



ARTIGO

Influência da adição fracionada de vinhaça na produção de biogás

Camila Roberta Javorski Ueno^{1*}, Laércio Mantovani Frare²,
Marcelino Luiz Gimenes³ e Gisella Maria Zanin³

Recebido: 28 de setembro de 2012

Recebido após revisão: 05 de fevereiro de 2013

Aceito: 14 de fevereiro de 2013

Disponível on-line em <http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/2439>

RESUMO: (Influência da adição fracionada de vinhaça na produção de biogás). O presente trabalho teve como objetivo quantificar e determinar a composição do biogás produzido por meio da biodigestão anaeróbia de vinhaça *in natura* e concentrada por *Moringa oleifera*, utilizando-se, como fonte de microrganismos, diferentes volumes de um lodo industrial proveniente de indústria de gelatina. O experimento foi conduzido em reatores de bancada com volume de, aproximadamente, 125 mL, com temperatura (30 °C) e agitação controladas por um período de 120 horas. Foram utilizadas vinhaça na forma *in natura* e na forma concentrada, onde os tratamentos apresentavam diferentes volumes de adição de vinhaça a cada 24 horas. Foram determinados o volume de biogás produzido e a concentração dos componentes gasosos CH₄, N₂, H₂S e CO₂. O trabalho teve como objetivo determinar um volume ideal de fracionamento da vinhaça para adição ao lodo, na inoculação de material para biodigestão. O melhor resultado foi obtido com as adições mais fracionadas de vinhaça, no entanto, devem-se realizar mais estudos para o uso de *Moringa oleifera* associado a resíduos a serem digeridos.

Palavras-chave: Biodigestão Anaeróbia, Inóculo, *Moringa oleifera*, Vinhoto.

ABSTRACT: (Influence of fractionated addition of vinasse for biogas production). The objective of the present work was to quantify and determine the composition of biogas produced by anaerobic biodigestion of stillage *in natura* and concentrated by *Moringa oleifera*, using different volumes of industrial sludge as a source of microorganisms. The experiment was carried out in batch reactors with approximate volume of 125 mL, and controlled temperature (30 °C) and agitation for a period of 120 hours. Vinasse concentrated and *in natura* were used, and the treatments had different amounts of vinasse addition every 24 hours. The volume of produced biogas and concentration of gas components (CH₄, N₂, H₂S and CO₂) were determined. The objective of the work was to determine the ideal fractionation volume of vinasse for add on the sludge, when inoculating material for biodigestion. The best result was obtained with the most fractionated additions of vinasse, however, should be performed further studies on the use of *Moringa oleifera* associated with the waste being digested.

Key words: Anaerobic biodigestion, Inoculum, *Moringa oleifera*, stillage.

INTRODUÇÃO

O grande volume de vinhaça decorrente da produção de etanol é preocupação marcante, sendo que a destinação mais comum no Brasil é a aplicação nas lavouras de cana-de-açúcar, suprimindo necessidades de adubação potássica, e contribuindo com outros nutrientes essenciais. A produção de biogás, a partir do uso da vinhaça, surgiu como alternativa com dupla finalidade: produção de energia e geração de um subproduto com potencial fertilizante.

Entretanto, o volume de vinhaça nas indústrias é muito elevado e uma das alternativas mais viáveis para a redução deste seria a concentração do efluente. Para tanto, os coagulantes naturais possuem grande capacidade de adsorção de partículas ao seu redor e quando utilizados na coagulação/floculação, acredita-se que o processo pode acontecer sem a ocorrência do fenômeno químico, não havendo reações de neutralização entre o coagulante e a água, para formar complexos gelatinosos, como ocorre com os coagulantes

derivados de sais de alumínio e ferro (Borba, 2001).

Dentre as vantagens dos coagulantes naturais, podemos citar a biodegradabilidade. Além disso, devido ao alto índice de produção de lodo residual e a alta toxicidade dos coagulantes químicos é que estão sendo utilizados coagulantes naturais tanto para o tratamento de água potável, quanto para o tratamento de efluentes (Girardi, 2009). No entanto, não existem muitos estudos relacionados à concentração de efluentes a partir de coagulantes naturais e posterior biodigestão visando à produção de biogás.

Os efeitos benéficos da vinhaça em cultivos agrícolas já são conhecidos. Estudos relacionados à biodigestão de vinhaça já foram realizados por diversos autores, dentre eles Cabello *et al.* (2009) e Szymanski *et al.* (2010). Porém, a biodigestão da vinhaça deve ser associada ao uso de algum outro material para a fonte de microrganismos para que a produção de metano (CH₄) seja satisfatória.

A origem do biogás é explicada a partir dos efluentes dos setores agroindustrial, urbano (lodo das estações de tratamento dos efluentes domésticos) e ainda nos

1. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Agronomia, Bloco J-57, sala 007, Avenida Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

2. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Departamento de Engenharia Ambiental, 4232, Avenida Brasil, Medianeira, Paraná, Brasil.

3. Universidade Estadual de Maringá, Departamento de Engenharia Química, Bloco D-90, Avenida Colombo, 5790, CEP 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil.

* Autor para contato. Email: cami.ueno@bol.com.br

aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU), sendo originado da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica contida nestes resíduos (Frare *et al.*, 2009). Estes autores afirmam que o gás é constituído, principalmente, por Metano (50-70%), Dióxido de Carbono (25-45%), além de pequenas quantidades de Hidrogênio, Nitrogênio e Sulfeto de Hidrogênio (H₂S).

Em estudo realizado por Cabello *et al.* (2009), o processo de biodigestão anaeróbia da vinhaça apresentou eficiência de remoção de carga poluidora acima de 50%, neutralização do pH, produzindo também uma mistura gasosa de elevado valor energético. É comum, que além do processo de biodigestão anaeróbia ocorra a co-digestão, que pode ser definida como um sistema de tratamento anaeróbio combinado, com diferentes resíduos. Pode ocorrer combinando-se a fração orgânica dos resíduos agrícolas juntamente com resíduos de lodo industrial.

Estudos sobre a co-digestão apontam um sinergismo e antagonismo no processo combinado com diferentes substratos. Fernández *et al.* (2005) comentam sobre o efeito tampão da co-digestão, quando a otimização da relação carbono/nitrogênio na biodigestão de resíduos urbanos e lodo de esgoto, melhorando a produção de metano. Yen e Brune (2007) também confirmam os benefícios da co-digestão com o uso de dejetos bovinos, esterco de frango, juntamente com resíduos frutícolas.

Em estudo realizado por Bento *et al.* (2005), é possível associar a co-digestão, citada anteriormente, ao processo de tratamento de esgotos do tipo lodo ativado, o qual se baseia na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, provida de variada população microbiana mantida em suspensão no meio anaeróbio. Segundo os autores, a eficiência do processo depende principalmente da capacidade de floculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados.

O presente trabalho teve como objetivo realizar estudos preliminares relacionados à quantificação e qualificação do biogás produzido a partir da vinhaça *in natura* e da vinhaça concentrada, de forma a determinar o melhor índice de adição de vinhaça ao lodo industrial (fonte de microrganismos) para a produção de biogás, avaliando ainda o efeito do coagulante natural *Moringa oleifera* na biodigestão.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram realizados no Departamento de Engenharia Química, na Universidade Estadual de Maringá, Maringá, Paraná, Brasil. Como substrato foi utilizado vinhaça proveniente de uma usina de açúcar e álcool. O lodo, como fonte de microrganismos, foi obtido pela coleta em um reator anaeróbio em uma indústria de gelatina. Tanto a usina quanto a indústria de gelatina estão localizadas na região de Maringá-Paraná.

Para os experimentos em laboratório utilizou-se como reator de bancada um erlenmeyer vedado com volume, aproximado, de 125 mL contendo a mistura a ser estudada. A medição do volume de biogás produzido

foi realizada por meio da coleta do gás em uma proveta invertida no interior de um béquer com água. O reator contendo o material estudado foi mantido sob agitação contínua durante 120 horas, isto é, 5 dias (150 rpm), em banho termostático com temperatura controlada de 30 °C.

Foram estudadas duas formas de inserção da vinhaça no processo de produção de biogás: vinhaça *in natura* (VI) e vinhaça concentrada (VC). Para obter a vinhaça concentrada, utilizou-se como coagulante natural sementes de *Moringa oleifera*, coletada em fazenda da região. A solução foi preparada com água destilada na concentração de 5% de sementes, previamente descascadas e trituradas em liquidificador e proporção de 200 mL de solução para cada litro de vinhaça (Girardi 2009). As vinhaças tiveram o pH ajustado até o valor de 6,5 com Hidróxido de Sódio 1M para garantir a melhor coagulação. Foi realizada avaliação da composição da vinhaça e do lodo utilizados no experimento, sendo que para a determinação de carbono utilizou-se o método titulométrico, para nitrogênio utilizou-se o método Kjeldahl, para fósforo utilizou-se de espectrometria UV-Vis em amostra digerida por solução nitro-perclórica e para potássio utilizou-se de espectrometria de absorção atômica em amostra digerida por solução nitroperclórica. Também foi utilizada espectrometria de absorção atômica para Ca e Mg, utilizando-se como extrator o KCl (1 mol.L⁻¹).

As características do lodo, da vinhaça *in natura* e da concentrada são apresentadas na Tabela 1.

Nota-se que VI apresentou maiores teores de C, N total, CaO, MgO e K₂O quando comparada com VC. Tal resultado pode ser atribuído à baixa eficiência de geração de lodo resultante do uso da *Moringa oleifera* como coagulante. Girardi (2009) constatou que a moringa gerou baixa produção de lodo após a coagulação da vinhaça, sendo que determinados nutrientes podem ter permanecido no efluente sobrenadante, justificando a menor concentração de nutrientes no lodo concentrado da vinhaça, quando comparado à vinhaça *in natura*.

Tanto a VI quanto a VC foram inoculadas com 20 mL do lodo anaeróbio (LA). A vinhaça era adicionada diariamente, por meio de um septo, até completar 100 mL de

Tabela 1. Resultados das análises do lodo anaeróbio (LA), da vinhaça *in natura* (VI) e da vinhaça concentrada (VC) utilizados no experimento.

Parâmetros	LA	VI	VC
pH (H ₂ O)	6,78	6,5	6,5
Carbono (g.L ⁻¹)	27,27	14,73	14,01
Matéria orgânica (g.L ⁻¹)	49,64	26,80	26,07
N total (g.L ⁻¹)	7,00	2,38	1,93
Relação carbono / nitrogênio	4:1	6:1	6:1
CaO (mg.L ⁻¹)	3153	2823	2218
MgO (mg.L ⁻¹)	345	1616	1296
K ₂ O (mg.L ⁻¹)	853	3927	3640
P ₂ O ₅ (mg.L ⁻¹)	796,0	127,3	199,0

mistura (vinhaça + lodo). Os tratamentos T₁, T₂, T₃ e T₄ referem-se ao uso de vinhaça *in natura*. Por sua vez, os tratamentos T₆, T₇, T₈ e T₉ representam o uso de vinhaça concentrada. Os tratamentos T₅ e T₁₀ foram os controles, sem o uso de lodo como fonte de microrganismos, sendo que em T₅ utilizou-se vinhaça *in natura* e em T₁₀ utilizou-se vinhaça concentrada. Os volumes de vinhaça adicionados em cada tratamento podem ser observados na tabela 2. Os volumes de biogás gerados, em cada reator, eram avaliados 24 horas após a adição da vinhaça.

Ao final do experimento a composição do biogás foi avaliada por meio de cromatografia gasosa com detector de condutividade térmica, em um cromatógrafo modelo TRACE GC 2000, utilizando coluna Porapak Q, peneira molecular 13X, injetor a 120 °C, fluxo de 20 mL/min de argônio, detector a 130 °C, forno das colunas a 55 °C. Seringas, para a injeção do biogás no equipamento, eram previamente lavadas com o gás a ser amostrado e posteriormente era realizada a retirada de 1 mL de amostra, sendo que eram mantidas hermeticamente vedadas por meio de um septo até a injeção no cromatógrafo.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A tabela 3 apresenta os resultados obtidos para os volumes de biogás a partir das diferentes proporções de inoculações. Os resultados foram submetidos à análise estatística, utilizando software SAS (SAS 1999). A comparação das médias foi feita pelo teste de Tukey, a nível de significância de 5%, ocorrendo diferenças significativas entre os tratamentos. Nota-se que em tratamentos com vinhaça *in natura* o volume de produção de biogás foi superior aos tratamentos com vinhaça concentrada, mas sem diferenças estatísticas entre tratamentos com uso de vinhaça nas diferentes formas.

Na última avaliação de volume observada (120 horas), os tratamentos T₂ e T₃, assim como T₇ e T₈ foram estatisticamente iguais, isto é, não ocorrem variações de volume de biogás produzido a partir da adição de vinhaça fracionada em 10, 20, 30 e 40 ou 20, 40 e 40 mL ao lodo. Portanto, ficou evidenciado que ao final na inoculação, tratamentos que utilizam doses mais fracionadas de adição de vinhaça

Tabela 2. Volume (em mL) de vinhaça, adicionada ao lodo, avaliados a cada 24 horas.

Tratamentos	0	24	48	72	96	
VI	T ₁	5	10	20	25	40
	T ₂	10	20	30	40	0
	T ₃	20	40	40	0	0
	T ₄	100	0	0	0	0
	T ₅	0	0	0	0	0
VC	T ₆	5	10	20	25	40
	T ₇	10	20	30	40	0
	T ₈	20	40	40	0	0
	T ₉	100	0	0	0	0
	T ₁₀	0	0	0	0	0

ao lodo são mais eficientes na produção de biogás, gerando maior volume final. Esta hipótese pode ser confirmada também pelos ensaios T₁ e T₆.

Os tratamentos testemunhas, somente com o uso de vinhaça, sem fonte de microrganismos do lodo, obtiveram produção de biogás em nível muito baixo, quase desprezível, o que comprova a necessidade da utilização de uma fonte de microrganismos. Xavier *et al.* (2010) confirmou que a presença de inóculo favorece o processo de biodigestão, contribuindo para a melhoria nos teores de metano na composição do biogás. Vedrenne *et al.* (2008) afirmam que o material a ser digerido deve ser misturado à fonte de microrganismos em frações reduzidas para que não ocorram perdas de microrganismos na fase de adaptação. Raposo *et al.* (2009) verificaram que as constantes cinéticas de degradação de sólidos voláteis e produção de metano diminuíram quando a relação substrato/inóculo diminuiu, indicando um efeito de inibição com a concentração do substrato.

O efeito coagulante de sementes de *Moringa oleifera* já é conhecido, porém efeitos antibacterianos e antifúngicos da moringa vêm sendo estudados mais recentemente. A vinhaça coagulada por meio de sementes de *Moringa oleifera* apresentou menores volumes de biogás possivelmente devido aos menores teores de nutrientes como C, N total, CaO, MgO e K₂O, assim como pela influência dos efeitos antifúngicos avaliados por Chuang *et al.* (2007) e antibacterianos avaliados por Vieira *et al.* (2010), ambos por meio do uso do extrato de sementes de moringa. Este efeito inibitório da atividade microbiana, causado pela *Moringa oleifera*, possivelmente interferiu na atividade microbiológica responsável pelo processo de biodigestão, reduzindo assim os volumes de biogás avaliados nos tratamentos deste experimento. Experimentos futuros devem considerar a contagem de células viáveis por semeadura em placa antes e depois da adição de vinhaça concentrada, permitindo assim uma melhor avaliação do efeito inibitório da atividade microbiológica causado pela *Moringa oleifera*.

Tabela 3. Volume acumulado, em mL, de biogás produzidos ao longo das horas (0, 24, 48, 72, 96 e 120), em função das diferentes dosagens de adição de vinhaça ao lodo.

Tratamentos	0	24	48	72	96	120	
VI	T ₁	0 e	43 b	60 b	71 a	82 a	96 a
	T ₂	0 e	34 c	51 b	63 b	75 b	83 b
	T ₃	0 e	23 c	35 c	44 b	53 b	60 b
	T ₄	0 e	18 d	18 d	19 d	19 d	19 d
	T ₅	0 e	1 e	1 e	2 e	2 e	2 e
VC	T ₆	0 e	40 b	58 b	69 b	78 b	89 a
	T ₇	0 e	32 c	47 b	59 b	70 b	78 b
	T ₈	0 e	21 c	30 c	39 c	47 c	54 b
	T ₉	0 e	15 d	16 d	16 d	16 d	16 d
	T ₁₀	0 e	1 e	1 e	2 e	2 e	2 e

* Mesmas letras na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa a nível de 5%, em Teste de Tukey.

Tabela 4. Composição do biogás produzido, em %.

Tratamentos	CH ₄	H ₂ S	N ₂	CO ₂	
VI	T ₁	37,03 a	0,39 b	6,85 d	55,73 c
	T ₂	26,72 b	0,52 a	5,65 d	67,11 b
	T ₃	24,54 b	0,44 b	5,28 d	69,74 b
	T ₄	2,21 c	0,00 d	8,98 b	88,74 a
	T ₅	0,00 d	0,00 d	15,26 a	0,00 d
VC	T ₆	27,32 b	0,51 a	5,31 d	66,86 b
	T ₇	21,18 b	0,39 b	6,26 d	77,17 b
	T ₈	19,56 b	0,38 b	5,82 d	74,24 b
	T ₉	0,00 d	0,00 d	14,86 a	84,46 a
	T ₁₀	0,00 d	0,00 d	18,27 a	81,73 a

Mesmas letras na mesma coluna indicam que não houve diferença significativa a nível de 5%, em Teste de Tukey.

O biogás resultante avaliado por cromatografia gasosa indicou que ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos (Tab. 4). Para a produção de metano, no geral, o tratamento utilizando a vinhaça *in natura* foi o mais eficiente, atingindo 37,03% com o tratamento T₁. O melhor resultado obtido utilizando-se a vinhaça coagulada foi para o T₆ com 27,32% de metano. Este resultado foi estatisticamente igual à T₇ (21,18%) e T₈ (19,56%).

Em tratamentos sem inoculação com lodo não ocorreu produção de metano, assim como não ocorreu produção de Sulfeto de Hidrogênio (H₂S). Nestes tratamentos o gás carbônico foi gerado em níveis acima de 80% e o gás N₂ manteve produções elevadas também. Estes resultados permitem concluir que a vinhaça concentrada a partir de sementes de *Moringa oleifera* inibe o processo de biodigestão, reduzindo volume de biogás produzido, assim como teores de metano. Vedrenne et al. (2008) observaram bons teores de metano em biogás quando fracionaram as amostras de substrato a ser misturado ao inóculo.

Volumes acumulados de biogás e teores de metano foram obtidos de forma satisfatória para os tratamentos com adições fracionadas de vinhaça ao lodo, concluindo que o fracionamento da vinhaça é uma alternativa favorável. Portanto, a adição de menores doses de vinhaça ao lodo permite melhores condições aos microrganismos para que estes possam realizar o processo de biodigestão.

CONCLUSÕES

Pode-se concluir que a adição fracionada de vinhaça, tanto na forma *in natura*, como concentrada, favoreceu o volume de biogás gerado na biodigestão anaeróbia, assim como no teor de metano presente no biogás.

Entretanto, combinações de concentração de vinhaça por meio de sementes de *Moringa oleifera* e utilização do lodo para biodigestão anaeróbia, com finalidade de produção de biogás, não são viáveis, ocasionando menor volume de biogás e baixo teor de metano no gás. No entanto, mais estudos devem ser realizados a fim de detectar ação inibitória específica que ocorre a partir das sementes de *Moringa oleifera*.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à Capes, pelo financiamento da bolsa de estudo concedida.

REFERÊNCIAS

- BENTO, A. P., SEZERINO, P. H., PHILIPPI, L. S., REGINATTO, V. & LAPOLLI, F. R. 2005. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodo ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 10(4): 329-338.
- BORBA, L. R. 2001. *Viabilidade do uso da Moringa oleifera Lam no Tratamento Simplificado de Água para Pequenas Comunidades*, PB. 92f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa Regional de Pós Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2001.
- CABELLO, P. E., SCOGNAMIGLIO, F. P. & TÉRAN, F. J. C. 2009. Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio de leito fluidizado. *Engenharia Ambiental*, 6(1): 321-338.
- CHUANG, P. H., LEE, C. W., CHOU, J. Y., MURUGAN, M., SHIEH, B. J. & CHEN, H. M. 2007. Anti fungal activity of crude extracts and essential oil of *Moringa oleifera* Lam. *Bioresource Technology*, 98(1): 232-236.
- FÉRNANDEZ, A., SÁNCHEZ, A. & FONT, X. 2005. Anaerobic co-digestion of a simulated organic fraction of municipal solid wastes and fats of animal and vegetable origin. *Biochemical Engineering Journal*, 26: 22-28.
- FRARE, L. M., GIMENES, M. L. & PEREIRA, N. C. 2009. Processo para remoção de ácido sulfídrico de Biogás. *Engenharia Sanitária Ambiental*, 14(2): 167-172.
- GIRARDI, F. 2009. *Tratamento da vinhaça utilizando coagulantes naturais*. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2009.
- RAPOSO, F., BORJA, R., MARTIN, M. A., MARTIN, A., DE LA RUBIA, M. A. & RINCÓN, B. 2009. Influence of inoculum–substrate ratio on the anaerobic digestion of sunflower oil cake in batch mode: Process stability and kinetic evaluation. *Chemical Engineering Journal*, 149(1-3): 70-77.
- SAS - Statistical analysis system institute. 1999. *Procedure guide for personal computers*. 5 ed. North Carolina. 334 p.
- SZYMANSKI, M. S. E., BALBINOT, R., NAGEL, W. 2010. Biodigestão anaeróbia da vinhaça: aproveitamento energético do biogás e obtenção de créditos de carbono - estudo de caso. *Revista Semina: Ciências Agrárias*, 31(4): 901-912.
- VEDRENNE, F., BÉLINE, F., DABERT, P., BERNET, N. 2008. The effect of incubation conditions on the laboratory measurement of the methane producing capacity of livestock wastes. *Bioresource Technology*, 99(1): 146-155.
- VIEIRA, G. H. F., MOURÃO, J. A., ÂNGELO, A. M., COSTA, R. A. & VIEIRA, R. H. S. F. 2010. Antibacterial effect (*in vitro*) of *Moringa oleifera* and *Annona muricata* against gram positive and gram negative bacteria. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, 52(3):129-132.
- YEN, H., BRUNE, D. E. 2007. Anaerobic co-digestion of algal sludge and waste paper to produce methane. *Bioresource Technology*, 98: 130-134.
- XAVIER, C. A. N. & DE LUCAS JÚNIOR, J. 2010. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. *Engenharia Agrícola*, 30(2): 212-223.