



INCLUSÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR TRITURADA EM BIODIGESTORES ABASTECIDOS COM DEJETOS DE BOVINOS DE CORTE CONFINADO¹

Ricardo Galbiatti Sandoval Nogueira² & Jorge De Lucas Junior³

RESUMO: Objetivou-se avaliar o efeito da co-digestão de cana-de-açúcar triturada em diferentes porcentagens com dejetos de bovinos de corte confinados sobre a quantidade e qualidade do biogás, utilizando-se biodigestores contínuos. O experimento foi dividido em três etapas. A primeira e segunda etapas tiveram duração de 30 dias cada, avaliando-se o efeito da inclusão de 7% de cana-de-açúcar triturada de acordo com os tratamentos: 1 - biodigestores abastecidos com uma mistura de 0,250 kg de dejetos e 1,750 kg de água e 2 - biodigestores abastecidos com uma mistura de 0,250 kg de dejetos, 1,610 kg de água e 0,140 kg de cana-de-açúcar, sendo a primeira etapa dos 1-30 dias e a segunda etapa do 31-60 dias. O terceiro período teve duração de 30 dias e foi avaliado o efeito da inclusão de 3,5% de cana-de-açúcar triturada. Para análise dos dados considerou-se um delineamento inteiramente casualizado, utilizando-se o programa SAS[®] com nível de significância de 5%. Os biodigestores com cana tiveram uma produção total de biogás de 1,69967m³ e o tratamento controle produziu 1,30822 m³ de biogás. Os biodigestores com cana produziram no primeiro período respectivamente 0,79, 0,0127 e 0,102 m³ para produção total de biogás, produção total por quilograma de substrato e produção total por quilograma de dejetos contra 0,5, 0,0081 e 0,065 m³ do tratamento controle respectivamente. No terceiro período para as mesmas variáveis a inclusão de 3,5% de cana produziu 0,76, 0,123 e 0,98 m³ e os biodigestores controle produziram 0,51, 0,0082 e 0,065 m³. No segundo período a produção total por quilograma de sólidos totais adicionados e sólidos voláteis adicionados foi maior para os biodigestores sem cana 0,0093 e 0,438 m³ comparado com a inclusão de 7% de cana, 0,271 e 0,336 m³, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Co-digestão anaeróbia, potencial de produção, biogás

INCLUSION OF TRITURATED SUGARCANE IN DIGESTORS SUPPLIED WITH MANURE OF BEEF CATTLE FEED

ABSTRACT: The objective of this study was to evaluate the effect of the co-digestion of trituated sugarcane with beef cattle feedlot manure in continuous digestors in the amount and quality of biogas and biofertilizer. To do so, the work was divided in three steps. The first and the second part lasted 30 days each and evaluated the effect of the addition of 7% of trituated sugarcane in agreement with the following treatments: treatment 1, the digestors were supplied with a mixture of 0,250 kg of manure and 1,750 kg of water; treatment 2, the digestors were supplied with a mixture of 0,250 kg of manure, 1,610 kg of water, and 0,140 kg of trituated sugarcane. To The third period lasted 30 days and evaluated the effect of adding 3.5% of sugarcane crushed. The data analyses was performed with randomized design using SAS[®] program with level of significance of 5%. The digesters with sugarcane produced in the first period respectively 0.79, 0.0127, and 0.102 m³ of total production, of biogas production per kilogram of substrate, and of total production per kilogram of manure versus 0.5, 0.0081, and 0.065 m³ from the control treatment, respectively. In the third period, each variable had a total production of 0.76, 0.123, and 0.98 m³ and the control treatment yielded 0.51, 0.065, and 0.0082 m³. In the second period, the total production per kilogram of solid and of volatile solids added were higher in the digesters without sugarcane (0.0093 and 0.438 m³) when compared to the digesters that had addition of 7% of cane (0.271 and 0.336 m³).

KEYWORDS: Anaerobic co-digestion, production potential, biogas.

¹ Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: Inclusão de cana-de-açúcar triturada em biodigestores abastecidos com dejetos de bovinos de corte confinado.

² Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia - Energia na Agricultura, FCA/UNESP – Botucatu/SP – Brasil, mestre, doutorando,

FMVZ/USP- Pirassununga, Avenida duque de Caxias norte, 225, 13635-900, ricardogn@usp.br

³ Orientador e docente do Departamento de Engenharia Rural, FCAV/UNESP – Jaboticabal-SP – Brasil, jlucas@fcav.unesp.br

1 INTRODUÇÃO

A biomassa é uma fonte de energia abundante e renovável que pode ser derivada a partir de todas as matérias orgânicas produzidas por humanos e atividades naturais, incluindo resíduos industriais, resíduos sólidos urbanos, resíduos florestais, bem como resíduos agropecuários (WANG & KESHWANI, 2009).

A biodigestão anaeróbia de resíduos agropecuários tem provado ser um bom método para a obtenção de energia renovável, além de diminuir o impacto das emissões de gases de efeito estufa liberados a partir de dejetos sem tratamento. O biogás, uma mistura principalmente de metano e dióxido de carbono, é produzido quando as bactérias anaeróbias degradam a matéria orgânica (MASSÉ et al., 2010).

Co-digestão foi definida como o tratamento anaeróbio de uma mistura de, pelo menos, dois substratos diferentes, com o objetivo de melhorar a eficiência do processo de digestão anaeróbia (ALVAREZ et al., 2010). Essa pode aumentar a estabilidade do processo anaeróbio por causa de uma melhora na relação carbono nitrogênio (C/N) (EL-MASHAD & ZHANG, 2010).

Há um interesse cada vez maior na utilização dessa tecnologia para a produção de biogás. O potencial de produção de metano de dejetos animais tem sido melhorado pela co-digestão anaeróbia com outros agro-resíduos (PANICHNUMSIN et al., 2010).

No entanto, não é claro se alguns subprodutos podem ter efeitos adversos, quando adicionado a um digestor estável ou utilizados em conjunto com outros tipos de resíduos (FOUNTOLAKIS et al., 2008). Para melhorar o seu processo e evitar falhas, devido à sobrecarga, operadores de instalações de biogás precisam de dados e experiências sobre os limites da co-digestão (LINDORFER et al., 2008).

O objetivo deste trabalho é avaliar os efeitos da co-digestão de dejetos e cana-de-açúcar triturada sobre características quantitativas (produção diária, produção total) e qualitativas (composição, teor de metano, volume de metano) do biogás.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Descrição do local

A pesquisa foi desenvolvida no Laboratório de Biodigestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural e os resíduos para este experimento foram coletados no confinamento do Setor de Forragicultura do Departamento de Zootecnia, ambos situados na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista / UNESP – Câmpus de Jaboticabal, situado nas coordenadas geográficas: 21°14'05" S; 48°17'09" W e altitude média de 613,68 metros.

O clima da região, segundo a classificação de Köppen e Aw com transição para Cwa. Em Jaboticabal, o clima caracteriza-se por ser subtropical úmido, seco no inverno e com chuvas no verão, com precipitação anual de 1.424,6 mm, temperatura média anual de 22,2° C e umidade relativa média anual de 70,8%.

2.2 Descrição dos biodigestores

Foram utilizados 8 biodigestores contínuos tubulares de bancada com capacidade para 60 litros, construídos com tubo de PVC com diâmetro de 300 mm e com 1 m de comprimento, tendo suas extremidades vedadas por caps de fibra de vidro. À uma das extremidades foi acoplado um cano de entrada do afluente de 60 mm e na extremidade oposta um cano de 60 mm com registro de 75 mm para saída do efluente.

Os biodigestores utilizados possuíam sistema de agitação inserido com o auxílio de três flanges de 13 mm. Na parte interna dos biodigestores, foram fixados nas flanges tubos com 10 cm de comprimento para assegurar que o nível do conteúdo do biodigestor ficasse imerso no cano, evitando-se escape do biogás pelas flanges. Para realizar a agitação foi colocado dentro de cada flange uma haste de bate-deira com 30 cm de comprimento

Os gases gerados nos biodigestores foram armazenados em gasômetros de 250 mm de diâmetros e 60 cm de comprimento, ligados aos biodigestores por meio de mangueiras plásticas para condução do biogás (Figura 6).

2.3 Ensaio de biodigestão anaeróbia

O experimento teve duração de 120 dias. Para partida os biodigestores contínuos foram abastecidos com 60 kg de uma mistura de dejetos de bovinos de corte e água, diluídos na proporção 1:7. A mistura foi homogeneizada manualmente com o auxílio de pás e introduzida nos biodigestores contínuos.

Passados 20 dias do abastecimento inicial depois de ter sido realizado o teste de queima, foram iniciadas as cargas diárias dos biodigestores. As coletas dos dejetos foram realizadas duas vezes por semana, manualmente por meio de raspagem de baias concretadas com auxílio de enxada no confinamento do setor de Forragicultura e Pastagem da FCAV-UNESP. Os dejetos foram coletados de bovinos de corte da raça Nelore criados em sistema de confinamento onde receberam dieta composta de 60% de concentrado e 40% de volumoso (Tabela 1).

Tabela 1 - Composição da dieta dos animais.

Ingredientes MS	Quantidade	% PB	% NDT	% EE
S. milho	40,00	3,60	24,80	1,24
Milho	49,20	4,43	41,82	1,97
F. soja	6,81	2,93	5,52	0,16
Soja grão	0,00	0,00	0,00	0,00
Uréia	0,99	2,78	0,00	0,00
Mistura mineral	3,00	0,00	0,00	0,00
Fornece	100,00	13,7	72,14	3,4

Valores em base de matéria seca

O ensaio de biodigestão anaeróbia foi dividido em três etapas. O primeiro e o segundo período tiveram duração de 30 dias cada etapa, no qual a primeira etapa durou de 1-30 dias e a segunda dos 31-60 dias. Foi adotado a co-digestão com 7% de cana-de-açúcar triturada no tratamento 1, no qual os biodigestores foram abastecidos com 0,250 kg de dejetos de bovino de corte confinado e 1,750 kg de água (controle). No tratamento 2 os biodigestores foram abastecidos com 0,250 kg de dejetos de bovino de corte confinado, 1,610 kg de água e 0,140 kg de cana-de-açúcar triturada.

No período dos 61-90 dias não houve inclusão de cana-de-açúcar nos biodigestores do tratamento 2, devido a um problema de acidez e desestabilidade desses biodigestores, sendo então abastecidos apenas com dejetos e água.

O terceiro período ocorreu com duração dos 90 aos 120 dias e adotando-se co-digestão com 3,5% de cana triturada. Os biodigestores do tratamento 1 que receberam cargas diárias com 0,250 kg de dejetos de bovino de corte confinado e 1,750 kg de água e os biodigestores do tratamento 2 receberam cargas diárias com 0,250kg de dejetos, 1,050 kg de água e 0,070 kg de cana-de-açúcar triturada.

A agitação dos biodigestores foi realizada duas vezes ao dia com o auxílio de uma parafusadeira durante 20 segundos em cada flange.

Durante o ensaio de biodigestão anaeróbia foram avaliadas as produções de biogás, qualidade do biogás e biofertilizante, reduções dos teores de sólidos totais e sólidos voláteis.

A temperatura ambiente era monitorada por meio de termômetro digital (em °C), antes de cada leitura do biogás. Para a leitura da temperatura de biogás, após a leitura da produção em m³, colocava-se o termômetro no local de liberação de gás, em seguida, aguardava-se o período para estabilização da temperatura, o que ocorria em média de 60 segundos, procedendo-se então a tomada da temperatura do biogás.

2.4 Cargas diárias

Para o cálculo da quantidade de afluentes diária adicionada nos biodigestores foi considerado o tempo de retenção hidráulica (TRH) de 30 dias de acordo com a equação:

$$TRH = \frac{\text{Volume do Biodigestor}}{\text{Carga diária}}$$

No qual:

TRH= Tempo de Retenção Hidráulica

2.4 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar utilizada foi da variedade RB855536, classificada por AZEVÊDO et al. (2003) como não precoce, mas intermediária no ciclo de produção, no que se relaciona ao tempo para atingir o teor brix desejável.

A coleta da cana-de-açúcar foi realizada semanalmente, triturada em triturador elétrico, este ajustado para picar a cana no tamanho de 2 a 3 cm. Após trituração a cana era pesada, armazenada em sacos plásticos e em seguida levada a um refrigerador com temperatura de 4 °C.

Diariamente eram retiradas as embalagens do refrigerador para compor as cargas diárias dos biodigestores do tratamento 2.

2.5 Análise estatística

Após obtenção dos dados, os resultados foram submetidos à análise de variância pelo programa SAS e, quando significativo, as médias foram comparadas pelo teste de Student a 5% de significância.

2.6 Metodologias empregadas

2.6.1 Teores de sólidos totais e teores de sólidos voláteis

Para determinação de sólidos totais as amostras dos afluentes e efluentes foram acondicionadas em triplicata em recipientes de alumínio, previamente tarados, pesados para obtenção do peso úmido (Pu) do material e após isto, levados à estufa com circulação forçada de ar, à temperatura de 65° C até atingirem peso constante, sendo a seguir resfriadas em dessecador e novamente pesadas em balança com precisão de 0,01g, obtendo-se então o peso seco (Ps). O teor de sólidos totais foi determinado semanalmente segundo metodologia descrita por APHA (1995).

No qual:

$$ST = 100 - U \text{ e } U = (PU - PS) / PU \times 100$$

No qual:

ST = teor de ST, em porcentagem;

U = teor de umidade, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

PS = peso seco da amostra, em g.

Para a determinação dos sólidos voláteis, o material já seco em estufa, resultante da determinação dos sólidos totais, foi levado a mufla, em cadinhos de porcelana previamente tarados, e mantidos a uma temperatura de 575° C por um período de 2 horas. Após a queima inicial com a mufla parcialmente aberta e seguida do resfriamento em dessecadores, o material resultante foi pesado em balança analítica com precisão de 0,0001g, obtendo-se o peso das cinzas ou matéria mineral. Os teores de sólidos voláteis foram determinados semanalmente e expressos em porcentagem de matéria seca segundo metodologia descrita por APHA (2005).

No qual:

$$SV = ST - \text{cinzas e cinzas} = \{1 - [(PU - Pm) / PU]\} \times 100$$

No qual:

SV = teor de SV, em porcentagem;

PU = peso úmido da amostra, em g;

Pm = peso obtido após queima em mufla, em g.

2.6.2 Determinação do volume de biogás e cálculo dos potenciais de produção de biogás

Diariamente, foi mensurada a produção de biogás de cada biodigestor contínuo. Para a determinação dos volumes de biogás produzidos, mediu-se o deslocamento vertical dos gasômetros, que foi multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, ou seja, 0,0507 m². Após cada leitura, os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1atm e 20° C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985), no qual verificou-se que, pelo fator de compressibilidade (Z), o biogás apresentou comportamento próximo ao ideal. Conforme descrito por Santos (2001), para a correção do volume de biogás, utilizou-se a expressão resultante da combinação das leis de Boyle e Gay-Lussac.

$$\frac{V_o P_o}{T_o} = \frac{V_1 P_1}{T_1}$$

No qual:

V_o = volume de biogás corrigido, m³;

P_o = pressão corrigida do biogás, 10322,72 mm de água;

T_o = temperatura corrigida do biogás, 293,15 K;

V₁ = volume do gás no gasômetro;

P₁ = pressão do biogás no instante da leitura, 9652,10 mm de água;

T₁ = temperatura do biogás, em K, no instante da leitura.

Considerando-se a pressão atmosférica média de Jaboticabal igual a 9641,77 mm de água e pressão conferida pelos gasômetros de 10,33 mm de água, obteve-se como resultado a seguinte expressão, para correção do volume de biogás:

Expressão:

$$V_o = \frac{V_1}{T_1} \times 273,84575$$

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se os dados de produção diária e as quantidades de substrato de ST e SV adicionados nos biodigestores, além das quantidades de SV reduzidos durante o processo de biodigestão anaeróbia. Os valores foram expressos em m³ de biogás por kg de substrato, de dejetos ou de ST e SV.

2.6.3 Caracterização qualitativa do biogás

As análises da composição do biogás produzido nos biodigestores foram realizadas semanalmente para determinação dos teores de metano, gás carbônico e óxido nitroso em cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC-2001, equipado com as colunas Porapack Q e Peneira Molecular, e detector de condutividade térmica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produção, composição e volume de metano do biogás

As produções diárias de biogás, em ambos os tratamentos, apresentaram comportamentos semelhantes no decorrer do período experimental, conforme indicado na Figura 1. Iniciadas as cargas diárias pôde-se observar que, em menos de uma semana houve resposta dos biodigestores. Com o início das cargas diárias a produção de biogás aumentou em ambos os tratamentos, os biodigestores com cana tiveram uma melhor resposta, produzindo uma quantidade superior de biogás. Ambos os tratamentos tiveram um pico de produção de biogás na quinta semana, quando os biodigestores com cana produziram 0,025 m³ e os biodigestores sem cana produziram 0,016 m³, valor este 56% inferior.

Menezes (2011), trabalhando com inclusão de 5% e 10% de cana-de-açúcar em biodigestores batelada, obteve pico de produção por volta da oitava semana com produção de 0,03 m³ de biogás para os tratamentos com 5% de cana. O tratamento com 10% de cana obteve seu pico de produção de biogás por volta da sexta semana produzindo cerca de 0,021 m³ de biogás.

Na sexta semana a queda na temperatura ambiente refletiu nos dados de produção de biogás. Os biodigestores de ambos os tratamentos tiveram a atividade de seus micro-organismos reduzidas e como consequência tiveram uma queda na produção de biogás, chegando a valores próximos a 0,005 m³.

Após o reestabelecimento das condições normais de temperatura ambiente, os biodigestores de ambos os tratamentos tiveram uma recuperação da produção de

biogás na sétima semana, porém a queda na temperatura provocou um desequilíbrio nas populações de microrganismos de ambos os biodigestores, nos quais provocou a instabilidade de produção de biogás oscilando entre picos e quedas, esta situação permaneceu até a décima segunda semana.

Reestabelecido o equilíbrio em ambos os biodigestores, retomado os níveis ideais de pH, os biodigestores de ambos os tratamentos se encontravam em um patamar semelhante de produção na décima terceira semana. Na décima quarta semana, os biodigestores do tratamento 2 voltaram a receber cana triturada (3,5%) e já nessa mesma semana responderam à adição da cana, alcançando um pico na décima sétima semana, produzindo ao redor de 0,0021 m³ de biogás enquanto os biodigestores com cana produziram 0,16 m³, valor este 31% inferior.

Xavier (2005) que trabalhou com inclusão de caldo de cana em biodigestores contínuos, obteve uma produção 16% superior de biogás para os biodigestores com caldo de cana comparado aos sem caldo de cana e atribuiu essa diferença a maior quantidade de sólidos voláteis proporcionado pelo caldo de cana.

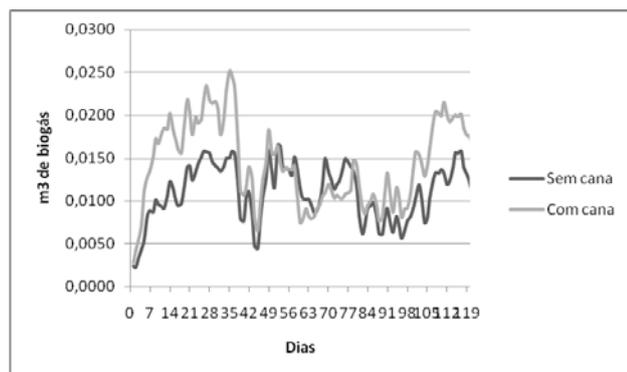


Figura 1 - Distribuição da produção diária de biogás (m³) ao longo do período experimental.

Pode-se observar na Tabela 2 a produção acumulada semanal de biogás em m³. Na primeira semana já houve uma diferença de 63% a mais na produção de biogás dos biodigestores com cana triturada. Na segunda semana essa diferença foi ainda maior chegando a 77%. A partir da 3 semana a diferença de produção entre os dois tratamentos começou a diminuir, devido aos problemas de queda de pH e aumento da acidez volátil. Essa situação permaneceu até sétima semana, quando a diferença na produção dos biodigestores com cana para os biodigestores sem cana foi de apenas 3%.

A partir da oitava semana os biodigestores sem cana tiveram uma produção média semanal maior que os biodigestores com cana, diferença essa de 15%. Os biodigestores sem cana continuaram a produzir maior volume de biogás semanal até a décima primeira semana, quando tiveram produção 11% superior.

Com o restabelecimento das condições normais dos biodigestores com cana, estes apresentaram na décima segunda semana produção 14% superior aos biodigestores sem cana. Esta diferença se intensificou à medida que foi retomada a inclusão da cana triturada, na décima terceira semana, sendo que na décima sexta semana, ambos os tratamentos tiveram um pico de produção de biogás, no qual os biodigestores com cana tiveram uma produção 33% superior.

A produção total de biogás conforme indica a tabela 2, foi superior para os biodigestores abastecidos com cana, estes tiveram em todo período experimental produção de 1,69967 m³ de biogás, enquanto os biodigestores sem cana produziram um total de 1,30822 m³. A maior produção de biogás pode ser atribuída a maior quantidade de sólidos voláteis adicionados nos biodigestores com cana. Xavier (2009) adicionou 6% e 8% de caldo de cana em biodigestores abastecidos com dejetos de vacas de leite e obteve um incremento de 36% e 32% respectivamente, na produção total de biogás, quando comparado com biodigestores sem adição de caldo de cana.

Menezes (2011) trabalhou com a inclusão de 5% e 7% em biodigestores batelada abastecidos com dejetos de vacas leiteiras e obteve uma produção total de 0,191m³ e 0,112m³ de biogás, já os biodigestores abastecidos apenas com dejetos bovinos produziram 0,021m³ de biogás.

Tabela 2 - Produção semanal média acumulada de biogás (m³) dos tratamentos 1 e 2 .

Semana	Sem cana	Com cana
1	0,03521	0,05759
2	0,06982	0,12390
3	0,08026	0,12777
4	0,10118	0,14597
5	0,08028	0,11204
6	0,06489	0,08229
7	0,09921	0,10282
8	0,08091	0,06992
9	0,09118	0,07482
10	0,06986	0,07923
11	0,06700	0,06031
12	0,05881	0,06730
13	0,06541	0,09704
14	0,08789	0,13709
15	0,10006	0,13502
16	0,09991	0,13337
17	0,05634	0,09319
TOTAL	1,30822^b	1,69967^a

Diferença entre as médias durante o período experimental.

Médias nas colunas são mostradas por diferentes letras pelo teste T (student) p<0,005.

A figura 2 apresenta o teor de metano do biogás de ambos os tratamentos. Pode ser observado que nas primeiras três semanas houve pouca variação nas concentrações do biogás ao comparar os dois tratamentos, ocorrendo uma queda no teor de metano devido ao início da fase hidrolítica, seguida de predominância da fase acidogênica sobre a fase metanogênica.

A partir da terceira semana, os biodigestores sem cana, apresentaram biogás de composição estável permanecendo na faixa de 60% de metano. No entanto os biodigestores com cana apresentaram comportamento de instabilidade, que de acordo com Demirer & Chen (2004) as bactérias acidogênicas têm crescimento rápido e pH ótimo de 5,2 a 6,5 ao passo que as metanogênicas crescem mais lentamente, como as acetogênicas, e o seu pH ótimo é de 7,5 a 8,5. Xavier (2005) obteve para biodigestores sem inclusão de caldo de cana uma produção mais acelerada e um maior pico de produção de metano quando comparado aqueles biodigestores com inclusão de caldo de cana.

Os biodigestores com cana continuaram a produzir um biogás com menor teor de metano. Verifica-se nos biodigestores com cana, que a partir da sétima semana o teor de metano no biogás foi inferior a 50%, permanecendo abaixo deste valor até a nona semana, confirmando a predominância da fase acidogênica sobre a metanogênica, indicando a interferência direta sobre a qualidade do biogás. Xavier (2005) adicionou caldo de cana e se deparou com um período de instabilidade nos respectivos tratamentos, obteve um biogás com 40% de metano e atribuiu este fato à inibição de parte dos micro-organismos metanogênicos. Segundo Ripley et al. (1986), os sintomas mais comuns de sobrecarga de MO no sistema são o aumento de CO₂ no biogás (ou redução do CH₄) e quedas de pH.

Na décima primeira semana os teores de metano começaram a melhorar indicando o reestabelecimento das condições normais de biodigestão anaeróbia. Na décima terceira semana as concentrações de metano já se encontravam estabilizadas e próximas a 60%, valor semelhante aos biodigestores sem cana.

A inclusão de cana triturada, 3,5%, na décima quarta semana, não interferiu significativamente na qualidade do biogás permanecendo com valores de metano próximos a 60% até o final do experimento.

Xavier (2005), trabalhando com dejetos de bovinos de leite e co-digestão com caldo de cana-de-açúcar em biodigestores contínuos, obteve em média 61,6% de metano para os biodigestores abastecidos apenas com dejetos de bovinos leiteiros e 58,8% de metano no biogás para os biodigestores em co-digestão com caldo de cana. Sagula (2012) trabalhou com inclusão de caldo de cana em co-digestão com cama de frango peneirada e obteve médias da porcentagem de CH₄ no biogás para os biodigestores contínuos sem caldo de cana de 53% e de 46% para a inclusão de 5% de caldo de cana.

Sundhet al. (2003) estudaram o efeito da sobrecarga de substrato com única dose de glicose na produção de biogás utilizando biodigestores de bancada. Os mesmos possuíam agitação e eram operados a 37° C, com substrato sintético por três anos, TRH de 20 dias e carga orgânica volumétrica de 1,00 g de SV L⁻¹ dia⁻¹. Os biodigestores receberam cargas 15 e 25 vezes a dose diária de glicose. Os autores coletaram amostras ao início e ao final do TRH (4 horas e 20 dias, respectivamente) e observaram que houve diferença na estrutura da comunidade microbiana e que toda a glicose foi consumida pelos micro-organismos em apenas 2 a 3 dias, sendo a maior parte do carbono recuperada na forma de CH₄ e CO₂. Enquanto a glicose esteve disponível no substrato, a quantidade de CO₂ excedeu a de CH₄.

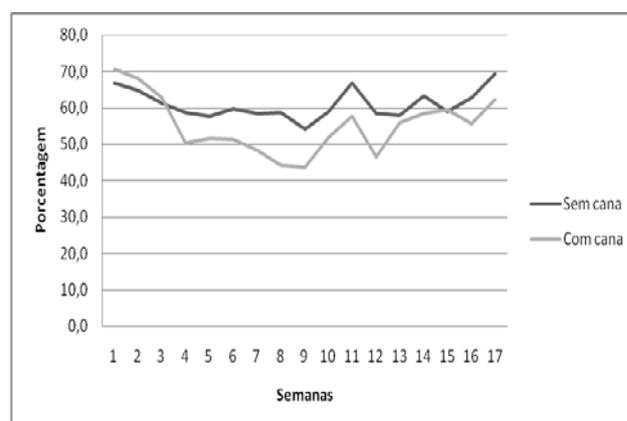


Figura 2 - Composição média de metano no biogás tratamentos 1 e 2 .

Na Tabela 3 estão apresentados os valores médios semanais de volume de metano (m³), o volume de metano é função da produtividade diária de biogás e teor de metano no biogás.

Com relação aos dados apresentados na Tabela 3, nas primeiras três semanas, a maior produção de biogás dos biodigestores com cana (Figura 1), aliado a uma pequena diferença na porcentagem de metano do biogás (Figura 2), foi responsável por apresentar maiores volumes de metano. Na primeira semana os biodigestores com cana tiveram um volume de metano 73% superior.

Com o passar do tempo, a produção diária de biogás continuou superior para os biodigestores com cana, e apesar da concentração de metano no biogás ter diminuído, na quinta semana apresentou volume 24% superior de metano.

A partir da sétima semana, o maior volume de biogás produzido, aliado ao maior teor de metano no biogás, proporcionou aos biodigestores sem cana, volume de metano 16% superior, este cenário de superioridade permaneceu até a décima segunda semana. Na décima terceira semana, a recuperação do volume de biogás produzido pelos biodigestores com cana, mesmo com o menor teor de metano no biogás, foi necessário para proporcionar um volume de metano 43% maior.

No decorrer da décima terceira semana até o final do experimento os biodigestores com cana voltaram a produzir um maior volume de biogás e reduziram a diferença na concentração de metano no biogás, resultando em um maior volume de metano até o final do experimento, na décima sétima semana a diferença foi de 49%.

Xavier (2005) chegou a produzir 42% a mais de metano quando incluiu caldo de cana em biodigestores contínuos, comparado com biodigestores sem inclusão de caldo de cana.

Não foi encontrado diferença significativa para a produção total de metano de (m³) entre os tratamentos a 5% de significância, ambos os tratamentos produziram um volume de metano semelhante, sendo que os biodigestores com cana apresentaram uma tendência de superioridade.

Tabela 3 - Volume médio semanal (m³) de metano nos tratamentos 1 e 2.

Semana	Sem cana	Com cana
1	0,0235	0,0407
2	0,0451	0,0845
3	0,0491	0,0801
4	0,0594	0,0735
5	0,0463	0,0577
6	0,0387	0,0422
7	0,0579	0,0497
8	0,0476	0,0309
9	0,0494	0,0326
10	0,0411	0,0411
11	0,0447	0,0348
12	0,0344	0,0312
13	0,0379	0,0543
14	0,0556	0,0801
15	0,0589	0,0804
16	0,0627	0,0743
17	0,0390	0,0581
TOTAL	0,7913	0,9462

Diferença entre as médias durante o período experimental.

Médias nas colunas são mostradas pelo teste T (student) p<0,005.

3.2 Potenciais de produção de biogás

A Tabela 4 apresenta os potenciais de produção de biogás do primeiro período (0-30 dias) quando foi incluído 7% de cana triturada. A PT foi significativamente superior para os biodigestores com cana, estes produziram 58% mais biogás que os biodigestores sem cana. Menezes (2011), trabalhou com a inclusão de cana em biodigestores batelada em co-digestão com dejetos de bovinos leiteiros e encontrou a produção de 0,02, 0,19, 0,11m³ de biogás total para tratamentos com 0,5 e 7% de inclusão de cana respectivamente.

O PT/subs foi maior para os biodigestores com cana, apresentando uma produção 57% maior que os biodigestores abastecidos sem cana. Sagula (2012), abasteceu biodigestores contínuos com cama de frango peneirada e 5% de caldo de cana e obteve uma produção de 0,0095m³ de biogás por quilograma de substrato e este tratamento foi 50% maior que os biodigestores que não receberam caldo de cana.

OPT/ST ad e o PT/SV ad não foram significativamente diferentes entre os tratamentos, este fato pode ser explicado pela maior inclusão de sólidos totais e sólidos voláteis nos biodigestores com cana, o que refletiu em uma maior produção de biogás, igualando os valores PT/ST ad e PT/SV ad.

Sagula (2012) incluiu 5% de caldo de cana-de-açúcar em biodigestores abastecidos com cama de frango peneirada e obteve 0,45 m³ de biogás por quilograma de sólidos totais adicionados, valor 42% superior ao tratamento sem caldo de cana. Menezes (2011) incluiu 5% e 7% de cana em biodigestores batelada com dejetos de bovinos leiteiros e obteve as seguintes produções 2,47 e 1,38m³ de biogás por quilograma de sólidos totais adicionados para os tratamentos com 5 e 7% respectivamente e 2,94 e 1,61m³ de biogás por quilograma de sólidos voláteis adicionados.

OPT/Dej foi superior para os biodigestores com cana, indicando que a inclusão de cana-de-açúcar aumentou em 57% o potencial de produção de biogás dos dejetos bovinos.

Tabela 4 - Potencias de produção total (PT), produção total por quilograma de substrato (PT/subs), produção total por quilograma de sólidos totais adicionados (PT/ST ad), produção total por quilograma de sólidos voláteis (PT/SV ad), produção total por quilograma de dejetos adicionados, no primeiro período, em metros cúbicos.

	PT	PT/Subs	PT/ST ad	PT/SV ad	PT/Dej
Sem Cana	0,5 ^b	0,0081 ^b	0,456 ^a	0,549 ^a	0,065 ^b
Com Cana	0,79 ^a	0,0127 ^a	0,393 ^a	0,49 ^a	0,102 ^a
CV	24%	24%	12%	13%	24%

Diferença entre as médias durante o período experimental.

Médias nas colunas são mostradas por diferentes letras pelo teste T (student) p<0,005.

CV= coeficiente de variação

A Tabela 5 é referente ao segundo período (31-60 dias) quando foram incluídos 7% de cana triturada e apresenta

os potenciais de produção de biogás dos respectivos tratamentos.

Ao comparar a PT, não é encontrada diferença significativa entre os tratamentos, ambos os tratamentos tiveram produção de biogás semelhante, esta semelhança foi provocada pela condição de desequilíbrio verificada nos biodigestores com cana, que passaram a produzir um menor volume de biogás que resultou na igualdade de produção.

A condição de menor produção de biogás dos biodigestores com cana e igualdade na produção total de biogás, refletiu nos valores de PT/Subs e PT/Dej, estas variáveis não apresentaram diferença estatística.

A PT/SV ad e PT/SV ad foi significativamente superior (27% CV) para os tratamentos sem cana. O acontecido é explicado pela menor inclusão de sólidos totais e sólidos voláteis nos biodigestores sem cana e a semelhança na produção total de biogás, foram suficientes para proporcionar uma superioridade de 61% para a PT/ST ad e para a PT/SV ad.

Tabela 5 - Potencias de produção total (PT), produção total por quilograma de substrato (PT/subs), produção total por quilograma de sólidos totais adicionados (PT/ST ad), produção total por quilograma de sólidos voláteis (PT/SV ad), produção total por quilograma de dejetos adicionados, no segundo período, em metros cúbicos.

	PT	PT/Subs	PT/ST ad	PT/SV ad	PT/Dej
Sem Cana	0,57	0,0093	0,438 ^a	0,541 ^a	0,074
Com Cana	0,67	0,0109	0,271 ^b	0,336 ^b	0,087
CV	17%	17%	27%	27%	17%

Diferença entre as médias durante o período experimental. Médias nas colunas são mostradas por diferentes letras pelo teste T (student) $p < 0,005$.

CV= coeficiente de variação

A tabela 6 é referente ao terceiro período, quando foram adicionados 3,5% de cana triturada e apresenta os valores de potenciais de produção de biogás.

A PT foi superior para os biodigestores com cana, que produziram 49% mais biogás que os biodigestores sem cana, quando foi incluído 3,5% de cana triturada. A PT superior para os biodigestores com cana, refletiu na PT/Subs, na qual, os biodigestores com cana apresentaram superioridade de 50% em relação aos biodigestores sem cana.

A comparação no que diz respeito a PT/ST ad é superior a 5% de significância para os biodigestores com cana, a diferença na quantidade de sólidos totais proporcionada

pela inclusão de 3,5% de cana triturada foi pequena e a maior produção total de biogás foi responsável por uma produção 46% maior de sólidos totais adicionados.

A respeito da PT/SV ad, não houve diferença estatística a 5% de significância entre os tratamentos. A inclusão de 3,5% de cana triturada proporcionou uma maior diferença na quantidade de sólidos voláteis adicionados, o que refletiu em uma maior produção total de biogás, os biodigestores sem cana, teve uma menor quantidade de sólidos voláteis adicionados e uma menor produção total de biogás, como consequência a relação produção total de biogás por sólidos voláteis adicionados foi semelhante entre os tratamentos.

Os biodigestores com cana tiveram uma produção de biogás por quilograma de dejetos superior a 5% de significância comparado com os biodigestores sem cana, a inclusão de 3,5% de cana melhorou em 50% o potencial de produção de biogás dos dejetos.

Tabela 6 - Potencias de produção total (PT), produção total por quilograma de substrato (PT/subs), produção total por quilograma de sólidos totais adicionados (PT/ST ad), produção total por quilograma de sólidos voláteis (PT/SV ad), produção total por quilograma de dejetos adicionados, no terceiro período, em metros cúbicos.

	PT	PT/Subs	PT/ST ad	PT/SV ad	PT/Dej
Sem Cana	0,51 ^b	0,0082 ^b	0,45 ^b	0,57 ^a	0,065 ^b
Com Cana	0,76 ^a	0,0123 ^a	0,66 ^a	0,68 ^a	0,098 ^a
CV	23%	23%	22%	13%	23%

Diferença entre as médias durante o período experimental.

Médias nas colunas são mostradas por diferentes letras pelo teste T (student) $p < 0,005$.

CV= coeficiente de variação

4 CONCLUSÃO

A co-digestão de cana-de-açúcar triturada promoveu um aumento de 30% na produção total de biogás no decorrer de todo período experimental. O excesso de substratos solúveis da cana-de-açúcar triturada pode provocar desequilíbrio da fase metanogênica constatado pelo menor teor de metano presente no biogás.

A inclusão de 7% e de 3,5% de cana-de-açúcar triturada foi responsável por um aumento de 58% e 49% respectivamente, na produção total de biogás, e por um aumento de 57% e 50% respectivamente, nos potenciais de produção de biogás por quilograma de substrato e por quilograma de dejetos adicionados.

5 REFERÊNCIAS

- ÁLVAREZ, J. A.; OTERO, L.; LEMA, J. M. A methodology for optimising feed composition for anaerobic co-digestion of agro-industrial wastes. **Bioresource Technology**, Arkansas, v. 101, p. 1153-1158, 2010.
- AZEVEDO, J.A.G.et al. Avaliação da divergência nutricional de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 32, n.01., p. 1431-1442, 2003.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington, DC, 1995.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th ed. Washington, DC, 2005.
- CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- DEMIRER, G. N.; CHEN, S. Anaerobic biogasification of undiluted dairy manure in leaching bed reactors. **Waste Management**, Oxford, v. 28, n. 1, p. 112-119, 2008.
- EL-MASHAD, H.M.; ZHANG, R.H. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. **Bioresource Technology**, Arkansas, v. 101, n.11, p. 4021-4028, 2010.
- FOUNTOLAKIS, M. S.; DRAKOPOULOU, S.; TERZAKIS, E.; MANIOS, T. Potential for methane production from typical Mediterranean agro-industrial. **Biomass Bioenergy**, New York, v. 32, n.2., p.155-161, 2008.
- LINDORFER, H. et al. Doubling the organic loading rate in the co-digestion of energy crops and manure – A full scale case study. **Bioresource Technology**, Arkansas, v. 99, n.5, p. 1148-1156, 2008.
- MASSÉ, D.; GILBERT, Y.; SAVOIE, P.; BELANGER, G.; PARENT, G.; BABINEAU, D.. Methane yield from swithgrass harvested at different stages of development in Eastern Canada. **Bioresource Technology**, Oxford, v.101, n. 24, p. 9536-9541, Dec. 2010.
- MENEZES, L. S. **Cana-de-açúcar e silagem de cana em co-digestão com esterco bovino na produção de biogás**. 2011. Tese (Doutorado em Zootecnia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2011.
- PANICHNUMSIN, P.; NOPHARATANA, A.; AHRINNG, B.; CHAIPRASERT, P. Production of methane by co-digestion of cassava pulp with various concentrations of pig manure. **Biomass Bioenergy**, New York, v. 34, n.8., p. 1117-1124, 2010.
- SAGULA, A. L. **Biodigestão anaeróbia de cama de frango em co-digestão com caldo de cana-de-açúcar**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2012.
- SANTOS, T. M. B. Balanço energético e adequação do uso de biodigestores em galpões de frangos de corte. 2001. 167 f. Tese (Doutorado em Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2001.
- SUNDH, I.; CARLSSON, H.; NORDBERG, A.; HANSSON, M.; MATHISEN, B. Effects of glucose overloading on microbial community structure and biogas production in a laboratory-scale anaerobic digester. **Bioresource Technology**, Arkansas, v. 89, n.3, p. 237-243, 2003.
- XAVIER, C.A.N. **Biodigestão anaeróbia de dejetos em sistema de produção de leite: obtenção de parâmetros e dimensionamento**. 2005. 90f. Tese (Mestrado em Zootecnia/Produção Animal)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2005.
- WANG, Z.; KESHWANI, D. R. Biomass resources. In: CHENG, J. (Ed.). **Biomass to renewable energy processes**. New York: CRC, 2009.