REVISTA BRASILEIRA DE ENERGIAS RENOVÁVEIS

ESTUDO COMPARATIVO DE BIOGÁS PRODUZIDO COM RESÍDUOS ANIMAIS¹

LUCIMAR COSTA PEREIRA², MAYCON VIANA BALBINO², LORENA SARAIVA VIANA², NAYARA DO SOCORRO NASCIMENTO FARIAS², MARIA RENATA DA ROCHA XAVIER², WELLINGTON QUEIROZ RAMOS³, JOSÉ ANTONIO DE CASTRO CORREIO⁴

¹Publicado no 1º Trimestre de 2018;

²Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Pará, lu.costa0708@gmail.com, maycon.lbino@hotmail.com, lorenaengamb20@gmail.com, nayarafarias@outlook.com, renatarochax@hotmail.com;

³Graduado em Engenharia Ambiental pela Universidade do Estado do Pará, wellington.eng.amb@gmail.com;

⁴Professor Me. Assistente IV no departamento de Engenharia Ambiental- Energias Renováveis na Univeridade do Estado do Pará, antoniocastrosilva@hotmail.com.

RESUMO

O presente trabalho objetivou verificar a quantidade e a qualidade (a partir da concentração de NH_4 , CO_2 , NH_3 e H_2S) do biogás produzido por dois biodigestores do tipo batelada, abastecidos com esterco caprino e cama avícola, além de analisar qual das biomassas residuais apresenta melhores vantagens quando submetidas a processo de biodigestão anaeróbia. Foram construídos dois biodigestores, denominados B1 e B2. O primeiro foi abastecido com esterco caprino e o segundo com cama avícola. Ambos foram diluídos em água, em uma proporção de 1:1 e contaram com a adição de inóculo de esterco bovino, (11,5 kg diluídos em 11,5 L de água para B1 e 28,5 Kg diluídos em 28,5 L de água para B2. Os biodigestores permaneceram vedados em temperatura ambiente por seis semanas. Para quantificação de volume foram utilizados sacos plásticos de 2000, 1000 e 500 ml. Para análise de concentração foi usado o kit de análise de biogás portátil, proveniente da empresa Alfakit. B2 produziu maior volume (44,8 L) de biogás em comparação a B1. Este apresentou maiores concentrações de NH_3 e H_2S , porém, durante todos os dias de análise, apresentou

maiores concentrações de CH₄. O uso de uma das biomassas empregadas neste trabalho para produção de biogás depende dos objetivos da produção. Em caso de busca por qualidade energética imediata, o esterco caprino (com uso de inóculo bovino) torna-se uma excelente alternativa. Entretanto, se a busca por qualidade energética não é imediata, a cama avícola apresenta-se como excelente opção a partir da terceira semana de biodigestão.

PALAVRAS-CHAVE: biodigestor, biogás, metano ou resíduos animais.

COMPARATIVE STUDY OF BIOGAS PRODUCED WITH TWO TYPES OF ANIMAL WASTE

ABSTRACT

The present work aimed to verify quantity and quality (from the concentration of NH₄, CO₂, NH₃ and H₂S) of the biogas produced by two biodigesters of the batch type, supplied with manure goat and poultry bed, besides analyzing which of the biomass presents better advantages when submitted to anaerobic biodigestion process. Two biodigesters, called B1 and B2, were constructed. The first one was stocked with goat manure and the second with poultry bed. Both were diluted in water in a ratio of 1:1 and counted on the adoption of bovine manure inoculum (11.5 kg diluted in 11.5 L of water for B1 and 28.5 kg diluted in 28.5 L of water for B2). The biodigesters remained sealed at room temperature for six weeks. For quantification of volume were used plastic bags of 2000, 1000 and 500 ml. For concentration analyses was used the portable biogas analysis kit from the company Alfakit. B2 produced a larger volume (44.8 L) of biogas compared to B1. This presented higher concentrations of NH₃ and H₂S, but during all the days of analysis, presented higher concentrations of NH₄. The use of one of the biomass used in this work to produce biogas depends on the production objectives. In case of search for immediate energetic quality, goat manure (using bovine inoculum) becomes an excellent alternative. However, if the search for energy quality is not immediate, the poultry bed itself as an excellent option from the third week of biodigestion.

KEY WORDS: biodigester, quality, quantity.

Introdução

Diante da necessidade de se conseguir novas formas para se obter energia elétrica e garantir conforto e qualidade de vida para a sociedade, o homem está em constante busca por tecnologias e métodos que forneçam energia sem a geração de impactos, a chamada “energia limpa”. As tecnologias a base de fontes renováveis são interessantes não só devido às vantagens que trazem para o meio ambiente, mas também para a sociedade e a economia (XAVIER; SILVA, 2014).

A utilização de fontes alternativas de energia passou a ter um crescimento sem interrupção, em todo o mundo. Pesquisas e programas passaram a ganhar espaço, demonstrando a necessidade de utilizarem-se outros meios de geração de eletricidade (MALAGGI; SOUZA, 2014), como o aproveitamento da biomassa oriunda de atividades agroindustriais e domiciliares.

Os resíduos da produção animal, tais como dejetos (fezes, urina, cama avícola e restos de alimentos), representam grande quantidade de biomassa, e a reciclagem destes é grande importância para os aspectos econômicos e ambientais. Quando despejados em cursos d’água ou no meio ambiente, estes liberam gases do efeito estufa para a atmosfera, como o dióxido de carbono (SANTOS; NARDI JUNIOR, 2013).

Um dos processos de conversão energética da biomassa é a biodigestão anaeróbia, que consiste em um processo natural de fermentação no qual microrganismos anaeróbios produzem o biogás (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

A biodigestão anaeróbia é realizada com o envolvimento de diferentes tipos de microrganismos, que se encontram naturalmente no estômago e intestinos de animais de produção, principalmente de ruminantes. Tais bactérias atuam na ausência de oxigênio, convertendo compostos orgânicos complexos (carboidratos, proteínas e lipídios) em substâncias mais simples (CH_4 , CO_2 , entre outras), sendo este processo composto por quatro etapas, denominadas de hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (BALDACIN; PINTO, 2015).

Os biodigestores são caracterizados como uma das formas sustentáveis de obtenção de energia. Eles apresentam grandes vantagens para a questão ambiental. Em território brasileiro, estes se encontram presentes, principalmente no meio rural. As vantagens dos biodigestores estão ligadas a degradação da matéria orgânica oriunda de dejetos animais, redução dos odores, diminuição de patógenos, redução de coliformes e principalmente à possibilidade de aproveitamento do biogás produzido e o uso do lodo gerado como fertilizante (METZ, 2013).

O biogás é constituído de vários gases, mas os principais componentes são o metano (CH_4), que geralmente corresponde cerca de 70%, e o dióxido de carbono (CO_2), que corresponde a cerca de 30% da mistura. A qualidade do gás adquirido na biodigestão anaeróbia depende principalmente da quantidade de metano em sua composição. Entre os gases que corresponde a minoria na composição do biogás destacam-se o gás hidrogênio (H_2) com uma concentração que pode variar de 0 a 1%, o nitrogênio (0 a 7%), o oxigênio (0 a 2%), o ácido sulfídrico (0 a 3%), a amônia (0 a 1%) (POSSA, 2013).

O CO_2 , H_2S e NH_3 são classificados como impurezas, essas substâncias em concentrações elevadas interferem negativamente na qualidade do biogás. O CO_2 é uma substância não combustível que diminui o poder calorífico do biogás. O ácido sulfídrico (H_2S) é um gás incolor e exala um cheiro desagradável. Sua presença torna o biogás corrosivo para materiais metálicos, sendo necessários cuidados especiais na escolha dos equipamentos utilizados. O gás amônia apesar de ser encontrado em baixas concentrações torna-se corrosivo na presença de água, principalmente sobre o cobre, ao entrar em combustão pode emitir óxidos de nitrogênio que são nocivos à saúde e ao meio ambiente (BALDACIN; PINTO, 2015).

Nesse contexto, é verificável que resíduos animais que poderiam ser descartados de forma inadequada ambientalmente podem ser aproveitados para a produção de biogás, com fins diversos, como para produção de energia, uso veicular ou como substituo ao gás de cozinha. Entretanto, são necessárias análises de qualidade (considerando os teores de metano) e quantidade do biogás produzido a partir da biodigestão anaeróbia de dejetos animais para posterior utilização do mesmo.

Nessa vertente, o presente trabalho teve como objetivo verificar a quantidade e a qualidade (a partir da concentração de NH_4 , CO_2 , NH_3 e H_2s) do biogás produzido por dois biodigestores do tipo batelada, abastecidos com esterco caprino e cama avícola e analisar qual das biomassas residuais apresenta melhores vantagens (volume produzido e qualidade do gás gerado) quando submetidos a processo de biodigestão anaeróbia.

Materiais e Métodos

Materiais

O processo inicial de trabalho consistiu na construção dos dois biodigestores. Os materiais utilizados na produção dos biodigestores foram adquiridos em lojas de materiais de

construção. A tabela 1 apresenta uma listagem dos materiais utilizados e a quantidade necessária para construção dos biodigestores.

Material	Quantidade
Adaptador com flange de 20	2 unidades
Joelho de 20X90	2 unidades
União de 20	2 unidades
Registro de metal	2 unidades
Adaptador PVC fêmea	2 unidades
Meia vara de cano PVC de 20	1 unidade
Bombona PVC 200L	2 unidades
Adesivo plástico para tubos de PVC rígido	1 unidade
Cola junta motor	2 unidades
Veda rosca	1 unidade

Tabela 1. Materiais utilizados na construção dos biodigestores.

Construção dos biodigestores

Foram construídos dois biodigestores de modelo caseiro (tipo batelada), denominados B1, B2. O material mais utilizado foi o PVC. Os recipientes usados para construção dos biodigestores foram três bombonas “tambores” que possuem capacidade aproximada de 200L (0,2 m³), com 0,89 m de altura, 0,58 m de diâmetro e um raio de 0,29 m. O tipo de bombona utilizada possui apenas duas saídas na parte superior, que são rosqueadas, localizadas nos seus extremos, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1- desenho esquemático dos biodigestores. Fonte: adaptado de Xavier e Silva (2014).

O processo de construção dos biodigestores, assim como a metodologia de determinação de quantidade de biomassa para abastecê-los teve como base o trabalho desenvolvido por Xavier e Silva (2014).

Para captação do biogás, para realização das análises foi construída uma canalização a qual foi inserida na parte superior dos biodigestores. Para isso, foi adaptada uma entrada para um flange de 20 mm. Para entrada deste foi feito um orifício com a mesma medida da rosca do flange na parte superior do biodigestor. Os materiais utilizados para construção da canalização foram tubos, válvulas, conexões soldáveis de PVC com medida de 25 mm de diâmetro, e para soldar os componentes foi utilizado adesivo plástico para PVC e cola junta motor. Os Biodigestores já montados com todas as suas peças já soldadas podem ser visualizados na Figura 2.

Figura 2 – biodigestores construídos. Fonte: os autores.

Abastecimento dos biodigestores

Após a construção dos biodigestores, iniciou-se o processo de abastecimento dos mesmos, com esterco caprino em B1 e cama avícola em B2. Os estercos caprino e avícola foram coletados na Colônia do Uraim, localizada na zona rural do município de Paragominas-PA. Foi realizada uma única coleta das biomassas no local especificado anteriormente. Para isso foram usados 4 baldes com capacidade de 20 L.

Para determinar-se a quantidade de mistura necessária para abastecer metade dos biodigestores foi realizado a diluição de 7,5 Kg de biomassa em 7,5 L de água em um balde com capacidade de 20 L. Em seguida, pesou-se essa mistura, descontando-se o peso do balde, e realizou-se o cálculo do volume ocupado pela mistura no balde. Com os dados referentes ao volume ocupado pela mistura no balde e a quantidade de mistura, foi possível efetuar-se uma regra de três para determinar a quantidade de mistura necessária para abastecer metade dos biodigestores.

Os cálculos efetuados estão especificados abaixo.

Equação utilizada para determinação dos volumes:

$$V = \pi \times R^2 \times H$$

- Volume ocupado pela mistura no recipiente (V)

$$H = 0,245 \text{ m}$$

$$R = 0,15 \text{ m}$$

$$V = \pi \times 0,245^2 \times 0,15$$

$$V = 0,0173180 \text{ m}^3$$

$$V = 17,3180 \text{ L}$$

- Volume da Bombona

$$H = 0,875 \text{ metros}$$

$$R = 0,2925 \text{ metros}$$

$$V = \pi \times 0,29525 \times 0,875$$

$$V = 0,235 \text{ m}^3 - 235 \text{ L}$$

Logo temos que a metade da bombona possui um volume igual a 117,5 Litros. Realizando uma simples regra de três tem-se que:

17,3180 L ----- 14,5 Kg de mistura

117,5 L ----- X

X = 98,5.

Portanto, foram necessários 98,5 kg de mistura para completar a metade do biodigestor. O procedimento posterior consistiu em pesar a mistura (14,5 kg), na proporção definida (1:1) e preencher os biodigestores até completar a quantidade necessária. O procedimento de pesagem de 14,5 kg de mistura foi realizado seis vezes e uma única vez pesou-se 11,5 kg. A proporção de diluição foi baseada na metodologia usada por Jorge e Omena (2012).

Em B1 (esterco caprino) utilizou-se 11,5 kg de inóculo bovino fresco diluído em 11,5 L de água, em razão das características físicas do esterco no momento da diluição. Já em B2 (cama avícola), utilizou-se uma quantidade maior de inóculo (28,5 Kg), diluídos em 28,5 L de água, também em razão das características físicas do esterco, que estava misturado com serragem e muito seco. O esterco bovino foi coletado em dois baldes de 20 L em uma propriedade rural localizada às margens da PA 125 do município de Paragominas-PA.

A utilização de esterco bovino como inóculo objetivou ainda acelerar o processo de proliferação de bactérias metanogênicas. Esta técnica promove a produção de biogás em espaço de tempo menor que os dejetos de outros animais (SGANZERLA, 1983).

O tipo de funcionamento dos Biodigestores foi batelada, no qual foi realizado somente um abastecimento com esterco nos dois biodigestores. Os dejetos permaneceram dentro dos biodigestores vedados, em temperatura ambiente, durante seis semanas, tempo este destinado para realização das análises de concentração e volume. As análises foram iniciadas após uma semana de abastecimento dos biodigestores, sempre às 17:00.

Na determinação do volume de biogás produzido, considerou-se a quantidade coletada para análise de concentração e mais a quantidade restante no biodigestor. Foram usados sacos plásticos de 2000 ml, 1000 ml e 500 ml. À medida que o volume de gás reduzia no interior do biodigestor utilizavam-se os sacos com menor volume. As medições de vazões foram realizadas semanalmente, em um período de seis semanas.

Na determinação dos componentes do biogás, utilizou-se o kit portátil para análise de biogás, proveniente da empresa Alfakit, em parceria com a Embrapa Suínos e Aves, sendo este um kit patenteado. Ele permite a quantificação dos gases amônia (NH_3), sulfídrico (H_2S), dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4). O kit é composto dos materiais de coleta,

reagentes e materiais de análises para avaliação das amostras obtidas (SOUZA; RAMOS, 2016).

As análises de concentração de metano e dióxido de carbono foram realizadas durante 21 dias. O período de análise não se estendeu até o processo final da biodigestão em razão da falta de uma das soluções do kit biogás, denominada solução pré-tratamento 2, utilizada para determinar a porcentagem de CO₂ em uma amostra. A quantidade de metano é determinada pela diferença desta concentração.

Os dados obtidos nas análises tanto de concentração quanto de quantidade de biogás foram processados no software Excel 2013. Os resultados das análises de metano e dióxido de carbono foram tabulados diariamente, enquanto os dados das análises de amônia e gás sulfídrico foram tabulados a partir da média semanal de produção de biogás.

Resultados e Discussão

Produção de biogás

Os dois biodigestores produziram quantidades de biogás claramente distintas. B2 produziu um maior volume (99,8 L) de biogás ao longo das seis semanas, enquanto B1 apresentou uma produção mais reduzida (55 L) (figura 3).

Figura 3 - produção de biogás a partir da fermentação anaeróbia de resíduos animais em condições mesofílicas em batelada para B1 e B2. Fonte: os autores.

A menor produção de biogás em B1 estar relacionada ao fato de que os dejetos de animais ruminantes, como exemplo o carneiro, apresentam elevadas concentrações de fibras e

potenciais reduzidos de produção de biogás, em comparação com os outros tipos de dejetos, como a cama avícola (AMORIM; LUCAS JÚNIOR; RESENDE, 2004). Esta disparidade de produção volumétrica de biogás pode ser mais bem evidenciada na análise da figura 3, quando na sexta semana B1 teve sua produção cessada, enquanto B2 continuou a produzir.

É verificável ainda pela análise da figura 3, que a produção de B1 foi decrescente ao longo das semanas de quantificação volumétrica enquanto B2 alcançou pico na segunda semana e passou a ter volumes mais reduzidos posteriormente.

Análises de Concentração

Amônia (NH_3)

Os resultados das análises de concentração de amônia demonstraram que somente na segunda semana, a produção de NH_3 em B1 foi menor que em B2. Nas outras semanas (1, 3 e 4), B1 apresentou uma produção mais elevada de NH_3 em comparação a B2 (figura 4). Com exceção da segunda semana, para B1, a produção de amônia elevou-se ao longo do tempo de análises, como mostra a figura 4.

Figura 4 - médias semanais de concentrações de amônia a partir da fermentação anaeróbia de resíduos animais em condições mesofílicas em batelada para B1 e B2. Fonte: os autores.

A maior concentração de NH_3 na segunda semana em B2 pode estar ligada a quantidade de biogás produzido durante esta semana (28,5 L), conforme mostra a figura 3. Esta foi a maior quantidade de biogás produzida durante as seis semanas de medições de vazões.

A concentração mais elevada de amônia em B1 (caprino) pode estar relacionada à caracterização da dieta dos carneiros, realizada a partir de sal contendo uréia, cloreto de sódio, ingrediente protéico (farelo de soja ou algodão) e energético (fubá de milho ou melaço) e mineral (sal mineral ou premix mineral), milho e capim. A qualidade da alimentação torna-se um dos elementos essenciais na nutrição dos animais, haja vista que afeta a quantidade e a qualidade do dejetos e consequentemente o processo de biodigestão para produção de biogás (HAACK, 2009).

Amorim (2002) evidenciou que teores de potássio, fósforo e principalmente nitrogênio em forma amoniacal, oriundos de dejetos caprinos são consideravelmente elevados em comparação aos dejetos gerados por outras espécies.

De acordo com Costa et al. (2006), a concentração menor de amônia na fase final da biodigestão (composição do biogás) de cama avícola está relacionada à eliminação desse gás na fase de hidrólise. Segundo os autores, nessa fase ocorre a volatilização da amônia, o que corresponde a quedas significativas nos teores de nitrogênio no produto final (biogás) (ORRICO JÚNIOR; ORRICO; LUCAS JÚNIOR, 2010).

Como o gás amônia, mesmo em concentrações baixas representa fator negativo na caracterização do biogás, são necessárias ações de “retirada” desse componente para posterior utilização. Em processos de limpeza (remoção de impurezas) do biogás, geralmente a amônia é removida juntamente com a água ou CO₂, sendo desnecessária uma etapa específica para sua remoção (SALAMON, 2007).

Gás sulfídrico (H₂S)

Durante o período de análises de gás sulfídrico, verificou-se que as maiores concentrações deste gás foram evidenciadas em B1, entretanto a diferença para B2 não foi expressiva (figura 5). A produção foi reduzindo gradativamente ao longo das quatro semanas, tanto em B1 como em B2.

Figura 5 - Médias semanais das concentrações de gás sulfídrico (H_2S) a partir da fermentação anaeróbia de resíduos animais em condições mesofílicas em batelada para B1 e B2. Fonte: os autores.

A concentração de gás sulfídrico constante no biogás depende da quantidade de enxofre presente na matéria orgânica. Geralmente, essa quantidade alcança níveis menores que 1 % da constituição do biogás, por isso são analisados em ppmV. É importante ressaltar que este composto, além de odorante, também apresenta elevada toxicidade, com limite de tolerância (TLV) de 8 ppm, de acordo com a NR-15 do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE, 1978) (SOUZA; RAMOS, 2016).

Em consideração a este limite, podemos evidenciar que os níveis de concentração média nos dois biodigestores apresentaram-se acima do nível de segurança para o Ministério do Trabalho, o que sugere uma medida mitigatória para utilização do biogás produzido a partir de esterco caprino e cama avícola.

Em trabalho realizado por Haack (2009), foi evidenciado que a concentração de gás sulfídrico no biogás produzido pela biodigestão de dejetos caprinos é mínima em comparação a produção de outros gases, tais como o metano e oxigênio. A faixa de concentração de H_2S é de 0 a 1%.

O decréscimo da produção de gás sulfídrico ao longo das semanas de biodigestão pode estar relacionado à redução da produção de ácidos orgânicos. Esta é realizada durante a fase ácida do processo de digestão anaeróbia, antecessora da fase metanogênica (SCHIRMER, et al. 2015).

Dióxido de carbono (CO_2) e metano (CH_4)

Durante o período de análise de concentração, a produção de CO₂ foi maior em B2 em comparação a B1 (figura 6), enquanto a produção de CH₄ apresentou resultados inversos a estes, ou seja, B1 apresentou maiores concentrações de metano em comparação a B2, evidenciando que a produção de CO₂ e CH₄ em % ocorreu de forma inversamente proporcional (figura 7).

*produção de biogás em fase final (zerada nesses dias)

Figura 6 - concentração de dióxido de carbono a partir da fermentação de resíduos animais em condições mesofílicas em batelada para B1 e B2. Fonte: os autores.

Figura 7 - concentração de metano a partir da fermentação de resíduos animais em condições mesofílicas em batelada para B1 e B2.

É na última fase do processo de biodigestão anaeróbia (metanogênese), que os substratos da fase anterior são metabolizados por bactérias metanogênicas e convertidos principalmente em gás metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), dando origem à mistura gasosa denominada biogás. Os dois gases citados anteriormente são os principais constituintes do biogás (AUDIBERT, 2011).

O biogás possui uma composição média de 50% a 65% de CH_4 e de 25% a 45% de dióxido de carbono (CO_2), e traços de H_2S , N_2 , H_2 , CO , O , e seu poder calorífico é cerca de 5500 Kcal/m³, quando a proporção em metano é aproximadamente de 60% (IANNICELLI, 2008). Neste contexto, podemos verificar que somente B1, apresentou durante todos os dias de análise, concentrações de metano satisfatórias do ponto de vista energético. De acordo com Haack (2009), os dejetos caprinos produzem em média 58% de metano e a produção fica em uma faixa de 50-70%.

Já B2, apenas nos dias 19, 20 e 21 apresentou condições satisfatórias de produção de metano, demonstrando de tal forma que somente a partir da terceira semana, a cama avícola demonstrou ser de qualidade para produção de biogás para fins energéticos.

A elevada concentração de dióxido de carbono em comparação a de metano em B2 evidencia que para utilização do biogás produzido pela biodigestão de cama avícola como

combustível energético, é necessária a realização de um processo de purificação. Tal ação é totalmente necessária, a queima *in natura* do biogás, em razão da presença do CO₂, é mais lenta e, energeticamente, libera menos calor por unidade de massa ou volume que os gases combustíveis convencionais, como o gás 18 liquefeito de petróleo, ou GLP e o gás natural (FARIA, 2012).

Conclusões

A biodigestão anaeróbia de dejetos de animais ruminantes e aves é uma das principais alternativas para produção de biogás em termos quantitativos e qualitativos. Do ponto de vista energético, o biogás produzido a partir da biodigestão de dejetos caprinos detém de maior qualidade em comparação ao que foi produzido a partir de cama avícola. Entretanto, a biodigestão de cama avícola, produziu uma maior quantidade de biogás e menores concentrações de amônia e gás sulfídrico, estando apto para utilização energética a partir da terceira semana de biodigestão.

Por isso, evidencia-se que a escolha entre os dois tipos de matéria orgânica utilizados neste trabalho depende dos objetivos da produção de biogás. Em caso de busca por qualidade energética, imediata, o esterco caprino (com utilização de inóculo bovino fresco) é mais indicado. Porém, se a busca por qualidade energética não é imediata e objetiva-se obter maiores volumes de produção, a cama avícola (com utilização de inóculo bovino fresco) torna-se uma escolha significativa.

Referências

AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, jan. /abr. 2004. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v24n1/v24n01a03.pdf>: Acesso em: 29 jun. 2017.

AMORIM, Ana Carolina. **Caracterização dos dejetos de caprinos: reciclagem energética e de nutrientes**. 2002. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Zootecnia, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2002.

BALDACIN, A. C. S.; PINTO, G. M. F. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás. **Revista Eletrônica FACP**, São Paulo, ano 03, n. 7, Jan. 2015.

FARIA, Rui Alexandre Pereira. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto: estudo de caso.** 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

HAACK, S.C. **Análise técnica e econômica para aproveitamento dos dejetos de caprinos em biodigestores no semiárido Baiano.** Dissertação (mestrado) - Curso de Economia, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2009.

IANNICELLI, A. L. **Reaproveitamento energético do biogás de uma indústria cervejeira.** 2008. 83 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade de Taubaté, São Paulo, 2008.

JORGE, L. H. de A.; OMENA, E. **Biodigestor.** Dossiê Técnico. SENAI/AM - Antônio Simões, 2012.

MALAGGI, M.; SOUZA, S. N. M. Estimativa do Potencial de produção de biogás e energia da indústria de abate de frangos no Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Paraná, v. 3, n. 0, p.151-162, mar. 2014. Disponível em:<<http://revistas.ufpr.br/rber/article/view/37927>>. Acesso em: 29 jun. 2017.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos.** 2013. 40 f. TCC (Graduação) - Curso de Especialista em Formas Alternativas de Energia., Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2013.

MTE. Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). **Norma Regulamentadora nº 15 – Atividades e Operações Insalubres**, 1978. Disponível em:<[http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20\(atualizada_2011\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/FF8080812DF396CA012E0017BB3208E8/NR-15%20(atualizada_2011).pdf)> Acesso em: 24 jun. 2017.

POSSA, R. D. **Tecnologia alternativa para purificação do metano contido no biogás proveniente da digestão anaeróbica de dejetos de suínos.** 2013. 89 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Toledo, 2013.

SALOMON, K. R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade**. 2007. 219 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Itajubá, Minas Gerais, 2007.

SANTOS, E.L.B.; NARDI JUNIOR, G. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos**, Botucatu, SP, v.4, n.2, p.80-90, Ag. 2013. ISSN 2176 – 4808.

SCHIRMER, W. N. et al. Avaliação da geração de gás sulfídrico no biogás gerado a partir de resíduos sólidos urbanos. **Ciência & Tecnologia: FATEC-JB**, Jaboticabal - SP, v. 7, n. 1, p. 1-15, 2015.

SGANZERLA, E. **Biodigestores: uma solução**. Porto Alegre. Agropecuária, 1983.
Disponível em:<
http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2011_tn_sto_143_904_18902.pdf>. Acesso em 04 jul. 2017.

SOUZA, M. D.; RAMOS, W. Q. **Avaliação qualitativa de biogás e biofertilizante produzidos a partir de um biodigestor em operação contínua**. 2016. 31 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Pará, Paragominas, 2016.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p.212-223, mar. 2010.

XAVIER, N. M.Q.; SILVA, U. I. P. **Construção de biodigestores e avaliação quanti-qualitativa do biogás produzido**. 2014. 77 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Ccnt, Universidade do Estado do Pará, Paragominas, 2014.

YADVIKA, S.; SREEKRISHNAN, T.R.; KOHLI, S.; RANA, V. Enhancement of biogas production from solid substrates using different techniques - a review. **Bioresource Technology**, Essex, v.95, n.1, p.1-10, 2004.