

PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PRODUZIDA A PARTIR DA BIODIGESTÃO DA VINHAÇA DE CANA-DE-AÇÚCAR - ESTUDO DE CASO

Márcio Higa, Universidade Estadual de Maringá. E-mail: mhiga@uem.br
Daniel Alves Calderani, Universidade Estadual de Maringá. E-mail: danielcalderani@yahoo.com.br
Karla Silva Lopes, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. E-mail: karla@utfpr.br

Resumo: A vinhaça é um efluente altamente poluidor gerado durante o processo de destilação do vinho na fabricação do álcool. Uma alternativa de tratamento da vinhaça é o seu aproveitamento para geração de biogás em reatores UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) que pode ser utilizado como combustível para geração de energia elétrica. Em um estudo de caso, dados da destilaria da Usina Santa Terezinha - Unidade Iguatemi com capacidade de produção diária de 300 m³ de álcool foram utilizados para estimar o potencial de produção de energia elétrica gerada em uma turbina a gás. Os resultados mostraram que esta opção ainda não é viável economicamente. Entretanto, como a tendência futura é que as usinas minimizem a produção de seus resíduos, caracterizando uma produção limpa, espera-se que a modernização desses equipamentos e a necessidade das empresas possuam biodigestores, reduzam significativamente o valor deste investimento.

Palavras-chave: Vinhaça. Biodigestão. Cana de Açúcar.

ELECTRIC POWER GENERATION FROM ANAEROBIC DIGESTION OF THE SUGAR CANE VINASSE – CASE STUDY

Abstract: The vinasse is an effluent, highly pollutant, generated during the distillation process of the wine in the production of the ethanol. An alternative treatment is to take advantage from the possibility to produce biogas in *Upflow Anaerobic Sludge Blanket* (UASB) reactors and to use it as fuel for electric power generation. For this case study, data from the distillery of Santa Terezinha mill - Iguatemi unit, with a daily production capacity of 300 cubic meters of ethanol were used, allowing the estimation of the electric power generation using a gas turbine. The results showed that this option is not still viable economically. However, the future tendency is that the plants minimize the production of their wastes, in order to have a clean production. So, it is expected that the modernization and the need of those biodigestors, decrease significantly the value of this investment.

Keywords: Vinasse. Anaerobic Digestion. Sugar Cane.

1. INTRODUÇÃO

A vinhaça, efluente produzido em grande quantidade pelas destilarias de álcool, possui benefícios agrônômicos que interessam no aumento da fertilidade do solo. Entretanto, conforme Salomon *et al.* (2007), em muitos casos a utilização de vinhaça passou a ser efetuada sem critérios técnicos definidos. Sendo assim, os órgãos estaduais de proteção ambiental, tendo em vista a preservação dos padrões de qualidade ambiental, intensificaram a homologação de legislações específicas que impõem restrições à aplicação de vinhaça no solo agrícola, especialmente em áreas de recarga do aquífero ou em áreas próximas a cursos de água. No Estado do Paraná, onde as usinas utilizam a vinhaça para adubar o solo, o Instituto Ambiental do Paraná (IAP), vem estudando medidas para regulamentar a disposição da vinhaça considerando seu teor de potássio e do solo onde será aplicada. Por enquanto, ainda está sendo permitida a aplicação máxima de até 150 m³/ha.ano independentemente do tipo de solo e da composição da água residuária (DÖLL e FORESTI, 2010).

Nos decretos publicados para regulamentar a prática de disposição final da vinhaça, o governo federal, por meio da Portaria MINTER n° 323, de 29/11/1978, proibiu a disposição ou eliminação da vinhaça em leitos d' água, estando sujeito à multa a usina que descumprir a proibição. Além da Portaria, há ainda a Resolução CONAMA n° 002, de 05/06/1984 que

determina a realização de estudos e apresentação de resolução contendo normas para controle da poluição causada pelos efluentes das destilarias de álcool e pelas águas de lavagem da cana. A Resolução CONAMA nº 0001, de 23/01/1986 determina a obrigatoriedade da realização da Avaliação de Impacto Ambiental (AIA) para novas instalações industriais ou para quaisquer ampliações nas usinas já existentes. Em vista disso, a aplicação de vinhaça está se tornando mais restrita, e um novo cenário começa a ser delineado.

A vinhaça é um resíduo apropriado para ser submetido ao tratamento anaeróbio de fluxo ascendente devido ao seu baixo teor de sólidos totais e ao alto potencial poluente. Conforme apresentado por Pinto (1999), a possibilidade de tratar a vinhaça pelo processo de digestão anaeróbia foi comprovada, tanto em protótipos (RIERA *et al.*, 1985; HARADA *et al.*, 1996), como também em plantas industriais (DRIESSEN *et al.*, 1994; BORZACCONI *et al.*, 1995).

De acordo com Salomon *et al.* (2007), a biodigestão anaeróbia consiste na fermentação com ausência de oxigênio de resíduos orgânicos utilizando bactérias anaeróbias que sintetizam a matéria orgânica, transformando-a em metano e dióxido de carbono, principais componentes do biogás. A realização e a eficiência da biodigestão dependem de condições específicas de operação, como temperatura e pH do meio, tipo de substrato usado no processo, concentração de sólidos e período de retenção da biomassa no biodigestor, conforme pode ser observado na realização de algumas avaliações (DÖLL e FORESTI, 2010; CRUZ *et al.*, 2012). A tecnologia mais utilizada para biodigestão em escala industrial é o reator do tipo UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), reator anaeróbico de fluxo ascendente em leito de lodos. Esse processo tem como objetivo reduzir o potencial poluidor da vinhaça e é uma das maneiras de se obter o metano, de forma a substituir sua exploração em jazidas subterrâneas, onde se encontra às vezes associado ao petróleo.

Segundo Granato (2003), na indústria sucroalcooleira o biogás gerado através da biodigestão da vinhaça em biodigestores anaeróbicos pode ser aproveitado da seguinte forma: a) Sendo sua totalidade queimada na caldeira, gerando vapor e, por conseguinte accionando-se todo o mecanismo que executa a moagem da cana. Neste caso, estudos mostram que existiria uma sobra de 25% a 28% de todo bagaço que normalmente é queimado nas caldeiras e que poderia ser destinado a outros fins; b) Uma terça parte do biogás poderia ser purificado, produzindo gás metano para substituir todos os combustíveis utilizados na agroindústria, durante a safra e os dois terços restantes seriam queimados nas caldeiras proporcionando uma sobra de 18% de bagaço; c) A totalidade do biogás poderia acionar uma turbina a gás, conjugada a um gerador elétrico, produzindo 2,5 vezes a necessidade total da energia elétrica de uma destilaria autônoma para venda.

De fato o reaproveitamento da vinhaça via biodigestão é promissor uma vez que o subproduto do processo de digestão, o metano (CH₄) e outros gases são produzidos em quantidade suficiente para gerar de 3,6 a 10,6 MW de eletricidade (assumindo 90% de energia térmica), quando a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) da vinhaça está entre 17.000 a 50.000 mg/l (BAEZ-SMITH, 2006).

1.1 PRECURSORES DA DIGESTÃO ANAERÓBICA NO BRASIL

Segundo Pinto (1999), a primeira experiência no Brasil com um reator do tipo de fluxo ascendente com leito de lodo (UASB) foi realizada pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas de São Paulo (IPT) na Penedo Agroindustrial Destilaria (PAISA), no estado de Alagoas, em 1981. Nessa pesquisa, financiada pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), procedeu-se a digestão anaeróbia da vinhaça a 32°C, utilizando-se dois

biodigestores de fluxo ascendente com 11 e 24 m³. Os resultados foram considerados surpreendentes, com uma produção média de gás, com 65% de CH₄, de 13,1 litros por litro de vinhaça, um tempo de retenção de 1,5 dia e remoção de 95% da Demanda Química de Oxigênio - DQO. O sucesso da experiência alimentou um grande número de trabalhos sobre as possibilidades do uso do gás, obtido da digestão anaeróbia da vinhaça, como fonte de energia alternativa aos combustíveis fósseis, menos poluente, com características descentralizadas, fortalecendo, portanto, a economia nacional, e dando, de certa forma, solução ao problema da disposição da vinhaça, agravado com a institucionalização do Proálcool.

De acordo com os dados operacionais da experiência na destilaria PAISA, elaborou-se o quadro mostrado na Figura 1, considerando a operação de um processo de digestão na própria destilaria, que tem capacidade para a produção de 120.000 litros de álcool diariamente.

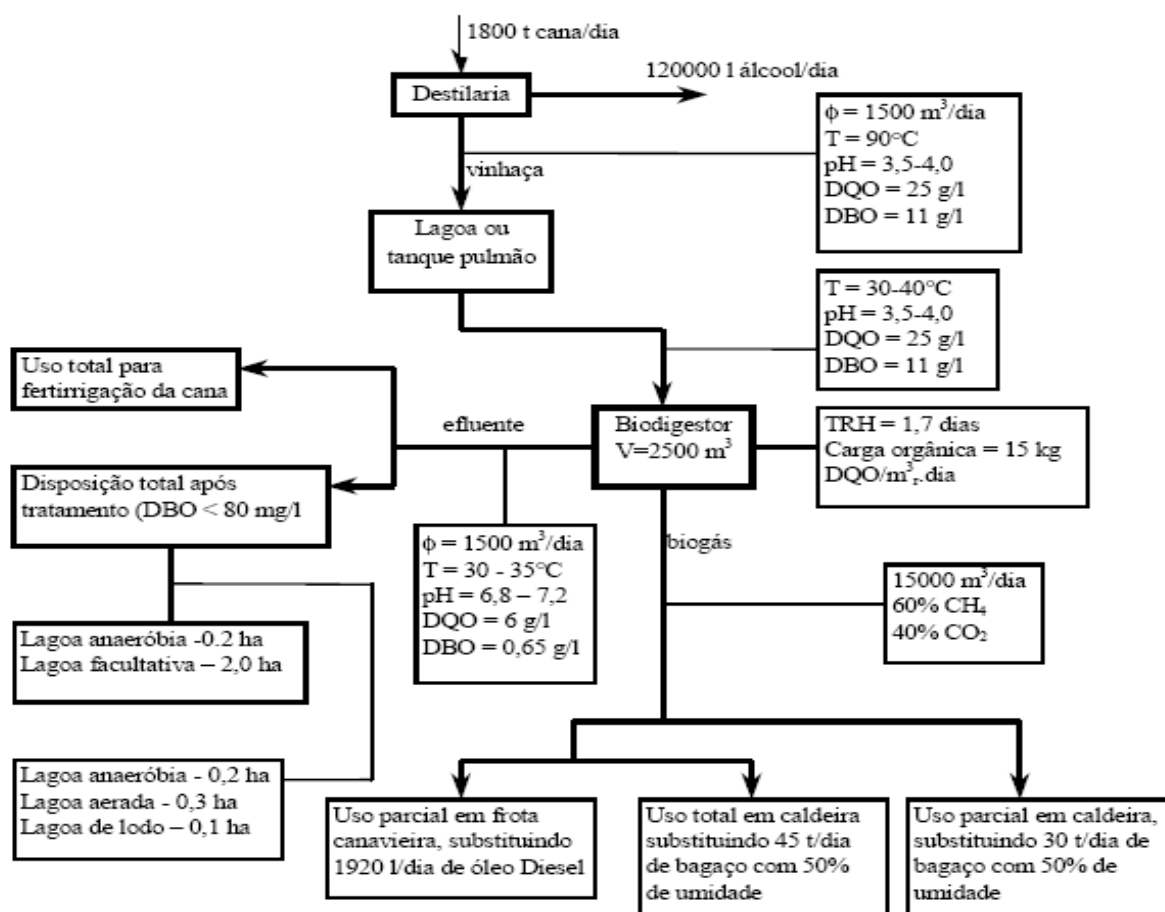


FIGURA 1 – Exemplo de instalação industrial de biodigestão da vinhaça.

Fonte: Pinto (1999).

Em 1984, a CODISTIL, empresa fabricante de equipamentos para indústrias alimentícias e sucroalcooleiras, que havia comprado a tecnologia holandesa para digestores anaeróbios UASB, chamada METHAX BIOPAQ, instalou estes digestores na Usina São Luís e na Destilaria São João, ambas pertencentes ao mesmo grupo industrial, o Dedini-Ometto. Na Usina São Luís, localizada em Pirassununga-SP, o projeto foi desativado pouco tempo

depois, mas a Destilaria São João, cuja a capacidade é de 300 m³ de álcool por dia, produzindo 300 milhões de litros de vinhaça, manteve em operação uma planta de biodigestão anaeróbia de vinhaça até o final de 1997. Esta planta era equipada com um reator de fluxo ascendente (UASB), cuja capacidade nominal de processamento de vinhaça era de 1500 m³/dia, com carga efetiva de cerca de 1000 m³/dia e remoção de 85% da DQO, operando em temperatura mesofílica (35°C) e sendo efluente usado como fertilizante no canavial. Foi construído um gasômetro de 600 Nm³ e o biogás gerado, que tinha um teor de 70% de metano, era purificado a até 98% de metano, comprimido a 220 atm e armazenado em cilindros de 400 Nm³ de capacidade. A produção média global, considerado todo o tempo de operação da planta, foi de 4274 Nm³/dia, com um pico de 7190 Nm³ na safra 92/93. O metano comprimido era utilizado para movimentar 41 veículos da destilaria que foram convertidos para o seu uso, sendo 50% da frota de caminhão e 40% da frota de veículos utilitários; a maioria era movida a álcool anteriormente. Embora tenha sido demonstrada a viabilidade técnica da digestão anaeróbia da vinhaça, os fatores econômicos continuam sendo um grande obstáculo a ser transposto. Assim, levando em conta a conjuntura, a Destilaria São João resolveu suspender o programa de uso do metano a partir da safra de 1996/1997.

Ainda segundo Pinto (1999), foi na Usina São Martinho em Pradópolis-SP, que a tecnologia de digestão anaeróbia da vinhaça encontrou sua implantação em bases mais sólidas no Brasil. A maior processadora de cana do mundo, com capacidade de moagem para mais de 8,5 milhões de toneladas por ano, a Usina São Martinho teve nos últimos 5 anos produção média anual de 560 mil toneladas de açúcar, 287,3 milhões de litros de álcool e, em consequência, aproximadamente, 3,

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o cálculo da obtenção da quantidade de energia gerada pela biodigestão anaeróbica da vinhaça em kWh. Inicialmente, calcula-se a carga orgânica da vinhaça, utilizando-se a Eq. (1), conforme Lamo (1991) e Granato (2003).

$$CO = VVG \cdot DQO \quad (1)$$

Sendo:

CO: carga orgânica (kg.DQO/dia);

DQO: 40.000 mg/l (Lamo, 1991);

VVG: volume de vinhaça gerado (m³/dia).

A Produção de Biogás (PB) pela biodigestão anaeróbica da vinhaça é obtida pela Eq. (2).

$$PB = CO \times E \times F \quad (2)$$

Sendo:

E: eficiência de remoção de DQO do processo, considerado de 70% segundo Santana e Oliveira (2005);

F: fator de conversão de biogás por DQO removida, considerado 0,45 .N.m³/kg DQO removida, de acordo com Lamo (1991);

PB: produção de biogás (Nm³/dia).

A quantidade de energia do biogás (GEB) é estimada pela Eq. (3).

$$GEB = PB \times PCIB \quad (3)$$

Sendo:

PCIB: poder calorífico inferior do biogás, considerado de 5.100 kcal/Nm³ (Lamo, 1991);

GEB: quantidade de energia do biogás (kcal / dia).

Com a determinação da quantidade disponível de energia do biogás e considerando a utilização do conjunto de turbinas sugeridas, pode-se estimar a quantidade de energia elétrica produzida pela combustão do biogás (PEEB) utilizando-se a Eq. (4).

$$PEEB = GEB \times E1 \quad (4)$$

Sendo:

E1: eficiência da turbina a gás, considerada 35% (Lamo, 1991);

PEEB: quantidade de energia elétrica produzida pela combustão do biogás (kWh/dia).

Para o cálculo dos certificados de emissões evitadas, os chamados créditos de carbono, foi utilizada a metodologia aprovada pelo órgão da “*executive board*” de MDL (*Clean Development Mechanism - CDM*) da ONU (UNFCCC), para o caso da geração de energia elétrica a partir de bagaço de cana e fornecimento para a rede de distribuição de energia elétrica. Nesta metodologia é utilizado o conceito de margem combinada para determinar a intensidade de carbono teórica produto da expansão do setor elétrico nacional. Utilizando este conceito o valor de referência para a intensidade de carbono do setor elétrico ficou estabelecido em 0,140 tC/MWh ou 0,5 tCO₂eq/MWh. Este valor contribui para melhorar a eficiência dos projetos de MDL baseados em emissões evitadas, pois aumenta quantidade de carbono evitada por MWh gerado (Pecorá., 2006).

As Equações (5) e (6) mostram como é realizado o cálculo da quantidade de créditos de carbono.

$$CO \text{ eq.} = EE \times FIC \quad (5)$$

Sendo:

CO₂ eq.: Total de CO₂ eq. Evitado (tCO₂eq./ano);

EE: Total de energia elétrica gerada (MWh/ano);

FIC: Fator de Intensidade de Carbono (tCO₂eq/MWh).

$$CEE = CO \text{ eq.} \times VCEE \quad (6)$$

Sendo:

CEE - Total de U\$ (ou R\$) em certificados;

CO₂ eq. - Total de CO₂eq. Evitado (tCO₂eq./ano).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para a planta em estudo, foram realizados os cálculos do potencial de energia elétrica oriunda da biodigestão anaeróbica da vinhaça, com base na safra de 2008/2009, em que a produção de álcool foi a maior dos últimos 5 anos. Na Tabela 1 apresentam-se os valores de biogás e de sua energia disponível, calculados para cada variável que deve ser obtida de acordo com a produção de álcool e vinhaça. Para realizar os cálculos foram utilizados os dados do boletim de produção industrial da Usina Santa Terezinha – Unidade Iguatemi.

TABELA 1 – Quantidade de energia de biogás disponível.

Mês	Quantidade de Vinhaça (m ³)	CO (kg DQO/dia)	PB (Nm ³ /dia)	GEB (kcal /dia)	PEEB (kWh)
Março	38.428,89	51.238,52	16.140,13	82.314.683,22	1.395,83
Abril	56.052,15	74.736,20	23.541,90	120.063.707,96	2.035,94
Mai	50.101,32	66.801,76	21.042,56	107.317.032,50	1.819,79
Junho	75.320,73	100.427,64	31.634,71	161.337.008,57	2.735,82
Julho	93.890,15	125.186,87	39.433,86	201.112.704,81	3.410,30
Agosto	62.406,80	83.209,079	26.210,86	133.675.384,73	2.266,76
Setembro	55.619,89	74.159,87	23.360,36	119.137.823,19	2.020,24
Outubro	53.954,48	71.939,31	22.660,88	115.570.495,65	1.959,75
Novembro	48.254,01	64.338,69	20.266,69	103.360.106,09	1.752,70
Média	59.336,49	79.115,33	24.921,33	127.098.771,85	2.155,24

Fonte: Própria.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados de potencial de energia elétrica a ser produzida pela biodigestão anaeróbica da vinhaça referente aos meses da safra de 2008/2009, destacando-se o mês de julho, em que ocorreu a maior produção de vinhaça.

TABELA 2 – Quantidade de energia elétrica produzida por mês.

Mês	PEEB (kWh/dia)	Potencial de energia a ser gerada (kWh/mês)
Março	1.395,83	41.874,74
Abril	2.035,94	61.078,24
Mai	1.819,79	54.593,81
Junho	2.735,82	82.074,60
Julho	3.410,30	102.309,11
Agosto	2.266,76	68.002,71
Setembro	2.020,24	60.607,23
Outubro	1.959,75	58.792,48
Novembro	1.752,706	52.580,87
Média	2.155,24	64.657,09

Fonte: Própria.

Para queima total do biogás gerado é recomendada a instalação de cinco conjuntos de turbinas a gás com capacidade de 1.000 kWh cada, devido a produção máxima de biogás pela biodigestão anaeróbica da vinhaça atingir 39.433,864 Nm³/dia.

De acordo com Granato (2003), o custo do kWh instalado, no processo de geração de energia elétrica pela queima do biogás é de US\$ 160,00. Como a geração de vinhaça proporciona uma instalação de equipamento que disponibilizam 5.000 kWh, o custo total de instalação será de US\$ 800.000,00.

Na Tabela 3 apresentam-se os valores que a usina ganharia com a venda de energia a partir da biodigestão anaeróbica da vinhaça. Atualmente as usinas que fornecem energia elétrica para as concessionárias vendem a energia pelo valor de R\$ 150,00 MWh.

TABELA 3 – Lucro obtido com a venda da energia elétrica gerada.

Mês	Potencial de energia a ser gerada (MWh)	Venda (R\$)
Março	41,87	6.281,21
Abril	61,08	9.161,74
Mai	54,59	8.189,07
Junho	82,07	12.311,19
Julho	102,31	15.346,37
Agosto	68,00	10.200,41
Setembro	60,61	9.091,08
Outubro	58,79	8.818,87
Novembro	52,58	7.887,13
Total		87.287,07

Fonte: Própria.

Para a compra da mesma quantidade de energia que é apresentada na Tabela 3 foram realizados, com base nas tarifas da Tabela 4, os cálculos que se encontram na Tabela 5. Os cálculos que foram realizados simulando a compra dessa quantidade de energia foram feitas as seguintes considerações: a) dentre as tarifas da concessionária a escolhida foi a tarifa verde; b) a tensão considerada para o cálculo é de 13,8 kV; e c) a empresa só consome energia em horário fora de ponta.

TABELA 4 – Tarifa da energia elétrica para uma tensão de 13,8 kV.

	Ponta (R\$/MWh)	Fora de Ponta (R\$/MWh)
Consumo	0,66828	0,15027

Fonte: COPEL: <http://www.copel.com/hpcopel/> acessado em 23/08/2013

TABELA 5 – Compra da energia elétrica da concessionária.

Mês	Potencial de energia a ser gerada (kWh)	Custo - Sem ICMS (R\$)	Custo - Com ICMS (R\$)
Março	41.874,74	6.292,52	9.462,69
Abril	61.078,24	9.178,23	13.802,22
Mai	54.593,81	8.203,81	12.336,89
Junho	82.074,60	12.333,35	18.546,89
Julho	102.309,11	15.373,99	23.119,41
Agosto	68.002,71	10.218,77	15.366,98
Setembro	60.607,23	9.107,45	13.695,78
Outubro	58.792,48	8.834,75	13.285,69
Novembro	52.580,87	7.901,33	11.882,01
Total	581.913,78	87.444,18	131.498,56

Fonte: Própria.

Dentre as receitas anuais, apresenta-se na Tabela 6 o que a empresa poderia obter com a venda de créditos de carbono.

TABELA 6 – Lucro obtido com a venda de créditos de carbono.

EE (MWh/ano)	581,91
FCI (tCO ₂ eq/MWh)	0,50
CO ₂ eq. (tCO ₂ eq./ano)	290,96
VCEE (US\$/tCO ₂ eq)	10,00
CEE (US\$)	2.909,55
CEE (R\$)	5.176,09

Fonte: Própria.

4. CONCLUSÕES

A quantidade de energia elétrica que pode ser gerada através da biodigestão anaeróbica para o estudo de caso proposto, permite concluir que a implantação desse projeto ainda não é viável. Isto decorre devido ao alto custo de investimento e ao baixo retorno que essa quantidade de energia elétrica gerada pode oferecer. Se a empresa vendesse a energia cogenerada através do biodigestor, levaria aproximadamente 20 anos para pagar o investimento. Caso a usina comprasse essa quantidade de energia para a produção de álcool, ou seja, se com a instalação desses equipamentos, deixasse de consumir essa quantidade, o retorno ocorreria em aproximadamente 13 anos. Esta análise foi realizada sem levar em consideração os custos de operação e manutenção destes equipamentos, o que aumentaria estes períodos de retorno.

Desta forma, conclui-se que o alto custo dos equipamentos ainda inviabiliza o projeto. Entretanto, como a tendência futura é que as usinas minimizem ao máximo a produção de seus resíduos, caracterizando uma produção limpa, espera-se que a modernização desses equipamentos e a necessidade das empresas possuírem biodigestores, reduzam significativamente o valor deste investimento. O alto custo do equipamento impede a

aplicação do mesmo entre as empresas colocando-o em planos inferiores na escala de interesses de desenvolvimento.

Uma alternativa mencionada no trabalho, mas que não foi estudada trata-se secagem de levedura conforme foi aplicada na Usina São Martinho, em Pradópolis-SP. Esta empresa conseguiu encontrar uma opção viável para o biodigestor anaeróbico, que ainda encontra-se em operação. Um estudo criterioso do aproveitamento do biogás na secagem de fermento no caso estudado neste trabalho deve ser realizado para verificar a viabilidade desta aplicação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Usina Santa Terezinha pela cessão de dados e apoio financeiro para realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BAEZ-SMITH, C. *Anaerobic Digestion of Vinasse for the Production of Methane in the Sugar Cane Distillery.* In: SPRI Conference on Sugar Processing, Águas de São Pedro, 2006.

BORZACCONI, L.; LÓPEZ, I.; VINAS, M. *Application of Anaerobic Digestion to the Treatment of Agroindustrial Effluents in Latin America.* *Water Science Technology*, v. 32, n. 12, p. 105-111, 1995.

CRUZ, P.C.F.; TEIJEIRA, P.S.; CARLOS, L.E.; PEREIRA, C.; DÖLL, M.M.R.; BARANA, A.C. *Desempenho de um Filtro Anaeróbico Ascendente de Fluxo Contínuo Preenchido com Espuma de Poliuretano para Tratamento de Esgoto.* *Revista Engenharia e Tecnologia*, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2010.

DÖLL, M.M.R.; FORESTI, E. *Efeito do Bicarbonato de Sódio no Tratamento de Vinhaça em AnSBBR Operado a 55 e 35o C.* *Eng. Sanit. Ambient.*, v. 15, n. 3, p. 275-282, 2010.

DRIESSEN, W.; TIELBAARD, M.; VERIJKEN, T. *Experience on Anaerobic Treatment of Distillery Effluent with the UASB Process.* *Water Science Technology*, v. 30, n. 12, p. 193-201, 1994.

GRANATO, E.F. *Geração de Energia Através da Biodigestão Anaeróbica da Vinhaça.* Bauru:UNESP. Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia de Bauru, 2003.

HARADA, H.; UEMURA, S.; CHEN, A.C.; JAYADEVAN, J. *Anaerobic Treatment of a Recalcitrant Distillery Wastewater by a Thermophilic UASB Reactor.* *Bioresource Technology*, 55, p. 215-221, 1996.

LAMO, P.D. *Sistema Produtor de Gás Metano Através de Tratamento de Efluentes Industriais – METHAX/BIOPAQ – CODISTIL – Piracicaba*, 1991.

PINTO, C.P. *Tecnologia da Digestão Anaeróbica da Vinhaça e Desenvolvimento Sustentável.* Campinas: UNICAMP, Dissertação (mestrado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, 1999.

RIERA, F.S.; CÓRDOBA, P.; SENERIZ, F. *Use of the UASB Reactor for the Anaerobic Treatment of Stillage from SugarCane Molasses.* *Biotechnology and Bioengineering*, v. XXVII, p.1710-1716, 1985.

SALOMON, K.R.; LORA, E.E.S.; MONROY, E.F.C. *Custo do Biogás Proveniente da Biodigestão da Vinhaça e sua Utilização*, In: VII Congresso Ibero-Americano de Engenharia Mecânica, Cusco, 2007.