



PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM RELAÇÃO AO TEOR DE SÓLIDOS VOLÁTEIS DOS DEJETOS DE BOVINOCULTURA DE LEITE¹

Rafaely Weber², Dilcemara Cristina Zenatti³, Armin Feiden⁴, Caroline Monique Tietz²

¹ Aceito para publicação no 1º trimestre de 2014

² Tecnóloga em Biocombustíveis pela Universidade Federal do Paraná.

³ Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

⁴ Doutor em Energia na Agricultura pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho.

Resumo

Com o crescimento e a importância da produção de leite no setor alimentício, os dejetos advindos desta atividade mostram-se cada vez mais concentrados, fato consequente da busca pela melhor produtividade, causando problemas com sua disposição inadequada e acarretando em diversos passivos ambientais. Por isso, procuram-se maneiras de diminuir os impactos advindos desta produção, e nesse contexto a biodigestão anaeróbia se apresenta como uma alternativa com potencial para tal, gerando subprodutos (biogás e biofertilizante) que podem ser revertidos no próprio sistema de produção, obtendo-se renda e economia de recursos. Por este pressuposto, estudou-se a rotina de produção de dejetos da bovinocultura de leite na Estação Experimental da UNIOESTE em Marechal Cândido Rondon/PR, a fim de analisar a produção de biogás em relação ao teor de sólidos voláteis dos dejetos ali produzidos. Utilizando-se um biodigestor vertical e de regime hidráulico contínuo, com capacidade de 20 m³, adicionou-se aproximadamente 0,3 m³ de dejetos e água por dia, que em quatro meses produziram 396,85 m³ de biogás, uma média de 3,408 m³/dia, com teor médio de metano em torno de 60%. Através de métodos estabelecidos pela APHA (1995), os sólidos voláteis tiveram remoção média de pouco mais de 55,10%, mostrando a eficiência da biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de bovinocultura de leite.

Palavras-chave

Remoção, eficiência, biodigestão anaeróbia.

Abstract

With the growth and importance of milk production in the food sector, the waste from this activity show up increasingly concentrated, a fact resulting from the search for improved productivity, causing problems with their improper disposal and environmental liabilities resulting in several. Therefore, we look for ways to reduce the impacts from this production, and in this context the anaerobic digestion is presented as an alternative with potential for such generating products (biogas and fertilizer) which can be reversed in the actual production system, obtaining if income and savings. On this assumption, we studied the routine production of dairy cattle manure in the Experimental Station of UNIOESTE in Marechal Cândido Rondon/PR in order to analyze the production of biogas in relation to volatile solids content of the manure produced there. Using a vertical digester and hydraulic regime continued, with a capacity of 20 m³ was added approximately 0.3 cubic meters of waste water per day and that in four months produced 396.85 m³ of biogas, an average of 3,408 m³ / day, with an average content of methane around 60%. By methods established by APHA (1995), volatile solids removal had averaged just over 55.10%, showing the efficiency of anaerobic digestion to treat waste from dairy cattle.

Introdução

Para atender a demanda de alimentos, as atividades agropecuárias crescem e se modernizam. Segundo MACHADO (2011), com o intuito de aumentar a produtividade, o setor de produção de leite adota técnicas que melhoram as condições de nutrição e genética dos animais, intensificando o uso de sistemas que os confinam em áreas cada vez menores, o que resulta em consideráveis concentrações no volume de dejetos produzidos.

O manejo inadequado destes dejetos pode acarretar na poluição de águas superficiais e subterrâneas, elevar a emissão de gases responsáveis pelo efeito estufa, além da preocupação com o alto teor de matéria orgânica e agentes patogênicos nos solos, devido ao seu acúmulo (MACHADO, 2011).

Segundo dados internacionais do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (United States Department of Agriculture – USDA), em 2011, o Brasil ocupava a segunda posição mundial em rebanho de bovino, perdendo apenas para a Índia (IBGE, 2012).

Ainda de acordo com dados do IBGE (2012), o Brasil possuía em 2011 um total de 212.797.824 cabeças de bovino, dos quais aproximadamente 10,0% representam o número de vacas ordenhadas, número que deixou o Brasil com a sexta posição mundial em produção de

leite naquele ano. Destacam-se como estados mais produtores Minas Gerais, com 27,3% da produção, seguido por Rio Grande do Sul (12,1%) e Paraná (11,9%).

Com relação aos municípios com maiores produções, Marechal Cândido Rondon/PR encontra-se na 13ª posição em nível nacional (IBGE, 2012).

Conforme DORAN & LINN (1979), um considerável volume diário de dejetos é gerado pelo confinamento de animais na produção leiteira, representando compostos orgânicos de alto teor energético, com grande concentração de matéria orgânica e agentes patogênicos, justificando a necessidade de manejo, sem que este onere demasiadamente a produção.

Segundo ORRICO JUNIOR et al (2010), dentre os sistemas de recuperação, a biodigestão anaeróbia merece um destaque especial, pois promove o tratamento e reciclagem dos dejetos, além de agregar valor às atividades com a produção do biogás e do biofertilizante, que podem ser revertidos ao sistema.

COLDEBELLA et al (2006) afirma que o desenvolvimento de fontes renováveis de energia possibilita a criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala, tornando-se tanto atrativo ambiental e social. Porém, o custo/benefício dessas tecnologias deve ser analisado, principalmente em se tratando de pequenos produtores.

Nesse sentido, BLEY JR. (2011) afirma que biodigestores podem formar condomínios de energia através de gasodutos. Este cooperativismo é interessante quando se trata de reunir a produção de biogás de pequenas propriedades de agricultura familiar, determinando uma economia viabilizadora e com resultados importantes na área ambiental, energética e econômica. Este é o caso do Condomínio de Agroenergia para a Agricultura Familiar, instalado na Microbacia do Rio Ajuricaba.

Este estudo visa o monitoramento de um biodigestor em escala experimental alimentado com dejetos de bovinocultura de leite de uma propriedade localizada em Marechal Cândido Rondon/PR.

Materiais e métodos

O local de estudo foi a Estação Experimental Prof. Dr. Antônio Carlos dos Santos Pessoa, pertencente à Universidade Estadual do Oeste do Paraná – *campus* de Marechal Cândido Rondon/PR. A propriedade está localizada na Microbacia do Rio Ajuricaba.

O biodigestor utilizado neste estudo é um modelo vertical, de fluxo contínuo, fabricado em fibra de vidro, da marca BioKöhler® Biodigestores, com tamanho de 20 m³. É um modelo de peça única que tem metade da sua estrutura enterrada no solo para ocupar menos espaço.

Apresenta um custo menor em relação a outros modelos, além de possuir longa durabilidade (GALINKIN e BLEY JR et al, 2009).

O estudo abrangeu os dejetos produzidos por aproximadamente vinte e quatro vacas leiteiras, que permaneciam no estábulo somente no período de ordenha, para alimentação. O estábulo depois de raspado é higienizado com água, fazendo com que os dejetos sejam misturados e então encaminhados à caixa de entrada do biodigestor, facilitando este percurso, que ocorre por gravimetria, aproveitando a diferença de nível entre o estábulo e o biodigestor.

Como a mistura de dejetos e água não seguia uma proporção estabelecida e variou conforme os hábitos de limpeza do estábulo, verificou-se que o teor de sólidos totais efetivamente adicionado ao biodigestor teve média de 3,98%, mostrando o excesso de água presente nos dejetos encaminhados para a biodigestão.

Na caixa de entrada, media-se com uma trena a profundidade em centímetros que esta encheu e então os dejetos e água eram homogeneizados por meio do sistema de bombas instalado.

A quantidade de dejetos e água alimentados foi calculada a partir da equação de volume de um cilindro. A alimentação do biodigestor ocorreu diariamente (exceto aos domingos) a partir de setembro de 2012, e o tempo de detenção hidráulica foi de 69 dias. O volume adicionado de água e dejetos teve uma média diária de 0,3 m³.

As coletas para análise da série de sólidos ocorreram duas vezes por semana. No início do estudo coletava-se nas quintas e sextas-feiras, passando para as terças e quintas-feiras, visando um melhor intervalo entre outras coletas. No período de estudo totalizaram-se 68 amostras, porém, consideram-se somente as amostras a partir da sétima semana, quando se disponibilizou de um segundo medidor de gás, totalizando assim onze semanas de estudo, nas quais se colheram 44 amostras, sendo 22 de afluentes e 22 de efluentes.

As amostras foram acondicionadas em garrafas PET reutilizadas de aproximadamente 500 mL. A primeira amostra era coletada na caixa de entrada do biodigestor, que com a alimentação libera um volume de dejetos já digeridos através do cano de saída, no qual se coletava a segunda amostra, sem que houvesse contato com o restante do material da lagoa. As amostras eram armazenadas em refrigeração para posterior análise.

O biogás produzido foi quantificado com aparelho medidor de gás fabricado pela LAO Indústria®, modelo G 0,6, projetado para medição de consumo doméstico de gás natural, GLP ou manufaturado, provido de um sistema de irreversibilidade, evitando a totalização da produção de gás no sentido contrário ao da instalação.

Outro medidor de gás de mesma marca foi utilizado para medição da perda de biogás durante a alimentação, fato que é explicado pela pressão que ocorre no interior do biodigestor quando se realiza essa atividade.

O teor de metano foi determinado por meio de um analisador de gás portátil da marca Dräger®, modelo X-am 7000. Este aparelho possui detecção de até cinco gases, sendo neste caso: metano, dióxido de carbono, ácido sulfídrico, monóxido de carbono e oxigênio.

A determinação da série de sólidos ocorreu de acordo com os métodos estabelecidos pela APHA (American Public Health Association) em 2005, sendo o método 2540-B correspondente aos sólidos totais; e o 2540-E aos sólidos fixos e voláteis (CEPPA, 2012).

Resultados e discussão

1. Produção de Biogás

A matéria orgânica presente nos dejetos, por meio da biodigestão anaeróbia, produz biogás e biofertilizante. Neste estudo, o volume adicionado de água e dejetos teve uma média diária de 0,3 m³, apresentando desvio padrão de 0,1 m³.

Dois medidores de biogás foram instalados, sendo um no fluxo normal de produção e outro em uma tubulação de escape. O primeiro medidor de gás contabilizou um total de 394,597 m³ de biogás produzidos nos quatro meses de operação do biodigestor (de novembro de 2012 a fevereiro de 2013). A média de produção diária deste medidor foi de 3,378 m³, com desvio padrão de 1,053 m³.

O segundo medidor de gás registrou uma perda total de biogás no valor de 2,253 m³ durante as alimentações ocorridas entre 18/12/2012 e 02/03/2013, período no qual se disponibilizou do equipamento. Apesar de ser uma perda, pelo fato de este biogás não seguir o fluxo normal de produção, esse valor também é contabilizado, sendo então, a produção total de biogás a soma do produzido com a perda, totalizando 396,85 m³, com média diária de produção de 3,408 m³.

SANTOS (2000) propôs que um animal leiteiro de 600 kg produz em média 0,98 m³ de biogás por dia. Conforme os resultados obtidos, cada animal produziu o equivalente a 0,142 m³ de biogás por dia, ficando abaixo do obtido pelo autor. Porém, no estudo os animais só permaneciam no estábulo durante o tempo de ordenha, aproximadamente quatro horas por dia.

Na Figura 1 está apresentado o gráfico da produção diária total, que se refere à produção registrada no medidor 1 somada ao medidor 2, enquanto a perda diária por alimentação se refere somente ao registrada pelo medidor 2, obtendo uma comparação de produção e perda a partir de 18/12/2012.

A média da produção diária de biogás no período citado foi de 3,761 m³, com desvio padrão de 0,898 m³, enquanto a perda de biogás no medidor 2 registrou média de 0,03 m³ e desvio padrão de 0,026 m³ de biogás.

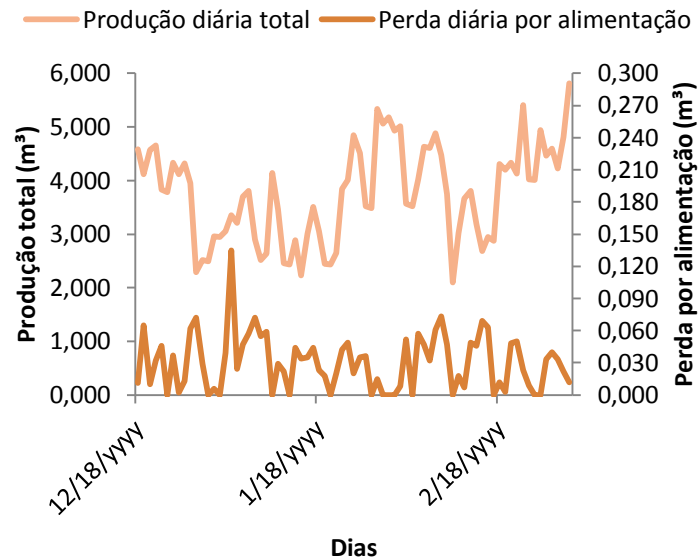


FIGURA 1: Produção diária total e a perda diária de biogás pela alimentação a partir de 18/12/2012.

2. Remoção de Sólidos

Os sólidos são toda a matéria presente no dejetos, que não seja água. Os sólidos voláteis compreende o material carbonáceo que será biodigerido e transformado em biogás (MACHADO, 2011).

Os sólidos voláteis apresentaram média nos afluentes de 32,66 mg/L, com desvio médio padrão de 7,58 mg/L. Os efluentes apresentaram como valores de sólidos voláteis a média de 13,70 mg/L, com desvio médio padrão de 5,50 mg/L.

Com base nesses valores, pode-se calcular a remoção dos sólidos voláteis no biodigestor. Este parâmetro teve como média o valor de 18,96 mg/L, sendo o desvio médio padrão de 8,28 mg/L. Na Figura 2 está apresentado o gráfico do comportamento semanal dos sólidos voláteis dos afluentes e efluentes, com sua respectiva remoção.

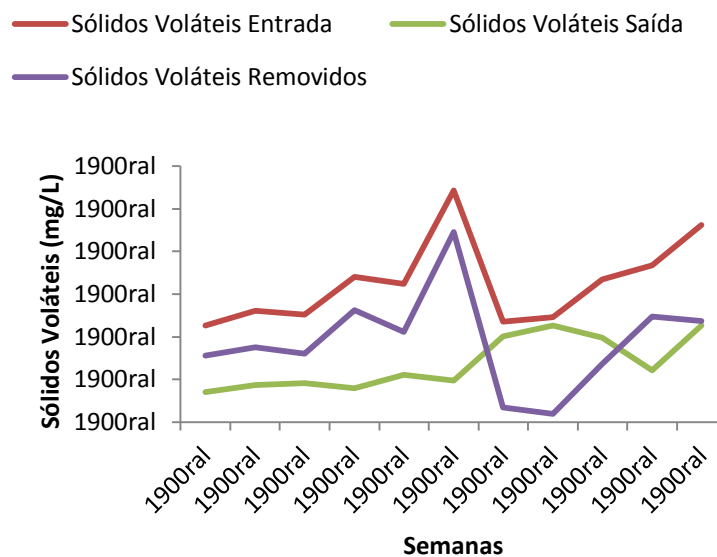


FIGURA 2: Quantidade de sólidos voláteis do afluente e efluente e a remoção dos sólidos voláteis.

Colocando estes valores em termos de porcentagem, a remoção dos sólidos voláteis apresentou média de 55,10%, com desvio médio padrão de 19,23%.

LEITE e POVINELLI (1999) estudaram o comportamento dos sólidos totais e voláteis no processo de biodigestão anaeróbia com resíduos sólidos urbanos e industriais, encontrando uma variação de remoção dos sólidos voláteis de 43,8 a 47,7% (com variações devido à heterogeneidade dos resíduos).

MENDONÇA (2009), que estudou o tratamento anaeróbio de efluentes de bovinocultura de leite, encontrou remoções de sólidos voláteis de 30,2 a 86,3%, conforme variação do tempo de detenção hidráulica. AMARAL et al (2004) obteve redução de sólidos voláteis de 26,42 à 40,64%, com média de 34,29%.

Sendo assim, pode-se afirmar que os dejetos de bovinocultura de leite apresentaram remoção de sólidos voláteis superior ou permaneceram dentro da faixa de variação obtidas pelos autores.

3. Eficiência de Remoção de Sólidos Voláteis e Produção de Biogás e Metano

A partir dos dados de sólidos voláteis, juntamente com as análises feitas no biogás com o analisador de gás, pode-se obter uma comparação entre a remoção de sólidos voláteis e a produção de biogás e metano, observada na Figura 3.

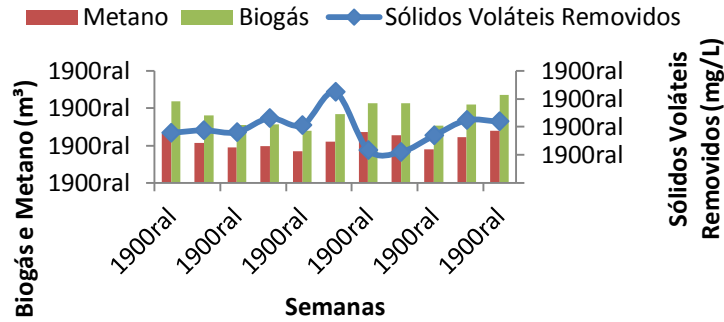


FIGURA 3: Quantidade de sólidos voláteis removidos em relação à produção de biogás e metano.

A média de produção de biogás ficou em 3,74 m³/dia, com desvio médio padrão de 0,56 m³/dia. Já a produção de metano teve média de 2,25 m³/dia, com desvio médio padrão de 0,34 m³/dia. Em porcentagem, a produção de metano teve média de 60,27%.

Como exposto anteriormente na Figura 2, a remoção média dos sólidos voláteis foi de 55,10%. Na Figura 4, pode-se observar o gráfico da eficiência de remoção dos sólidos voláteis comparada ao teor de metano do biogás.

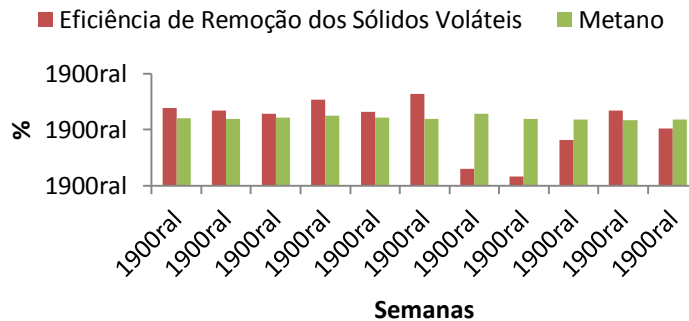


FIGURA 4: Porcentagem de remoção dos sólidos voláteis e produção de metano.

De acordo com o observado nas Figuras 2, 3 e 4, nas semanas 7 e 8 pode-se verificar uma discrepância em relação ao comportamento do reator na remoção dos sólidos voláteis, que não é refletida na produção de biogás e metano. Portanto, observa-se que nestas semanas ocorreu um erro sistemático na análise, pois a produção de biogás e metano segue o mesmo comportamento, até mesmo como um reflexo da produção registrada na semana 6, que teve o maior teor de metano registrado (64,02%), com a maior eficiência de remoção dos sólidos voláteis (82,01%).

Este erro pode ainda ser comprovado descartando-se os valores das semanas de erro, fazendo com o que a porcentagem de remoção dos sólidos voláteis suba para uma média de 64,81%, obtendo-se desvio médio padrão de 8,63%.

AMARAL et al (2004) estudou a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de detenção hidráulica e reatores, avaliando os componentes do biogás através de cromatografia, encontrando concentrações de metano de 53,66 a 60,04%. MENDONÇA (2009), que estudou o tratamento anaeróbio de dejetos de bovinocultura de leite em biodigestor tubular, encontrou concentração de metano no valor de 66,46%.

A média de metano no biogás deste estudo foi de 60,27%, portanto, na mesma faixa encontrada pelos autores. Outros indicadores analisados podem ser verificados na Tabela 1.

TABELA 1: Demais indicadores obtidos no estudo.

INDICADOR	VALOR OBTIDO
(1) Carga Orgânica Média Diária (kg por m³ de reator)	4,341 kg de ST 0,428 kg de SV
(2) Produção Total Média Diária de Biogás (m³ biogás/m³ reator * dia)	396,85 m ³
(3) Produção Específica Média Diária (m³ biogás/m³ reator * dia)	0,1704 m ³
(4) Rendimento sobre Sólidos Totais (m³ de biogás/kg ST adicionados)	0,039 m ³
(5) Rendimento sobre Sólidos Voláteis (m³ de biogás/kg de SV removidos)	0,627 m ³
(6) Redução de Sólidos Totais	46,6%
(7) Redução de Sólidos Voláteis	54,66%

FEIDEN et AL (2004), no seu estudo com dejetos de suinocultura obteve os seguintes resultados: (1) 0,931 kg de ST e 0,634 kg de SV; (2) 289,50 m³; (3) 0,362 m³; (4) 0,389 m³; (5) 0,571 m³; (6) 68,67%; e (7) 80,16%.

Considerando o indicador (1), os dejetos bovinos apresentam maior carga orgânica de sólidos totais devido à presença de volumoso em sua alimentação, o que não acontece com os suínos. O volumoso é constituído basicamente de lignina e celulose, que é uma matéria carbonácea de difícil redução na digestão anaeróbia. Assim, por maior que seja a carga orgânica de sólidos totais, os sólidos voláteis de bovinos de leite serão menores comparados à suinocultura.

Isso também explica o indicador (3) e (4), que foram menores comparados aos obtidos pelo autor, mostrando que os dejetos de suínos possuem maior teor de sólidos voláteis, produzindo mais biogás e obtendo-se assim um melhor rendimento de produção.

O indicador (2) apresentou maior valor que o obtido pelo autor, o que pode ser explicado pelo tempo de detenção hidráulica, que no estudo foi de 24 dias a mais que o utilizado pelo autor.

Avaliando o indicador (5), o valor obtido foi maior do que o encontrado pelo autor, mostrando que a remoção dos sólidos voláteis presentes nos dejetos de bovinocultura de leite está diretamente ligada à produção de biogás.

Esta análise também foi realizada por AMARAL et al (2004) em seu estudo sobre a produção de biogás, obtendo valores de 0,2989 até 0,5324 m³ de biogás por kg de sólidos voláteis removidos. MENDONÇA (2009) obteve produções de biogás de até 1,013 m³ de biogás por kg de sólidos voláteis removidos. Ainda sim, o valor obtido no estudo fica na faixa encontrada pelos autores.

4. Equivalência Energética

Segundo a equivalência energética proposta por SGANZERLA (1983), pode-se mensurar que a quantidade de biogás produzida nos quatro meses de operação do biodigestor corresponde a 7,48 botijões de GLP.

Segundo este dado, pode-se verificar que para a agricultura familiar o ideal é o cooperativismo, que melhora o custo \times benefício da implantação do biodigestor e seu retorno em energia, já que se obteve uma baixa produção, embora toda energia renovável tenha um importante papel no desenvolvimento sustentável, sendo imprescindível seu valor ambiental.

Conclusões

Com base na análise dos dados obtidos no desenvolvimento das atividades e confrontando-os com informações derivadas da revisão bibliográfica, conclui-se que:

1) A produção de biogás em função dos sólidos voláteis removidos foi inferior ou dentro das faixas propostas por outros autores em estudos com dejetos de bovinocultura de leite e com outros dejetos ou resíduos, sendo mesmo assim satisfatória, devido ao tempo de permanência dos animais no estábulo, obtendo-se assim uma relação de m³ de biogás por animal baixa.

2) O teor de metano presente no biogás produzido está condizente com o proposto por AMARAL et al (2004) e MENDONÇA (2009), encontrando-se na faixa especificada na literatura.

3) A remoção dos sólidos voláteis foi satisfatória, mesmo em alguns casos sendo menor do que a remoção encontrada em outros dejetos. Detectou-se ainda erro sistemático no

desenvolvimento das atividades laboratoriais em duas das onze semanas de estudo, que não refletiu na produção de biogás.

4) A quantidade de biogás produzida nos meses de estudo quando comparada a outros combustíveis se mostra baixa, restringindo a utilização deste recurso.

Diante disso, pode-se afirmar que a produção de biogás para a agricultura familiar é melhor e apresenta um bom custo-benefício quando em cooperativas, pois o investimento é dividido e o tempo de retorno fica menor.

Referências

AMARAL, C. M. C.; et al. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica**. V. 34, n. 6, p. 1897 a 1902. Santa Maria/SC: Ciência Rural, Dezembro de 2004.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington/DC: 2005.

BLEY JR., C. **O produto biogás: reflexões sobre sua economia**. 2011.

Centro de Pesquisa e Processamento de Alimentos da Universidade Federal do Paraná - CEPPA. **Laboratório: físico-química de água e efluentes**. Curitiba/PR: 2012. Disponível em: <<http://www.ceppa.ufpr.br/pdf/fqae.pdf>>. Acesso em: novembro de 2012.

COLDEBELLA, A. **Viabilidade do uso de biogás da bovinocultura e suinocultura para geração de energia elétrica e irrigação em propriedades rurais**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel/PR: 2006.

DORAN, J. W.; LINN, D. M. **Bacteriological quality of run off watter from pastureland**. *Journal of Applied Microbiology*. V. 37, p. 985-991, Oxford: 1979.

FEIDEN, A.; REICHL, J.; SCHWAB, J.; SCHWAB, V. Avaliação da eficiência de um biodigestor tubular na produção de biogás a partir de águas residuárias de suinocultura. In: AGRENER GD 2004 - 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. 2004. **Anais**. Campinas: Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético da UNICAMP/NIPE.

GALINKIN, M.; BLEY JR., C.; LIBÂNIO, J. C.; OLIVEIRA, M. M. **Agroenergia da biomassa residual: perspectivas energéticas, socioeconômicas e ambientais**. Techno Politik Editora, 2ª ed. rev. Foz do Iguaçu/Brasília: 2009.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2011**. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, volume 39. Rio de Janeiro/RJ: 2012.

LEITE, V. D.; POVINELLI, J. **Comportamento dos sólidos totais no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos urbanos e industriais**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 3, n. 2, p. 229 a 232. Campina Grande/PB: 1999.

MACHADO, C. R. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de exposição ao ar**. Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. Botucatu/SP: 2011.

MENDONÇA, E. F. **Tratamento anaeróbio dos efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular**. Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel/PR: 2009.

ORRICO JUNIOR, M. A. P.; ORRICO, A. C. A.; LUCAS JUNIOR, J. **Influência da relação volumoso:concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 3, p. 386-394. Jaboticabal/SP: 2010.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. Centro para a Conservação de Energias. Portugal: 2000.

SGANZERLA, E. **Biodigestor, uma solução**. Agropecuária. Porto Alegre: 1983.