sendo dividida em quatro etapas: a construção da proteção para os biodigestores, construção dos biodigestores, a preparação do substrato para teste e o aquecimento térmico.

Construção da proteção

O intuito da construção da proteção para os biodigestores de batelada é de que não sofram alterações bruscas de temperatura, e que não estejam sujeitos a intempéries. Sendo elaborada com um telhado meia água e protegido com uma malha de tela de arame e lona.

O local da construção foi definido de acordo com a possibilidade de emissões de gases e mau odor, estando em local aberto e distante de outros experimentos que pudessem sofrer alterações.

Com a proteção do telhado, foi adicionada a isolamento térmica com placas de poliestireno expandido (EPS) fixadas nas paredes da armação com arame. Também foi fixada ao redor das paredes uma cortina de lona de PVC, para impedir que houvesse entrada de vento na proteção. Como pode ser observado na Figura 1:



Figura 1 – Construção de Proteção para Biodigestores de bancada.

Construção dos biodigestores

Baseado na construção dos biodigestores de Raheman e Mondal (2012) e utilizando de informações de mensuração do biogás proposta no trabalho de Caetano (1985), foi desenvolvido este modelo didático, de fácil construção e menores custos.

Utilizando-se vasilhames de plástico de três litros de capacidade, como fermentadores, sendo preenchidos até dois litros dos mesmos. O fermentador está ligado ao gasômetro por uma mangueira hermeticamente fixada na tampa do vasilhame, e que transportará o gás produzido ao gasômetro. Na Figura 2 pode ser visualizado o modelo de biodigestor desenvolvido.

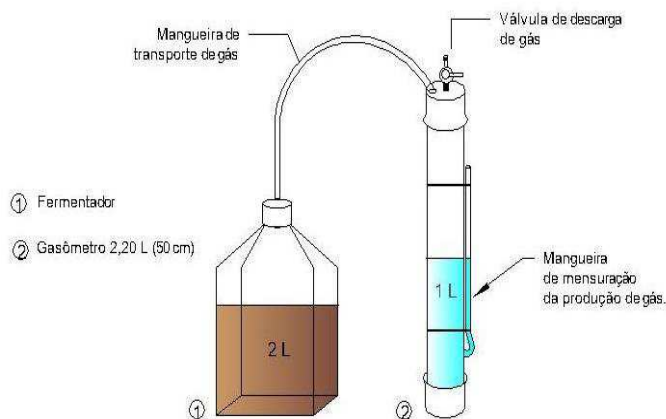


Figura 2 – Modelo do Biodigestor acoplado ao gasômetro, utilizado no experimento.

A mangueira de silicone flexível para transporte do gás, possui 50 cm de comprimento e diâmetro de 8 mm, tendo volume de $500 \text{ cm}^3 \cdot \text{m}^{-1}$. Estando fixada à tampa do fermentador com solda para PVC e finalizada com selante de poliuretano.

O gasômetro foi construído com cano PVC de 75 mm, tendo o comprimento de 50 cm e volume de 2200 cm^3 . Suas extremidades foram fechadas com duas tampas de PVC 75 mm, colados com solda para PVC.

Na tampa de PVC superior foi acoplada uma válvula para descarga de gás, e ao lado dela conectada a mangueira de entrada de gás no gasômetro, sendo as duas peças seladas com selante de poliuretano e solda para PVC.

Na lateral da base do gasômetro, foi fixada uma mangueira rígida de silicone de 15 mm de diâmetro, com comprimento de 40 cm. Tendo sua função de mensurar a produção de biogás. Na Figura 3 pode ser observado o gasômetro construído para o experimento, e na Figura 4, o mesmo estando acoplado ao fermentador.



Figura 3 - Gasômetro.



Figura 4 - Gasômetro acoplado ao fermentador.

O gasômetro foi preenchido com 1 L de água, esta que irá se deslocar no mesmo nível pela mangueira externa. A quantidade de água ou pressão inferida dentro do gasômetro irá alterar o nível d'água da mangueira externa. Quanto maior o volume de água deslocado, maior será a quantidade de biogás produzido.

A partir da quantidade de água previamente conhecida, a leitura será aferida a partir do nível d'água deslocado. O valor obtido da leitura será multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros de 75 mm, gerando o valor de $0,0044 \text{ m}^2$. Após cada leitura, os gasômetros foram esvaziados, utilizando um registro de descarga de gás.

A correção do volume de biogás nas condições de 1 atm e 20°C e de compressibilidade apresentam comportamento próximo ao ideal (CAETANO, 1985).

Para que seja realizada a correção do volume de biogás produzido, utiliza-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac, de acordo com a Equação 1:

$$\frac{V_o P_o}{T_o} = \frac{V_1 P_1}{T_1} \quad \text{Equação 1.}$$

No qual:

V_o = volume de biogás corrigido, m³;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de água;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V_1 = volume do gás no gasômetro;

P_1 = pressão do biogás no instante da leitura, 9652,10 mm de água;

T_1 = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

O volume de biogás produzido foi adaptado de acordo com o trabalho de Caetano (1985), calculado na Equação 2 abaixo.

$$n = \frac{[V_G + (V_m \times L)] \times P_{atm}}{P \times R \times T_m} \quad \text{Equação 2.}$$

Em que:

V_G = Volume do gasômetro (mL)

V_m = Volume por metro de mangueira (mL.m⁻¹)

L = comprimento da mangueira (m)

P = pressão de trabalho (mmH₂O)

P_{atm} = pressão atmosférica local (mmH₂O)

R = constante universal dos gases (cm³ . mmH₂O / K.mol⁻¹)

T_m = temperatura média do experimento (K)

n = número de mols.

A pressão de trabalho P calcula-se de acordo com um manômetro de tubo aberto, conforme a Equação 3:

$$P = P_o + \rho gh. \quad \text{Equação 3.}$$

P = Pressão de trabalho

P_o = Pressão inicial

ρ = densidade do líquido

g = gravidade

h = altura (m)

Sendo que h é a altura do nível d'água deslocado, e que será alterado a cada produção de biogás.

Após a leitura do volume de biogás produzido foi verificada a temperatura do local com um termômetro comum de mercúrio (SANTOS, 2001).

A temperatura média do experimento (com aquecimento) foi de 30,2°C acompanhada durante 30 dias de experimento. A temperatura irá alterar o peso específico da água, mas por convenção utiliza-se o valor de 9,745 kN.m⁻³ para a temperatura de 38°C.

Porém, os cálculos de mensuração de biogás não foram implantados no experimento devido à inconstância de produção e a problemas na armazenagem do biogás.

Exemplificando a utilização dos cálculos:

Em uma medição verificou-se que a temperatura do experimento estava em 30,2°C, e a altura (*h*) do nível d'água foi de 0,02 m. Sendo que *P_o* é 734 mmH₂O e o valor para aceleração da gravidade é de 9,8 m/s². Calcula-se inicialmente a pressão de trabalho *P*:

$$\begin{aligned} P &= P_o + \rho gh \\ P &= 734 + 1000 \times 9,8 \times 0,02 \\ P &= 930 \text{ mmH}_2\text{O} \end{aligned}$$

Posteriormente aplica-se o resultado de *P* na fórmula de mensuração proposta por Caetano (1985) (Equação 2), relembrando que para os valores, *V_G* é de 2200 cm³, *V_m* é de 500 mL/m com comprimento (*L*) de 0,5 m.

$$\begin{aligned} n &= \frac{[V_G + (V_m \times L)] \times P_{atm}}{P \times R \times T_m} \\ n &= \frac{[2200 + (500 \times 0,5)] \times 734}{930 \times 62,3637 \times 323,35} \\ n &= 0,09589 \frac{\text{cm}^3}{\text{mol}} \end{aligned}$$

A correção da produção de biogás efetuada na Equação 1, em que *V₁* é 0,000000959 m³ de biogás.

$$\begin{aligned} \frac{V_o P_o}{T_o} &= \frac{V_1 P_1}{T_1} \\ \frac{V_o \times 10322,72}{293,15} &= \frac{0,000000959 \times 9652,10}{323,35} \\ V_o &= 0,000000812 \text{m}^3 \end{aligned}$$

Tem-se, por fim, o valor corrigido da produção de biogás em 0,000000812m³.

Testes utilizando substratos

Empregou-se para os testes o resíduo alimentício obtido do Restaurante Universitário da UFPR – Palotina, vinhaça obtida da Mini Usina de Bioetanol da UFPR – Palotina e esterco suíno obtido da propriedade do senhor Darci Silvestre Eckert, de Novo Sarandi – Toledo.

Fez-se necessária a redução granulométrica do resíduo alimentício, pois o espaçamento entre grânulos facilitaria a presença de oxigênio no material (RUSSO, 2003), e diminuiria a área de contato para os microrganismos. Para tal, foi utilizado um triturador diminuindo o tamanho das partículas em até um centímetro quadrado.

A vinhaça não passou por nenhum processo de preparação para ser utilizado, assim como o esterco suíno. Os três substratos foram misturados em diferentes proporções e em diferentes biodigestores, totalizando 18 reatores anaeróbios.

Como inóculo foram utilizados esterco suíno, rúmen bovino e complexo bacteriano biodegradador (ENZIMAX), que foram adicionados em torno de 20% da massa total dos biodigestores.

A princípio foram realizadas inserções de misturas de vinhaça (líquido) e resíduo alimentício (sólido) nos 18 biodigestores. Cada biodigestor sendo caracterizado por um material sólido e outro líquido, gerando co-digestões.

Posteriormente, foram divididos subgrupos, em que teriam diferentes proporções de sólido e líquido, para que se pudesse verificar qual a melhor proporção dos materiais geraria maior quantidade de biogás. Os subgrupos são I: 75% sólido e 25% líquido, II: 50% sólido e 50% líquido, III: 25% sólido e 75% líquido.

Os biodigestores também foram distinguidos quanto à inclusão ou não de inóculo, sendo que nove biodigestores seriam inoculados e o restante não seria. Foram inoculados, primeiramente, com rúmen bovino, numa proporção de 20%.

Após a mistura e a disposição de todos os biodigestores, eles foram fechados hermeticamente, e organizados sob uma placa de aquecimento, construída para o experimento.

O experimento gerou três bateladas distintas, em que na primeira batelada foi empregado o inóculo de rúmen bovino, na segunda batelada utilizou-se esterco suíno e na última batelada foi introduzido inóculo do complexo bacteriano biodegradador.

Aquecimento térmico

Para este experimento, no aquecimento foram utilizadas lâmpadas incandescentes acopladas em uma placa de PVC, e estando acesas durante todo o dia.

Empregou-se oito lâmpadas incandescentes dispostas em uma placa de PVC com um metro de comprimento. As lâmpadas estavam organizadas a ponto de não estarem muito próximas às outras. De acordo com a Figura 5 abaixo:



Figura 5 – Placa de PVC com lâmpadas incandescentes para aquecimento.

A placa permaneceu suspensa sobre os biodigestores, utilizando cordas, estando a 20 centímetros acima dos biodigestores, evitando que houvesse algum processo de derretimento de mangueiras, devido ao aquecimento.

Resultados e Discussões

Os Resultados e Discussões foram descritos em três etapas: monitoramento, consistindo na observação de alterações durante o experimento e concepção dos resultados; custos, evidenciando os valores dispostos em todo o experimento; e o teste com substratos, demonstrando a sua empregabilidade.

Monitoramento

O experimento foi monitorado diariamente durante o período de prospecção do semestre acadêmico (abril a julho), tendo distintas imprecisões e falhas encontradas. Identificou-se como fatores negativos que influenciaram tanto em aspectos como produção e mensuração de biogás. Observando-se quedas de temperaturas, vazamentos nos gasômetros, luminosidade, assim como a introdução de inóculo e a qualidade do mesmo.

No primeiro mês de experimento constatou-se que a queda brusca de temperatura estava influenciando negativamente no experimento, pois possuía uma média de temperaturas de 15°C nas

primeiras duas semanas. Sendo que houveram picos negativos de até 5°C nesse período, inviabilizando a biodigestão.

A temperatura diária e das estações influenciam tanto na ação dos microrganismos, quanto na quantidade de umidade presente no biogás. Além de ser um parâmetro que possibilita possíveis alterações na quantidade de gás e substâncias orgânicas voláteis dissolvidas na solução concentrada de amônia e gás sulfídrico (BURKE, 2000).

Respaldado por Silva (2001) *apud*. Miranda (2009) as variações de até 2°C de temperatura do substrato no intervalo de um dia, podem paralisar a produção de biogás. Portanto, recomenda-se a construção de biodigestores rurais subterrâneos, pois a temperatura no solo é menos variável que no ar ao longo do dia. O que não foi possível para os biodigestores em escala laboratorial, devido a área de contato, que mesmo enterrado absorveria variações térmicas superficiais.

Para a reversão desse primeiro percalço, foram embutidas na proteção dos biodigestores uma parede de isolamento térmico com placas de poliestireno expandido (EPS), e o aquecimento, de baixo custo, com a implantação de uma placa com lâmpadas incandescentes (Figura 6).



Figura 6 – Construção e adaptações realizadas na proteção para os biodigestores.

As alterações térmicas foram acompanhadas, obtendo uma média de temperaturas entre os valores de 30,2 °C, para a temperatura abaixo das lâmpadas (TL), e de 22,8 °C, para a temperatura dentro da proteção dos biodigestores (TC), de acordo com a Figura 7.

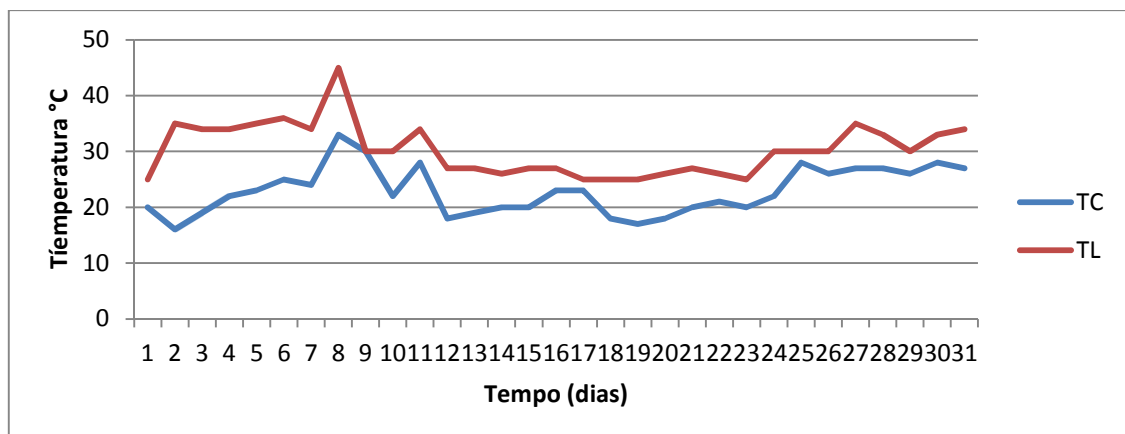


Figura 7 – Variação de Temperaturas no decorrer do experimento (com aquecimento): (TC): Temperatura dentro da proteção dos biodigestores; (TL): Temperatura abaixo das lâmpadas.

Como ressaltado na Figura 7 observa-se que houve uma variação entre 5°C a 10°C, obtendo como média uma variação de 5,7°C. Mesmo que não obtivesse equilíbrio na temperatura, o experimento propiciou melhores condições de digestão anaeróbia no período mais frio do ano.

O segundo contratempo encontrado foram os vazamentos dos gasômetros, que por possuírem selantes de poliuretano, material considerado flexível, e colas de PVC, caracterizado como rígido, para fixação de mangueiras, sofriam pressão da água, causando rachaduras na cola de PVC e expandindo o selante de poliuretano, rompendo, conseqüentemente, a vedação.

Foram realizados consecutivos consertos até que todos os gasômetros pudessem ser instalados, assim como a biodigestão pudesse ser estabelecida. Para tal, o substrato teve de ser descartado e novamente preparado para a biodigestão, pois ocorreu o processo de oxidação durante o período de conserto dos gasômetros, inibindo as *archeas* metanogênicas.

Constatou-se que a utilização de vedação de poliuretano, se tornou flexível, e com fácil rompimento. E a utilização de conectores de PVC com cano PVC cristal rígido seria melhor opção para implementação, como pôde ser visualizado no trabalho de Caetano (1985), em que implantou o sistema de conector com mangueira para abastecimento dos biodigestores.

Opcionalmente foi abordado no experimento de Raheman e Mondal (2012) que utilizaram uma proveta de vidro, como gasômetro, com uma mangueira cristal rígida fixada em sua lateral, para o deslocamento da água. A proveta foi vedada com uma tampa de vidro e preenchida com um volume de água conhecido. A mensuração é realizada na própria proveta, por diferenças de nível d'água.

Mais uma condicionante negativa para a biodigestão é a luminosidade, como afirmado por Deublein e Steinhauser (2008), pois os vasilhames utilizados inicialmente para o experimento eram

transparentes, desde os que foram empregados para o transporte da matéria prima, até os que foram utilizados como fermentadores.

Foram adotadas medidas de remediação para luminosidade utilizando fita térmica de alumínio e embalagem de plástico preta. A fita possui aderência a material plástico, sendo facilmente fixada. E a embalagem preta foi uma garantia para que não houvesse contato luminoso com os microrganismos.

De acordo com Kumar e Bai (2005), em experimento utilizando distintos materiais constituintes da câmara de fermentação, constataram que o de plástico preto obteve maior desempenho e com maior composição de metano, comparativamente com os biodigestores de estanho, plástico translúcido, plástico de cor castanha, plástico transparente e de vidro.

A introdução de inóculos aos biodigestores também pode ter sido relevante para que a digestão anaeróbia não ocorresse. A competição entre microrganismos nativos e introduzidos depende energia de ambas as bactérias, e aumenta o tempo para adaptação e posterior metabolização de matéria orgânica (BARCELOS, 2009).

Outro fator interligado ao inóculo é quanto à qualidade do mesmo, pois a reutilização contínua de inóculos de vários ciclos de fermentação implica a sua qualidade, assim como a disponibilidade de nutrientes que estavam no substrato para os microrganismos. Sendo que o inóculo obtido já estava disposto em esterqueira sofrendo o processo de fermentação do material há alguns meses (XAVIER *et al.* 2010).

Custos

No tocante à análise financeira, o experimento teve o intuito de buscar a minimização dos custos na elaboração de um biodigestor de batelada laboratorial, sendo possível contar com os mesmos parâmetros e condições para biodigestão encontrados em uma planta de biodigestão rural.

Os elementos principais do experimento foram subdivididos em: Proteção para os Biodigestores, Aquecimento dos Biodigestores e os Biodigestores. Contendo em cada subdivisão os materiais necessários para construção, como pode ser observado na Tabela 1, a seguir:

Tabela 1 - Materiais utilizados no experimento e seus devidos custos.

Elemento	un.	Materiais constituintes	Valor
Proteção	1	Madeiras, telhas, arame, lona, parafusos e pregos	R\$ 280,00
Aquecimento	1	Extensão elétrica, da placa de PVC e das lâmpadas	R\$ 161,00
Biodigestores	18	Vasilhames de plástico transparente (3 L), canos de PVC (75 mm), tampas de PVC (75 mm), mangueira cristal flexível de 1/8 polegadas, mangueira cristal rígida de 1/4 polegadas, válvula de descarga de gás, selante de poliuretano e solda para PVC	R\$ 582,70

Levando em consideração apenas os valores para Biodigestores, o valor unitário de cada unidade foi de 33 reais, pressupõe-se que o experimento se torna viável em relação a outros materiais propostos nos trabalhos já citados, como: vidros, conexões em PVC, fermentadores em aço inox, entre outros.

Testes com substratos

Foram realizados testes de funcionamento dos biodigestores com substratos mencionados anteriormente (resíduo alimentício, vinhaça). Que foram dispostos em diferentes etapas de realização do experimento, devido as condicionantes errôneas aos quais os sistemas de biodigestão foram impostos.

Na primeira etapa, utilizando inoculação com rúmen bovino, houve queda brusca de temperatura e o material foi descartado, pois havia grandes possibilidades de inibição pelo declínio térmico.

Montou-se novamente o sistema, com as mesmas divisões de substrato, (grupos: I: 75% sólido e 25% líquido, II: 50% sólido e 50% líquido, III: 25% sólido e 75% líquido) porém, com a substituição do inóculo bovino por inóculo suíno, na mesma porcentagem.

Houve novamente quedas bruscas de temperatura, causando o descarte do material. Nesse ponto foram instaladas as paredes de EPS e o aquecimento com lâmpadas incandescentes.

Foram instalados novamente os biodigestores, alterando o inóculo, utilizando um complexo bacteriano biodegradador. Porém houveram diversos vazamentos nos gasômetros, o que impediu o sucesso do experimento.

Alguns dos vazamentos não foram absolutamente contidos, devido ao grande número de orifícios que não permaneceram obstruídos, descartando então uma replicata dos biodigestores, resultando em 12 exemplares.

A última tentativa de biodigestão aconteceu no dia 02/06/2013, utilizando as mesmas divisões de substratos, e utilizando inóculo suíno.

A problemática final foi a iluminação que estava inibindo as *archeas* metanogênicas, e mesmo com fixação de fita térmica de alumínio e embalagens plásticas escuras, não ocorreu nenhum processo de biodigestão. Pois tanto o transporte como a instalação dos fermentadores foi realizada em vasilhames transparentes, o que pode ter inibido antes da tentativa de reversão da condicionante.

Os testes com substratos não demonstraram eficácia, pois não houveram produções suficiente para a mensuração, devido a vários fatores supracitados, porém o baixo custo dos biodigestores, e a fácil implantação dos mesmos em escala laboratorial, indica que podem ser utilizados para futuras pesquisas com biodigestão, sendo que deverão ser averiguadas todas as problemáticas e adaptadas a modelos com menos imprevistos.

Conclusão

A geração de energia a partir de resíduos alimentícios e vinhaça é uma demanda extremamente local, sendo que a Universidade produz um volume grande em consideração a falta de sistemas de tratamentos para tais resíduos.

O experimento mostrou ter viabilidade econômica, porém não obteve viabilidade técnica quanto sua empregabilidade devido aos fatores:

- Vazamentos nos gasômetros, causando sequenciais consertos e oxidação do material, pois não havia vedação nesse período;

- Qualidade do substrato, a baixa quantidade de nutrientes disponíveis e a eficiência microbiana nativa causando inibição da biodigestão;
- Competição microbiana, entre o inóculo adicionado e a microbiota nativa, gerando competição do consumo dos nutrientes disponíveis;
- Luminosidade, que esteve presente desde a coleta de substrato até nos biodigestores, inibindo as *archeas* metanogênicas.

Portanto, para trabalhos futuros, é necessário que seja realizada a introdução de técnicas como o aquecimento com lâmpadas incandescentes para minimizar o efeito térmico do inverno, assim como utilizar vasilhames de material opaco ou escuro para que não haja a interferência luminosa, são imprescindíveis para a reprodução deste experimento.

Conjuntamente com a utilização de materiais opcionais para selantes de poliuretano e colas de PVC ou a implantação de conexões não flexíveis, ou mesmo o emprego de outra metodologia de mensuração de biogás, para que o gasômetro não seja fator de sensibilidade no projeto.

Referências

BARCELOS, B. R. **Avaliação de diferentes inoculos na digestão anaeróbia da fração orgânica de resíduos sólidos domésticos**. 2009. 51f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Faculdade de Tecnologia da Universidade de Brasília, Brasília.

BAVUTTI, M., GUIDETTIA, L., ALLESINAB, G., LIBBRAB, A., MUSCIOB, A., PEDRAZZIB, S. 2013. **Thermal stabilization of digesters of biogas plants by means of optimization of the surface radiative properties of the gasometer domes**. 68th Conference of the Italian Thermal Machines Engineering Association, ATI2013. Energy Procedia.

BURKE, D. A. **Dairy Waste Anaerobic Digestion Handbook**. 2000. 18 f. Disponível em: <http://www.mrec.org/pubs/dairy%20waste%20handbook.pdf> Acessado em: 02/07/2013

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Área de Concentração de Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.

DEUBLEIN, D., STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. 2008. 114 - 120 p.

FREITAS, D. F., **Caracterização de Resíduos Sólidos Domiciliares na cidade satélite do Varjão – DF**. 2006. 11f. Dissertação (Mestrado em Ciências da Saúde) Faculdade de Ciências da Saúde, Universidade de Brasília, Brasília.

IAPAR. **Cartas Climáticas do Paraná**. Disponível em: <http://www.iapar.br/modules/conteudo/conteudo.php?conteudo=599> Acessado em: 21/06/2013

KUMAR, K.V., BAI, R.K. **Plastic Biodigesters – a systematic study**. Department of Bio-energy. Energy for Sustainable Development. Volume 9, Issue 4, December 2005, Pages 40–49

MIRANDA, A. P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão Anaeróbia**. 2009. 65 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP, Jaboticabal.

RAHEMAN, H., MONDAL, S. **Biogas production potential of jathopha seed cake**. 2012. 26f. Agricultural and Food Engeneering Department. India institute Technology. Biomass and Energy. India.

SANTOS, T. M. B. **Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte**. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.

SEIXAS, J.; FOLLE, S. & MARCHETTI, D. **Construção e funcionamento de biodigestores**. Brasília, EMBRAPA/CPAC. 28 - 60p. Circular Técnica, 4, 1981.

STÜRMER, B., SCHMID, E., EDER, M. W., **Impacts of biogas plant performance factors on total substrate costs**. 2011. 1553 f. Science Direct.

UFG. **Classificação Climática de Kopper- Geiger**. Disponível em: http://portais.ufg.br/uploads/68/original_Classifica___o_Clim__tica_Koppen.pdf Acessado em: 21/06/2013.

XAVIER, C. A. N., LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de Dimensionamento para Biodigestores Batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem o uso de inóculo**. 2010. 215f. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n2/v30n2a03.pdf> Acessado em: 02/07/2013

RUSSO, M.A.T. **Tratamento de Resíduos Sólidos**. 2003. Dissertação. Departamento de Engenharia Civil. Faculdade de Ciências e Tecnologia. Universidade de Coimbra. Disponível em: <http://homepage.ufp.pt/madinis/RSol/Web/TARS.pdf> Visto em: 23/07/2014.