

Biodigestão anaeróbia no tratamento de águas residuárias de fecularias

Paulo André Cremonez¹, Armin Feiden¹, Reginaldo Ferreira Santos¹, Eduardo de Rossi¹,
Willian Cezar Nadaleti¹, Jhonatas Antonelli¹

¹Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, PPGEA – Programa de Pós Graduação em Energia na Agricultura – Nível Mestrado, Cascavel-PR.

pa.cremonez@gmail.com, armin_feiden@yahoo.com.br, reginaldo.santos@unioeste.br,
eduderossi@hotmail.com, wltparana@yahoo.com.br, jonatas-a@hotmail.com

Resumo: A biomassa se apresenta como uma das principais fontes para produção de energia nos próximos anos, sendo importante alternativa para diversificação da matriz energética brasileira. Visando o aproveitamento da energia advinda da biomassa destaca-se a biodigestão anaeróbia que foca principalmente no tratamento de resíduos orgânicos, sejam urbanos ou agroindustriais, como os resíduos de fecularias. O presente trabalho teve por finalidade descrever e avaliar o potencial do processo de biodigestão anaeróbia no tratamento e produção de biogás de resíduos líquidos provenientes de fecularias. O tratamento de dejetos líquidos de fecularias através da biodigestão anaeróbia é complexo e necessita adaptação e otimização dos parâmetros do processo para que este apresente viabilidade técnica e financeira na remoção de carga orgânica e produção de biogás. Alguns trabalhos apresentam resultados encorajadores, no entanto mais pesquisas são necessárias para o estabelecimento de condições de operação de reatores ideais no tratamento da manipueira.

Palavras-chave: manipueira, biogás, efluentes.

Anaerobic digestion in the treatment of wastewater of starch factories

Abstract: Biomass presents itself as one of the main sources for energy production in the coming years, as well as an important alternative to diversify the Brazilian energy matrix. Aimed at harnessing the energy coming from the stands biomass anaerobic digestion which focuses primarily in the treatment of organic waste, whether urban or agro as residues of starch factories. This paper aims to describe and evaluate the potential of anaerobic digestion process for the treatment and biogas production of liquid waste from starch factories. The treatment of slurry starch factories through anaerobic digestion is complex and requires adaptation and optimization of the process parameters so that it shows technical and financial viability in organic load removal and biogas production. Some studies show encouraging results, however more studies are necessary to establish the operating conditions of the reactors ideal treatment of cassava.

Key-words: cassava wastewater, biogas, effluent.

Introdução

A partir das décadas de 60 e 70 desencadeou-se a consciência ambiental ganhando espaço para a proteção do meio ambiente, sendo este um dos princípios mais fundamentais do homem moderno, fazendo com que se preocupem não apenas com o controle e mitigação de seus impactos, mas também com o desempenho ambiental gerando o conceito de desenvolvimento sustentável (Ferreira et al. 2010).

Segundo Santos et al. (2012) apesar de grande parte da energia utilizada no mundo ser proveniente de fontes não renováveis, a busca crescente por outras fontes de energia, tem levado a pesquisas que possam ser utilizadas com a finalidade de produção de biocombustíveis.

A biomassa esta entre as fontes para produção de energia com maior potencial para os próximos anos. É considerada uma das principais alternativas para diversificação da matriz energética, proporcionando a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis (Neto et al. 2010). Focando no aproveitamento da energia proveniente da biomassa, destaca-se a digestão anaeróbia, que foca o tratamento de resíduos orgânicos, sejam urbanos ou agrícolas, e ainda produz energia através do biogás e nutrientes utilizados como fertilizante (Zanette, 2010).

A manipueira, resíduo do processo de produção de farinha e fécula, que em tupi-guarani quer dizer “o que brota da mandioca”, apresenta grande potencial poluente decorrente da quantidade de carga orgânica e toxinas capazes de afetar células nervosas e o transporte de oxigênio no sangue. A utilização deste resíduo apresenta diversos obstáculos, como a inexistência de estruturas de aproveitamento, o grande volume de resíduo gerado, a desorganização dos produtores e processadores e o próprio desconhecimento sobre o potencial do material (Santos, 2009).

Desta forma, o presente trabalho tem por finalidade descrever e avaliar o potencial do processo de biodigestão anaeróbia no tratamento e produção de biogás de resíduos líquidos provenientes de fecularias.

Cenário Energético Nacional

Pela grande variedade de recursos fósseis e renováveis, a atual situação energética brasileira é privilegiada. Desde a década de 50, as fundamentações das decisões da política energética nacional têm sido relacionadas à busca pela redução da dependência externa, valorizando estes recursos presentes no país (Piquet e Miranda, 2009).

Nos próximos 10 anos, a demanda total de energia no país deverá aumentar 5,3% ao ano, alcançando os 372 milhões de TEP até 2020. Há muito tempo a matriz energética

brasileira é um exemplo para o mundo, devido sua forte participação com fontes renováveis (hidráulica, eólica, etanol, biomassa), e continuará com uma predominância ainda maior destes biocombustíveis nos próximos anos (Tolmasquim, 2012).

A energia que provém da biomassa apresenta grandes possibilidades de pesquisa e utilização, já que a lenha e o carvão vegetal (formas tradicionais) estão cedendo espaço à biomassa moderna (bioálcool, bioquerosene, biodiesel e biogás) apresentando formas mais eficientes de geração de energia (Miura et al., 2011).

Resíduos Agrícolas na Produção de Biogás

Segundo Neto et al. (2010), toda matéria orgânica que possa ser transformada em energia elétrica, térmica ou mecânica é categorizada como biomassa. A biomassa pode ser florestal, de rejeitos urbanos, industrial e agrícola, de acordo com a sua origem.

A produção de energia e biocombustíveis em larga escala se relaciona a biomassa obtida pelo processamento de resíduos de culturas como arroz, soja e cana-de-açúcar (palha, bagaço, vinhaça, sabugo). A partir de 2008, iniciaram-se pesquisas com utilização de biomassa animal, porém em fase experimental, com poucas usinas de pequeno porte em operação no mundo.

Conforme trabalho de Moura (2012), com a disponibilidade de biomassa em frente à escassez de gás natural ou diesel, ocorre o favorecimento para que surjam novas alternativas tecnológicas para geração de energia elétrica. A biomassa pode ser considerada uma das principais fontes de energia que se existe a disposição nas áreas rurais e está presente na forma de resíduos animais e vegetais, como: restos de colheita, dejetos de animal, plantações energéticas, efluentes agroindustriais e resíduos florestais.

Produção de Amido

O Brasil é o segundo maior produtor mundial da fécula, só perdendo para a Tailândia. A produtividade da mandioca na região oeste é de 50 a 60 toneladas por alqueire. Os responsáveis pela produção e maior atratividade são os pequenos produtores. Pela grande exigência de mão de obra, o interesse é maior para eles, já que os grandes produtores não querem dispor-se de tanta mão de obra, optam pela soja e milho (Dias et al., 2007)

A mandioca é uma cultivar de grande importância e potencial de expansão no país e, particularmente, no Paraná, tendo característica de ser grande geradora de emprego e de renda (Scherer et al., 2009).

O Estado é também o principal produtor de fécula no País, em mais um ano, a produção brasileira de fécula de mandioca foi sustentada pelo estado do Paraná que, em 2010, representou 74,6% da produção total do país. A indústria de fécula de mandioca no Brasil possui capacidade instalada de até 19.107 toneladas de raiz por dia, e trabalhando em capacidade máxima, poderiam ser processadas 3,82 milhões de toneladas de mandioca por ano no país (Cepea, 2013).

Água Residuária do Processamento da Mandioca

No processo de industrialização da mandioca obtêm-se efluentes líquidos na lavagem e descasque da mandioca, composto de água com cascas, terra e areia. Estas cascas são ricas em nutrientes e podem servir como ração animal e adubo. No processo de prensagem da raiz também se obtêm efluentes líquidos, porém este é muito danoso à vida aquática, causando impactos em corpos receptores devido à presença de cianeto em sua composição (Godoy e Santos, 2004).

A manipueira é o efluente proveniente do processo de fabricação da farinha e fécula, pela prensagem da massa ralada da mandioca, apresentando alta composição em carboidratos e minerais. Ainda pode ser considerada como um líquido leitoso rico em açúcares, derivados cianogênicos, linamarina, e outras substâncias. A linamarina é um glicosídeo cianogênico tóxico, precursora do ácido cianídrico, que é bastante volátil (Cassoni e Cereda, 2011; Gonzaga et al., 2007).

No processo de produção de farinha são gerados 300 L de água residuária por tonelada de raiz processada além de 600 L na produção de fécula (Fioretto et al., 1997). Para Pinto e Cabello (2007), esses subprodutos do processamento da mandioca se não tratados e dispostos adequadamente são os principais responsáveis por problemas ambientais neste segmento agroindustrial.

As características da manipueira variam de acordo com a tecnologia utilizada no processamento da mandioca, com a qualidade da matéria prima e com a destinação do produto final, sendo que suas principais características são pH baixo, elevada concentração de matéria orgânica e de cianeto. Na Tabela 1 são apresentadas as principais características encontradas no efluente líquido do processamento da mandioca.

Tabela 1. Características da Manipueira por diferentes autores

Parâmetro	Valor Médio
pH	5,3 ± 0,7
Demanda Química de Oxigênio (DQO; mg L ⁻¹)	4800 ± 0,7
Carbono Orgânico Dissolvido (COD; mg L ⁻¹)	3850 ± 740
Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO; mg L ⁻¹)	1680 ± 755
Sólidos Totais (ST; mg L ⁻¹)	3800 ± 1305
Acido Lático (mg L ⁻¹)	1400 ± 240
Acido Acético (mg L ⁻¹)	350 ± 19
Nitrogênio Total (NT; mg L ⁻¹)	105 ± 16
Fósforo Total (mg L ⁻¹)	25,1 ± 8,1
Cianeto (mg L ⁻¹)	3,5 ± 0,5
Água utilizada/ton manipueira gerada (m ³)	11 ± 1,1

Fonte: Colin et al. (2007).

Biodigestão Anaeróbia

Em 1776, Alessandro Volta, descobriu o denominado “ar combustível”, que se formava em sedimentos ao fundo de rios e lagos. Aproximadamente oitenta anos depois, Reiset constatou a geração de metano em esterqueiras e propôs o estudo deste tipo de manejo de resíduo como forma de explicar o processo de BA (EEA, 2005).

Segundo Demirer e Chen (2005), a BA é um sistema de tratamento onde a matéria orgânica através de degradação, forma metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂). É um processo natural que ocorre sem a presença de oxigênio molecular, onde certas populações microbianas agem de forma conjunta para promover uma fermentação autorregulada e estável da matéria orgânica (Florentino et al. 2010).

O processo de digestão ocorre em etapas distintas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (Fig. 1). As bactérias hidrolíticas iniciam o processo onde principais compostos a serem hidrolisados são a celulose, as proteínas e os lipídeos. O pH ótimo para sobrevivência destas bactérias é de cerca de 6 e a temperatura ótima é 45°C (EEA, 2005). Na etapa de hidrólise o material particulado é transformado em compostos de menos peso molecular facilitando absorção pelas células. Na acidogênese, estes compostos reduzidos são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas, e excretados como forma de ácidos graxos voláteis, álcoois e acido lático, além de outras substancias orgânicas simples. Na etapa de acetogênese, esses produtos oriundos da acidogênese formam os substratos para produção do metano, sendo eles o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Finalmente ocorre o processo de metanogênese, onde o metano é produzido por bactérias acetotróficas, com a

redução do ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas com a utilização do CO_2 (Foresti et al., 1999).

Gabiatti e Colaboradores (2009) resumem a BA pelo consumo de matéria orgânica por diferentes microrganismos heterotróficos, até a última etapa de metanogênese, onde o biogás é liberado.

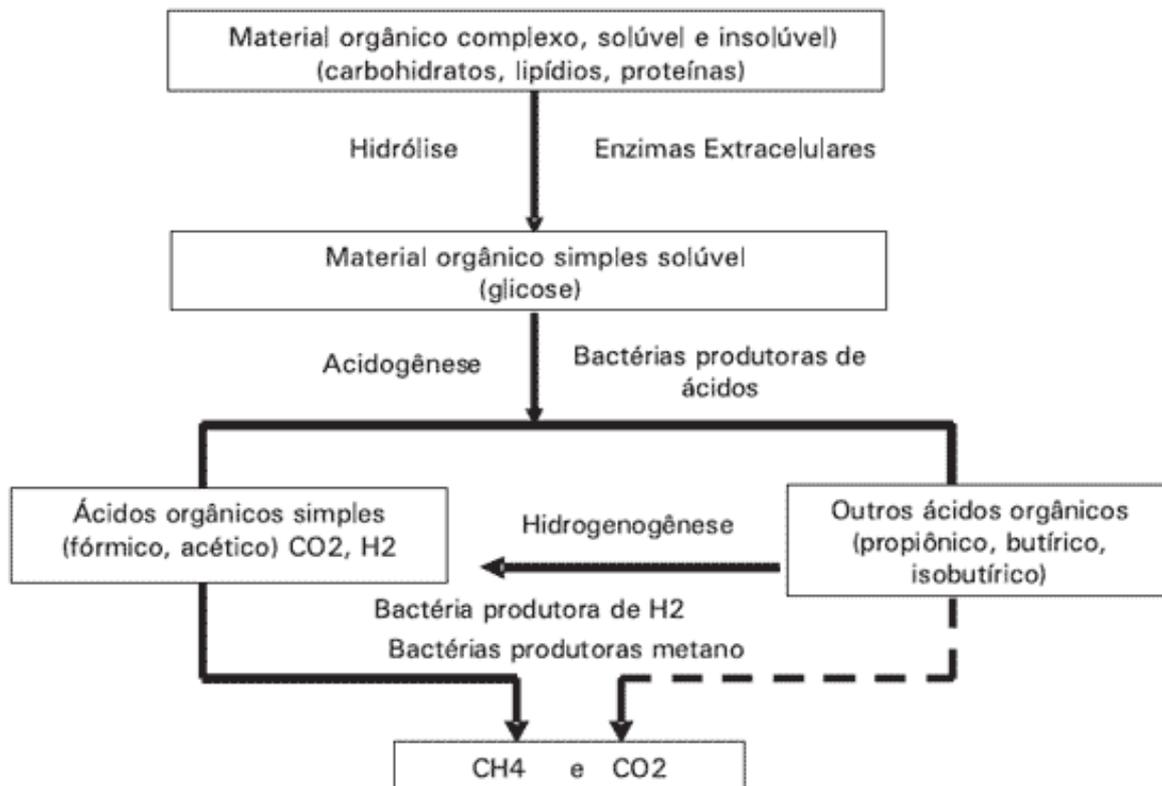


Figura 1. Processo de Biodigestão Anaeróbia (Fonte: Biodieselbr, 2013).

Biogás

A composição do biogás gerado no processo de degradação anaeróbia varia conforme as características do resíduo, as condições de operação do biodigestor, do tipo de biodigestor empregado. Segundo Souza et al. (2010), a composição média do biogás varia de 60% a 80% de metano (v/v), 20% a 40% de dióxido de carbono (v/v), além de outros gases em menores proporções, como sulfetos, nitrogênio, monóxido de carbono e hidrogênio.

Com isso o poder calorífico do biogás também varia conforme sua composição, sendo aproximadamente de 22.500 a 25.000kJ m^{-3} , assumindo que o metano possua 35.800kJ m^{-3} . Com o tratamento e remoção do CO_2 o poder calorífico do biogás se potencializa já que 60% do poder calorífico do gás provem do metano (Salomon e Lora, 2005). Este metano que é produzido pode ser empregado na substituição de fontes fósseis de energia, agregando valor

à produção e diminuindo as emissões de dióxido de carbono, já que o metano apresenta uma ação muito mais agressiva na atmosfera, sendo por volta de 23 vezes maior do que o CO₂ (Salomon, 2007).

Biodigestão Anaeróbia da Manipueira e Produção de Biogás

Atualmente se existe um grande numero de sistemas de tratamento anaeróbios de resíduos agroindustriais como: reatores anaeróbio de manta de lodo (UASB), reatores anaeróbios tubulares para tratamento de esgoto de águas residuais, sistema de circulação interna (IC), filtro de fluxo horizontal com bambu para águas residuais de mandioca e lagoas anaeróbias tem sido amplamente empregados no tratamento destes resíduos (Rajbhandari e Annachhatre, 2004). Visando melhor eficiência de conversão destes materiais, o pré-tratamento do inoculo a ser empregado na biodigestão é muito importante (Wang e Wan, 2009).

Na produção dos derivados da mandioca, há geração de resíduos poluentes principalmente líquidos que apresentam grande potencial para produção de biodiesel, no entanto, suas características como: demanda química de oxigênio e concentração de sólidos, necessitam de ajustes visando melhor desempenho nos biodigestores, por este motivo, buscase o emprego de outros resíduos na co-digestão. Ainda existe indicação de que a manipueira necessita de reatores de duas fases para que possa produzir biogás com eficiência, pela sua alta capacidade de acidificação de reatores (Suzuki et al., 2012; Aires, 2009). No entanto, Kuczman et al. (2011) utilizando reatores anaeróbios de fase única no tratamento da manipueira obtiveram resultados de produção de biogás satisfatórios de 0,63 L por litro de material tratado, com TRH de 6,6 dias e taxas de remoção de DQO de 97%, valores muito superiores se comparado a trabalho de Campos et al. (2005), com emprego de biodigestor UASB e resíduo de suínos com taxas de remoção de DQO em torno de 78% e produção de biogás 41% inferior.

Trabalho de Santos et al. (2010), também provou que com emprego de biodigestores de fluxo ascendente de apenas uma fase, no tratamento de manipueira foram quantificados diariamente 0,85 L de biogás para cada litro de efluente tratado, apesar da necessidade de correção de valores de pH, a pesquisa mostrou ampla aplicabilidade no tratamento deste resíduo.

Suvajittanont e Chaiprasert (2003), concluíram em trabalho com emprego de reatores de duas fases, que um maior tempo de retenção da biomassa no interior do reator é a chave para o sucesso de um tratamento anaeróbio de águas residuais de mandioca. A recirculação do

biogás tem um potencial para acelerar e promover a fixação de biomassa no reator, constituindo uma oportunidade para os grupos bacterianos envolvidos para evoluir e desenvolver uma relação biológica mais adequada proporcionando mais eficiência no processo de biodigestão.

Através de biodigestão com biodigestores com separação de fases, Tavares et al. (1997) obteve taxas de remoção de DQO de 85%, com produções de metano de 0,43 L/g DQO removida, o que representou 60% do valor teórico, sendo superior a outros dados encontrados em literatura.

Conclusão

Com o presente trabalho pode-se concluir que o tratamento de dejetos líquidos de feculárias através da biodigestão anaeróbia é complexo e necessita adaptação e otimização dos parâmetros do processo para que este apresente viabilidade técnica e financeira na remoção de carga orgânica e produção de biogás. Alguns trabalhos apresentam resultados encorajadores, no entanto mais pesquisas são necessárias para o estabelecimento de condições de operação de reatores ideais no tratamento da manipueira.

Referências

AIRES, A. M. A. **Biodigestão anaeróbia da cama de aviários de corte com ou sem separação das frações sólida e líquida**. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2009.

CAMPOS, C.M.M.; MOCHIZUKI, E.T.; DAMASCENO, L.H.S.; BOTELHO, C.G. Avaliação do potencial de produção de biogás e da eficiência de tratamento do reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) alimentado com dejetos de suínos. **Ciênc. agrotec.**, Lavras, v.29, n.4, p.848-856. 2005.

CASSONI, V.; CEREDA, M.P. Avaliação do Processo de Fermentação Acética da Manipueira. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.26, n.4, p.101-113. 2011.

CEPEA - Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada. **Produção de fécula fica estagnada e margem diminui em 2012**. 2013. Disponível em: <http://www.cepea.esalq.usp.br/pdf/Cepea_CensoFecula2013.pdf> Acesso em: jun/2013.

COLIN, X.; FARINET, J.L.; ROJAS, O.; ALAZARD, D. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. **Bioresource Technology**, v.98, p.1602-1607. 2007.

DEMIRER, G.N.; CHEN, S. Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure. **Process Biochemistry**, Irlanda, v.40, n.4, p.3.542-3.549. 2005.

DIAS, A.; *et al.* Uma alternativa de renda para os produtores: agregando valor a produção de mandioca na região oeste do Paraná. 2007.

EEA – Empresa de Engenharia Ambiental Ltda. **Curso de Tratamento de Esgoto. Câmara Técnica de Saneamento (CT-SA)**. Cap.5, 2005. Disponível em: <<http://www.comitepcj.sp.gov.br/Paginas.php?CodPagina=67>> Acessado em: jan/2013.

FERREIRA, A.O.; SÁ, J.C. DE M.; NASCIMENTO, C.G.; RAMOS, F.S. Impacto de Resíduos Orgânicos em Abatedouro de Aves e Suínos na Produtividade do Feijão na Região dos Campos Gerais. **Revista Verde**, v.5, n.4, p.15/21. 2010.

FIORETTO, R. A., SANTOS, J. R; BICUDO, S. J. Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a produção de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz.). **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, v. 16, n. 2, p. 149-156. 1997.

FLORENTINO, H. O.; BISCARO, A. F. V.; PASSOS, J. R. S. Funções Sigmoidais Aplicadas na Determinação da Atividade Metanogênica Específica – AME. **Rev. Bras. Biom.**, São Paulo, v.28, n.1, p.141-150. 2010.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEI, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In.: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. 1ª ed. Rio de Janeiro: RiMa Artes e Textos, p.29-52. 1999.

GABIATTI, N. C.; ZACHARIAS, N. D.; SCHMIDELL, W.; KUNZ, A.; SOARES, H.M. **Comparação entre os Sistemas de Digestão Anaeróbia e Nitrificação/Desnitrificação no Tratamento de Águas Residuárias da Suinocultura**. I Simpósio Internacional sobre Gerenciamento de Resíduos de Animais, pg. 99-103, Florianópolis – SC. 2009.

GODOY, A. M. G.; SANTOS, R. J. C. Gestão dos Efluentes Líquidos das Indústrias de Farinha de Mandioca de Araruna - PR. **Produto e Produção**, vol.7, n.3, p.37-49, 2004.

GONZAGA, A. D.; SOUZA, S. G. A.; PY-DANIEL, V.; RIBEIRO, J. D. Potencial de manipueira de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) no controle de pulgão preto de citros (*Toxoptera citricida* Kirkaldy, 1907). **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 2, n. 2, p. 646-650, 2007.

KUCZMAN, O.; GOMES, S.D.; TAVARES, M.H.F.; TORRES, D.G.B.; ALCANTARA, M.S. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.31, n.1, p.143-149. 2011.

MOURA, J.P. de, **Estudo de casos das rotas tecnológicas para produção de biogás e da influência da composição química de dejetos de matrizes suínas na qualidade do biogás gerada por biodigestor**. Dissertação (Mestrado), Doutorado em Engenharia Química, Universidade Federal de Pernambuco. 2012.

MIURA, A. K.; FORMAGGIO, A.R.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANJOS, S.D.; LUIZ, A.J.B. Avaliação de áreas potenciais ao cultivo de biomassa para produção de energia e uma contribuição de sensoriamento remoto e sistemas de informações geográficas. **Eng. Agríc.**, Jaboticabal, v.31, n.3. 2011.

NETO, E.D.D.; ALVARENGA, L.H.; COSTA, L. de M.; NASCIMENTO, P.H.; SILVEIRA, R.Z.; LEITE, L.H.M. Implementação e Avaliação de um Biodigestor de Produção Descontínua. **Revista eletrônica E-xacta**, v.3, n.2. 2010.

PINTO, P.H.M.; CABELLO, C. Tratamento de Efluentes Líquidos de Fecularia em Biodigestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente. **Revista Raízes e Amidos Tropicais**, v.3, n°1, 2007.

PIQUET, R.; MIRANDA, E. A indústria de gás no Brasil: incertezas, implicações territoriais e perspectivas. **Novos Cadernos NAEA**, v.12, n.1, p. 51-66, jun. 2009.

Rajbhandari, B.K.; Annachhatre, A.P. Anaerobic ponds treatment of starch wastewater: case study in Thailand. **Bioresour. Technol.** v.95, p.135–143. 2004.

SALOMON, K.R. **Avaliação Técnico-Econômica e Ambiental da Utilização do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça em Tecnologias para Geração de Eletricidade.** Tese (Doutorado), Programa de Pós-Graduação em Engenharia. Universidade Federal de Itajubá. Itajubá. 2007.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p.57-67, 2005.

SANTOS, J. I.; ROGÉRIO, F.; MIGLIAVACCA, R. A.; GOUVEIA, B.; SILVA, T.B.; BARBOSA, M.C. Efeito da Adubação Potássica na Cultura do Crambe. **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 28, n. 3, p. 346-350. 2012.

SANTOS, M.B. dos; MIRANDA, R.M.B. de; DE PAULA, L.G.A.; TOLEDO, A.R.C.; CEZAR, V.R.S. Avaliação da produção de biogás e redução de DBO através do tratamento de manipueira em reator UASB. **V CONNEPI**, Ciências Agrárias. 2010.

SCHERER, W.; MONDARDO, D.; ZANELATO, F.T.; STERN, E.; WAMMES, E.V.S.; ZIMMERMANN, A.M.; SEGANFREDO, D.; FEIDEN, A. O cultivo cultura da mandioca nas propriedades que compõem a microbacia sanga gaucha, município de Pato Bragado-PR. **XIII Congresso Brasileiro de Mandioca**, p.1128-1132. 2009.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T.M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.4, p.438–443, 2010.

SUVAJITTANONT, W.; CHAIPRASERT, P. Potential of biogas recirculation to enhance biomass accumulation on supporting media. **Bioresource Technology**, v.88, n.2, p.157-162. 2003.

SUZUKI, A.B.P.; FEIDEN, A.; FERNANDES, D.M.; MARTINS, G.I.; FARIA, A.P. Utilização de manipueira juntamente com sólidos da cama de aviário em biodigestores para geração de biogás. **Revista Ambiência**, v.8, n.3, p.809-819. 2012.

TAVARES, C.R.G.T.; SAMPAIO, B.M.L.; GARCIA, F.L.M.; MARQUES, F.L. Tratamento de efluentes do processamento da mandioca em processo anaeróbio com separação de fases. **Revista UNIMAR**, v.19, n.4, p.1099-1111. 1997.

TOLMASQUIM, M. T. Perspectivas e planejamento do setor energético no Brasil. **Estud. av.**, São Paulo, v.26, n.74. 2012.

WANG, J.L.; WAN, W. Factors influencing fermentative hydrogen production: a review. **Int J. Hydrogen Energy**, v.34, p.799-811. 2009.

ZANETTE, A.L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. Dissertação (Mestrado), Programa de Pós-Graduação de Planejamento Energético da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, dez. 2010.

Recebido para publicação em: 14/04/2013

Aceito para publicação em: 21/06/2013