

POTENCIALIDADE DO BIOGÁS GERADO PELA COMBINAÇÃO DE DEJETO BOVINO E SUÍNO

Juliana Lobo Paes – juliana.lobop@yahoo.com.br

Giancarlo Bruggianesi – giancarlo_b18@hotmail.com

Caroline Stephanie Gomes de Castro Soares – carolstcastro@gmail.com
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Departamento de Engenharia

Resumo. Diante da crise no setor hídrico e energético, torna-se necessário investimento em tecnologias economicamente viáveis que visem em conjunto o tratamento de águas residuais e a geração de energia. A adoção de biodigestores rurais contribui para a integração das atividades agropecuárias, aproveitando resíduo agrícola com pouco ou nenhum valor comercial. Objetivou-se neste trabalho estudar a codigestão anaeróbica dos resíduos agrícolas característicos das propriedades rurais localizada no Município de Seropédica e Itaguaí - RJ. Utilizaram-se três protótipos de biodigestores modelo indiano para a codigestão de dejetos nas proporções 1:1, 1:4 e 4:1 bovino:suíno. Amostras do afluente e efluente foram caracterizados por sólidos totais e voláteis, condutividade elétrica e pH. Avaliou-se a produção e potencial de biogás, o índice de explosividade e os componentes monóxido de carbono, sulfato de hidrogênio e oxigênio. Os efluentes mantiveram-se dentro da faixa ideal de pH para produção de biogás, apresentaram aumento da condutividade elétrica e reduções de sólidos totais e voláteis. Pode-se inferir que maiores proporções de bovino tende a apresentar melhores características quantitativas do biogás.

Palavras-chave: Biodigestor, Codigestão, Índice de explosividade.

1. INTRODUÇÃO

Nos países em desenvolvimento, existem grandes desafios a serem enfrentados no que tange ao acesso a recursos energéticos e gerenciamento dos seus recursos hídricos. Deve-se visar a redução da disposição de carga poluente oriundas de atividades agropecuárias, tais como bovino e suinocultura (Lansing *et al.* 2008).

O processo de biodigestão anaeróbica em biodigestores representa uma alternativa para o tratamento de resíduos. Por meio destes reatores é possível reduzir o potencial poluidor e dos riscos sanitários dos dejetos ao mínimo, gerar biogás, utilizado como fonte de energia renovável, e permitir a reciclagem do efluente pela produção de biofertilizante (Amaral *et al.* 2004; Silva *et al.* 2012; Quadros *et al.* 2010; Avaci *et al.* 2013).

Ainda no âmbito da redução de emissão dos gases do efeito estufa (GEE's), países em desenvolvimento como o Brasil, podem participar do mercado de crédito de carbono ao implantar projetos de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), tais como a introdução biodigestores nas propriedades rurais. Por meio da adoção deste instrumento, estabelecido no Protocolo de Quioto, é possível além de conservar o meio ambiente, não só a nível regional, mas também mundial, promover o desenvolvimento econômico sustentável (Zilber e Koga, 2008).

A partir da negociação dos créditos de carbono e utilização do biogás como fonte de energia, o produtor reduz seus custos de produção e conseqüentemente, há maior oportunidade de investimento em outros setores, sem se preocupar com o sistema de tratamento dos dejetos (Orrico *et al.* 2009). De acordo com Bernstorff (2009), o projeto de MDL aplicado à suinocultura reduz as emissões de GEE's e promove créditos de carbono, demonstrando viabilidade técnica e econômica, sustentabilidade, e ainda boa rentabilidade financeira aos suinocultores.

Devido à importância da utilização de biodigestores rurais, é imprescindível analisar os fatores que interferem na produção de biogás. Dentre estes, destaca-se a codigestão, que consiste na biodigestão anaeróbica de dois ou mais substratos em uma mesma estrutura (Avicenna *et al.* 2015). Segundo Rodrigues *et al.* (2014) a codigestão com resíduos agrícolas completa a composição dos substratos e, assim, permite a melhoria da biodegradabilidade no interior dos biodigestores. Estudos realizados por Ogunwande *et al.* (2013), indicaram que a codigestão entre dejetos de suíno e galinha ocasionou aumento na produção de biogás quando comparado com a biodigestão anaeróbica desses dejetos separadamente. Segundo Orrico *et al.* (2015), a combinação entre dejetos de suínos e dos resíduos lipídicos vem sendo amplamente explorada, com melhorias na degradação dos substratos em digestão e, conseqüentemente, dos rendimentos de biogás. A codigestão de resíduos humanos e suínos apresentou resultados satisfatórios com relação a DBO, DQO e coliformes fecais. No entanto, os efluentes gerados não podem ser descartados diretamente em corpos d'água, existindo a possibilidade da utilização como biofertilizante (Silva *et al.* 2012). Galbiatti *et al.* (2010) relatou que a combinação entre bagaço de cana-de-açúcar e esterco bovino prejudica a produção e qualidade do biogás. Segundo Macias-Corral *et al.* (2008) a codigestão entre dejetos de vaca leiteira e fração orgânica de resíduos sólidos urbanos acarretou em maiores rendimentos de gás metano. Ainda segundo esses autores, promoveu efeitos sinérgicos, resultando em maior conversão em massa e menor peso e volume do residual digerido.

Em sistema de tratamento biológico anaeróbico e aeróbico com dejetos de suíno realizado por Angonese *et al.* (2006), observou-se expressivas reduções de DBO, DQO, Sólido Totais (ST) e Sólidos Voláteis Totais (SVT) para o efluente resultante do biodigestor. Esses resultados indicam a eficiência em reduzir e estabilizar a matéria orgânica dos dejetos de suínos utilizados nas condições adotadas no referido estudo.

Considerando a necessidade de avaliação da produção de biogás em regiões com área rural, como Bacia Hidrográfica do Guandu - RJ, objetivou-se com este estudo analisar a potencialidade da combinação de dejetos de bovino e suíno em biodigestores rurais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Eletrificação Rural e Energias Alternativas no Departamento de Engenharia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ), localizada no município de Seropédica, RJ (Latitude: 22° 44' 29" S, Longitude: 43° 42' 19" W). O processo de biodigestão anaeróbica foi avaliado no período de julho a dezembro de 2015.

Os substratos utilizados nos biodigestores foram dejetos de bovino e suíno, provenientes do setor de Bovinocultura e Suinocultura do Instituto de Zootecnia da UFRRJ, sendo coletados 24 h antes do início do experimento, a fim de evitar fermentação excessiva e perdas na geração de biogás. Os biodigestores foram abastecidos com os substratos diluídos em água (afluente) com teores de sólidos totais em torno de 8% (Orrico Jr. *et al.* 2010), nas proporções 1:4, 1:1 e 4:1 bovino:suíno. As proporções utilizadas no experimento de bovino:suíno foram baseadas em estudos preliminares no Laboratório de Eletrificação Rural e Energias Alternativas. Adotou-se sistema de abastecimento em batelada.

Amostras do afluente e efluente foram caracterizados por meio das análises de sólidos totais, sólidos voláteis, condutividade elétrica (CE) e potencial hidrogeniônico (pH) (EMBRAPA, 2009). As análises no afluente (A) e efluente (E) foram realizadas em triplicada.

Utilizou-se no experimento bateria de nove protótipos de biodigestores (modelo indiano) constituídos de câmara de fermentação, gasômetro e manômetro de coluna d'água (Fig. 1).

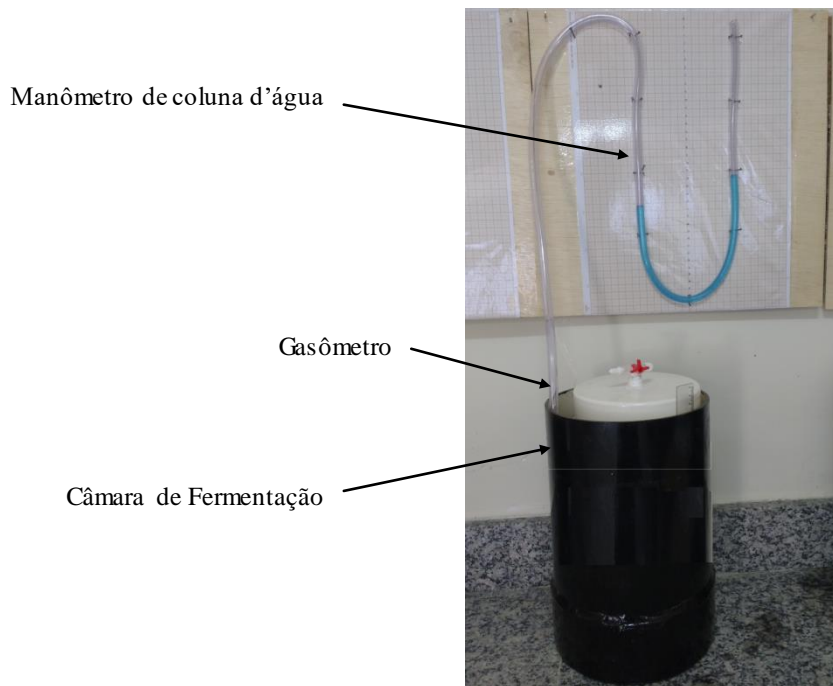


Figura 1 - Biodigestores de bancada modelo Indiano.

Os biodigestores foram dispostos sobre bancada, em condições de temperatura ambiente, abrigados de luz solar e chuvas. A câmara foi utilizada para acondicionar o substrato e o gasômetro para armazenar o biogás gerado. Como câmara de fermentação foi utilizada um tubo fechado por conexão CAP, ambos em PVC, com diâmetro de 0,10 m e capacidade de 0,0023 m³.

Uma mangueira de silicone foi acoplada na lateral externa da câmara de fermentação e conectada ao manômetro de coluna d'água. Antes de começar a produção de biogás, o nível de água em ambos os lados do manômetro permaneceu o mesmo. O gasômetro foi montada com tubo e CAP em PVC com diâmetro de 0,15 m. No CAP foi conectada uma válvula de três vias anexada a uma mangueira de silicone para a coleta do biogás produzido. A câmara de fermentação esteve inserida no interior do gasômetro. O sistema câmara de fermentação e gasômetro foi inserido no interior de um tubo com diâmetro de 0,20 m preenchido com água ("selo de água"). A finalidade do selo d'água foi servir de suporte para o gasômetro flutuar, proporcionar condições anaeróbicas e armazenar o gás produzido. Assim, para

o funcionamento do gasômetro adotou-se o sistema flutuante. Por este sistema, à medida que ocorreu a produção de biogás, houve deslocamento na direção vertical do gasômetro. Esse deslocamento foi medido por uma regra graduada fixa o gasômetro.

O volume de biogás produzido diariamente foi determinado pelo produto do deslocamento vertical do gasômetro e sua área da seção transversal interna durante 23 semanas, ou seja, 161 dias. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20 °C foi mensurada conforme metodologia empregada por Matos *et al.* (2017).

O monitoramento da temperatura ambiente e interna dos biodigestores foi realizado com termopar conectado a milivoltímetro com precisão de $\pm 0,1$ °C. Para medir a temperatura interna, o termopar foi inserido na válvula de três vias fixada na parte superior do gasômetro após a caracterização do biogás. Adotou-se esse ponto para medir a temperatura, devido ao fato que na região superior do biodigestor ocorre a maior atividade microbiana (Tavares *et al.* 2016).

Após cada leitura, foi medido o Limite Superior de Explosividade (% LEL) com calibração para o gás metano (CH_4) e concentrações de sulfato de hidrogênio ($ppm H_2S$), monóxido de carbono ($ppm CO$) e oxigênio ($vol O_2$) do biogás gerado com o Explosímetro Digital Portátil de 4 Gases da marca Instrutherm. O monitoramento da temperatura foi realizado com termopares inseridos no gasômetro após a caracterização do biogás. Finalizado a coleta de dados, o gasômetro foi esvaziado utilizando-se o registro de descarga do biogás (torneira de três vias).

Os potenciais de produção de biogás foram calculados utilizando-se os dados de produção semanal e as quantidades de substrato, ST adicionados (ST_{adic}) e SV (SV_{adic}) adicionados nos biodigestores. Os valores foram expressos em m^3 de biogás por kg de substrato, ST_{adic} e SV_{adic} .

Para a avaliação dos resultados referentes ao ensaio de biodigestão anaeróbia da mistura entre dejetos de suínos e bovinos foi adotado delineamento inteiramente casualizado, constando 3 tratamentos (3 proporções de misturas de dejetos e 3 repetições (biodigestores)). Os resultados do potencial de produção de biogás e das variáveis de caracterização do afluente e efluente foram submetidos à análise de variância seguido do teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade pelo programa estatístico SISVAR, versão 5.6.

Os gráficos de produção semanal e caracterização do biogás foram feitos utilizando-se o programa computacional Sigma Plot 2001, versão 7.0, para ambiente Windows.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Apresentam-se na Tab. 1 os valores médios de potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, teores de sólidos totais e voláteis, no afluente e efluente nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1. Na Tab. 1, médias com * na coluna diferem do valor do afluente ao nível de 5% de probabilidade.

O pH está associado ao desempenho do processo de biodigestão anaeróbia, uma vez que afeta o desenvolvimento das bactérias produtora de metano (Quadros *et al.* 2010; Sánchez-Hernández *et al.* 2013). Na codigestão anaeróbia entre bovino e suíno, os afluentes e efluentes mantiveram-se dentro da faixa ideal de produção de biogás, embora tenha ocorrido aumento significativo do pH na proporção 1:4 (Tab. 1). Ainda, pode-se observar que o pH nas proporções 1:1 e 4:1 mantiveram-se dentro do intervalo ideal (6,5–7,5) de desenvolvimento das bactérias metanogênicas (Gelegenis *et al.* 2007).

Tabela 1 - Valores médios de potencial hidrogeniônico, condutividade elétrica, teores de sólidos totais e voláteis, no afluente e efluente nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1.

Proporção	pH		CE ($\mu s cm^{-1}$)		ST (%)		SV (%)		ST	SV
	A	E	A	E	A	E	A	E	Reduções	
1:1	7,45	7,53*	766,7	1333,82*	8,61	5,21*	1,72	0,83*	39	51
1:4	7,22	7,69*	900,7	1608,4*	8,93	6,75*	1,79	0,92	24	47
4:1	7,42	7,49	697,7	1011,49*	7,80	5,07*	1,74	0,99*	35	42

O aumento significativo da condutividade elétrica entre os afluentes e efluentes em todas as combinações de bovino e suíno (Tab. 1) pode ser atribuído ao aumento na concentração de sais solúveis durante o processo de biodigestão anaeróbia (Fregoso *et al.* 2001). O aumento na condutividade elétrica também foi verificado por Silva *et al.* (2012) ao avaliar as características físico-química da codigestão entre dejetos de suíno e humano destinados ao uso como fertilizante agrícola. Segundo esses autores, a utilização do efluente como fertilizante deve ser controlado com o aumento no grau de salinidade.

Para os teores de sólidos totais e voláteis, verifica-se na Tab. 1 que os valores dos efluentes em todas as proporções estudadas foram inferiores ao do afluente, apresentando acentuadas reduções. Esse comportamento indica eficiência da biodigestão anaeróbia pela degradação de material orgânico pelas bactérias, e conseqüentemente, produção de biogás (Itodo & Awulu, 1999; Orrico Jr *et al.* 2010). A eficiência de remoção do processo de codigestão nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1 (bovino:suíno) apresenta-se superior ao relatado em outros trabalhos. De acordo com Cremonez *et al.* (2015), a codigestão anaeróbia da vinhaça, oriunda dos processos de produção do etanol hidratado, e dos resíduos de suinocultura removeu apenas 29,9% SV para o reator termicamente controlado e 25,4% SV do reator a temperatura ambiente. Já no trabalho desenvolvido por Vivian *et al.* (2010), o sistema implementado (biodigestor e

lagoas de estabilização) para o tratamento de dejetos de suíno apresentou eficiência de remoção de ST e SV de 24 e 35%, respectivamente.

A proporção 4:1 apresentou maiores valores de redução de sólidos totais e voláteis quando comparado com os outros tratamentos (Tab. 1). Esse comportamento indica eficiência da biodigestão anaeróbia com a degradação de material orgânico pelas bactérias, e conseqüentemente, produção de biogás (Itodo & Awulu, 1999; Orrico Júnior et al., 2010).

Apresenta-se na Fig. 2 a temperatura média no interior dos biodigestores utilizados para codigestão anaeróbia entre o dejetos bovino e suíno nas proporções 1:1, 1:4 e 4:1

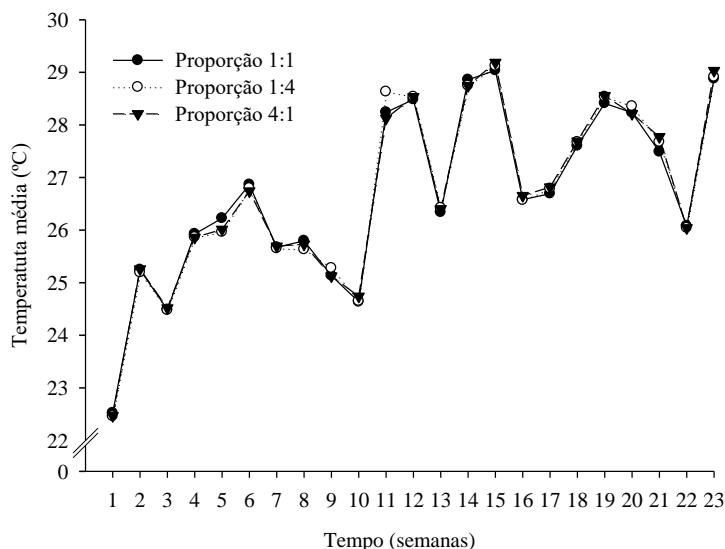


Figura 2 - Variação semanal média da temperatura interna do biodigestor

Observa-se que não houve variação da temperatura no interior dos biodigestores entre as diferentes proporções bovino:suíno, apresentando média de 26,7 °C. No entanto, ao longo do experimento a temperatura interna apresentou grande oscilação, variando de 22,5 °C no início do experimento até 29,1 °C na 15ª semana, com amplitude térmica de 6,6 °C.

Observa-se também que a temperatura oscilou dentro da faixa mesofílica (20 a 40 °C) (Salam *et al.* 2011; Salam *et al.* 2015). Comente, a biodigestão anaeróbia é conduzida na faixa mesofílica, devido a maior estabilidade, demanda menos gasto energético e ideal para produção de biogás (Fernandez *et al.* 2008).

Na Fig. 3, apresenta-se a produção de biogás durante 23 semanas de biodigestão anaeróbia. Pode-se observar que a mistura bovino:suíno 4:1 apresentou início de produção de biogás mais adiantando, seguido das proporções 1:1 e 1:4.

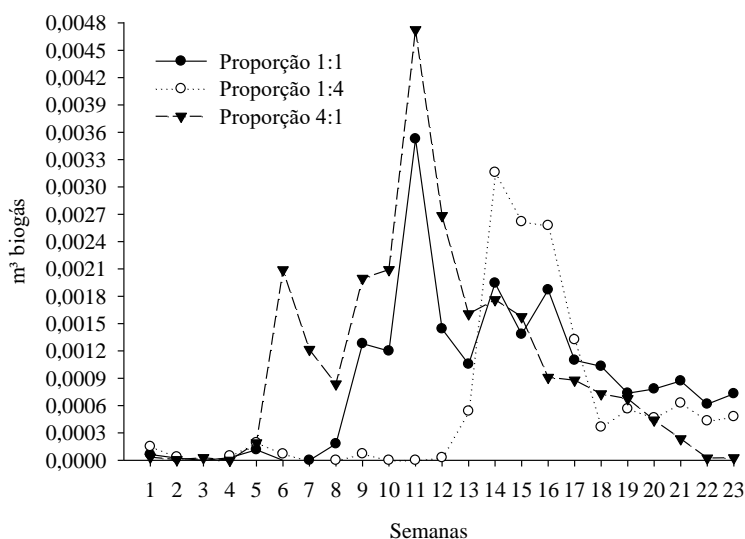


Figura 3 - Produção semanal em m³ de biogás da mistura em diferentes proporções.

Observa-se ainda, na Fig. 3, que o principal pico de produção de biogás nas proporções 4:1 e 1:1 ocorreu na 11ª semana, enquanto na mistura 1:4 após 14 semanas de biodigestão. A proporção de 4:1 apresentou pico de produção de biogás de 0,0047 m³, sendo superior 0,0035 e 0,0032 m³ produzidos por 1:1 e 1:4, respectivamente (Fig. 3). Em todas as proporções estudadas, verifica-se que há decaimento na produção de biogás após 14ª semanas do início do abastecimento dos biodigestores (Fig. 3). No entanto, para as proporções de 1:1 e 1:4, a partir da 19ª semana a produção de biogás tendeu ser constante e para 4:1 na 22ª semana a produção cessou (Fig. 3).

Resultados obtidos por Xavier e Lucas Junior (2010) ao avaliar a biodigestão anaeróbica de dejetos de vaca leiteira e Silva *et al.* (2013) esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante corroboram ao deste estudo. Esses autores verificaram maiores produção de biogás nas primeiras semanas do processo de biodigestão, seguido por um decréscimo. A maior produção de biogás em menores tempos de retenção hidráulico pode estar atribuída às maiores cargas orgânica presentes no material afluente.

O período de maior produtividade de biogás para as proporções de 4:1, 1:1 e 1:4 foi entre a 5ª e 14ª (totalizando 10 semanas), 8ª e 16ª (totalizando 9 semanas) e 12ª e 18ª (totalizando 7 semanas) semanas, respectivamente (Fig. 3). O adiantamento bem como a maior faixa de produção de biogás gerado em biodigestores de batelada abastecidos com esterco bovino quando comparado com suíno foi verificado por Galbiatti *et al.* (2010). Sendo assim, esses resultados evidenciam que a maior fração de dejetos bovino favorece o processo de biodigestão anaeróbica e, conseqüentemente, a produção de biogás.

A produção média de biogás foi maior no afluente composto por principalmente dejetos de bovino (0,0251 m³) em comparação demais tratamentos. Como era de se esperar, a proporção 4:1, que possui maior quantidade de dejetos de bovino, apresentou maior potencial energético, expresso em produção de biogás (por kg de substrato, de ST, de SV adicionado), em relação às demais misturas (Tab. 2).

Tabela 2 - Produção (m³) e potenciais de produção de biogás (por kg de substrato, de ST, de SV adicionado).

Tratamento	Produção de biogás (m ³)	Potenciais (m ³ de biogás/kg)		
		Substrato	STadic	SVadic
1:1	0,0194	0,0114	0,1322	0,6626
1:4	0,0135	0,0080	0,0924	0,4632
4:1	0,0251	0,0148	0,1714	0,8588

Assim como observado para a menor redução de sólidos totais (Tab. 1), a combinação de 1:4 bovino:suíno apresentou inferior produção e potencial de biogás (Tab. 2). Desta forma, fica evidente a contribuição que a adição em maior proporção de dejetos de bovino teve sobre a eficiência do processo de biodigestão anaeróbica.

Provavelmente o comportamento da produção de biogás apresentado na Fig. 2 e na Tab. 2 pode ter ocorrido devido a utilização de maior percentual de dejetos de bovino do que de suíno. O mesmo comportamento foi apresentado por Alves *et al.* (2012) ao adicionar dejetos de bovino e de suíno à torta de manona. De acordo com esses autores, a combinação com dejetos de bovino proporciona maiores produções de biogás quando comparado com o dejetos de suíno. Ainda, segundo Galbiatti *et al.* (2010) a produção acumulada de biogás ao utilizar esterco bovino foi muito superior quando comparado com a esterco de suíno.

Esse comportamento da produção de biogás apresentado pela codigestão entre bovino:suíno nas diferentes proporções deve ser devido ao teor de matéria orgânica dos substratos e biodegradabilidade (Macias-Corral *et al.* 2008). Assim, maiores proporções de dejetos de suíno quando em associação a bovinos pode ocasionar em redução no metabolismo dos microrganismos promotores da digestão anaeróbica diante da menor oferta de substrato (Kuczman *et al.* 2011).

Os resultados obtidos de potencial de biogás estiveram de acordo aos apresentados na literatura, o que comprova a eficiência da utilização de mistura de dejetos bovino:suíno em biodigestores. Dessa forma, a codigestão bovino:suíno atende da maioria das propriedades rurais, uma vez que geralmente tem mais de uma atividade agropecuária em funcionamento. Dessa forma, não há necessidade utilizar diferentes biodigestores para cada tipo de dejetos.

Ao avaliar o aproveitamento de dejetos de caprinos e ovinos em um biodigestor contínuo de PVC flexível Quadros *et al.* (2010) relataram produção média de 0,003 m³ kg⁻¹ de substrato. Esse valor foi muito inferior ao encontrado nas três proporções utilizadas nesse experimento. Segundo esses autores, o valor encontrado é equivalente a 2,8 botijões de 13 kg de GLP, o que ao ano a produção de biogás corresponderia a R\$ 1.118,00. Em termos de eletricidade, essa quantidade de biogás produzido manteria 2,6 lares ao ano (Quadros *et al.* 2010). Dessa forma, pode-se inferir a maior economia e capacidade de geração de energia ao utilizar o biogás oriundo da codigestão entre dejetos de bovino e suíno.

O potencial de produção de biogás por kg de ST obtido no experimento foi em média 0,1714 e 0,1322 m³ para as proporções bovino:suíno 4:1 e 1:1, respectivamente. Esses valores foram superiores ao encontrado por Amaral *et al.* (2004) na biodigestão anaeróbica em biodigestores do modelo indiano abastecidos com dejetos de bovino leiteiro. Em termos de m³ por kg SV adicionados, em todas as proporções em estudo, a produção de biogás foi superior ao encontrado na biodigestão de dejetos de bovino leiteiro (Amaral *et al.* 2004).

O índice de explosividade do metano, componente de maior concentração no biogás (Avaci *et al.* 2013), definido pelo Limite Inferior de Inflamabilidade (LEL), situa-se em concentração de 5% v/v (Silva *et al.* 2010). Dessa forma, o biogás produzido, ao longo de 23 dias de biodigestão anaeróbica, na maior proporção de dejetos de bovino (4:1)

apresentou superior LEL médio (94,8% equivalente a 4,74 de CH₄ v/v) quando comparado com a proporção de 1:4 (72,6% equivalente a 3,63 de CH₄ v/v) e 1:1 (66,4% equivalente a 3,32 de CH₄ v/v).

Observa-se na Fig. 3 que para a proporção 1:1 o LEL atingiu 100% entre a 12^a e 18^a semana, seguida de queda para 66,7% nas semanas posteriores. Na proporção 1:4, atingiu-se 100% LEL entre a 2^a e 5^a, 11^a e 18^a e 20^a e 22^a semanas. Já na proporção 4:1, o LEL manteve-se constante em 100% de explosividade a partir da 3^a até a 23^a semana. Observa-se que as faixas de explosividade de 100% em todas as proporções em estudo enquadram o período de maior produtividade de biogás (Fig. 2).

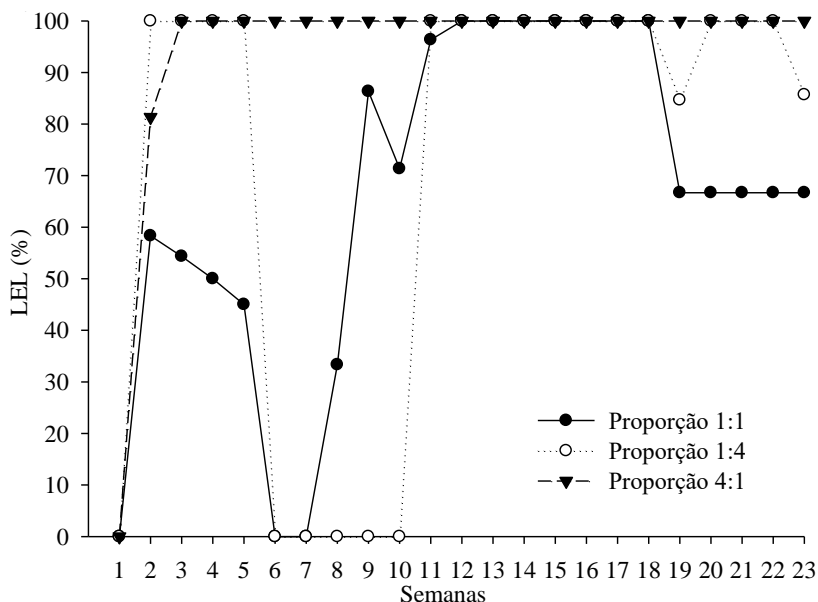


Figura 3 - Caracterização semanal do biogás produzido nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1: LEL

A época do ano em que se apresentaram maiores valores de LEL, ou seja, concentração mínima capaz de um determinado gás provocar a combustão do produto a partir de uma fonte de ignição (Silva *et al.* 2010) foi o inverno. Os resultados obtidos neste experimento estiveram de acordo com Amorim *et al.* (2004), ao relatarem que em biodigestores batelada tratando dejetos de caprinos no inverno apresentou queima após 42 dias, ou seja, 6 semanas de abastecimentos.

Ao longo de 23 dias de biodigestão, em ordem crescente, a concentração média de monóxido de carbono e de sulfeto de hidrogênio nas proporções 1:1, 4:1 e 1:4 foi de 18,6; 26,6 e 35,0 ppm e 12,6; 16,9 e 18,6 ppm, respectivamente (Fig. 4 e 5). Nas três proporções em estudo, esses componentes apresentaram maiores picos de produção na 2^a semana de biodigestão, com exceção do H₂S na proporção 4:1 (Fig. 5).

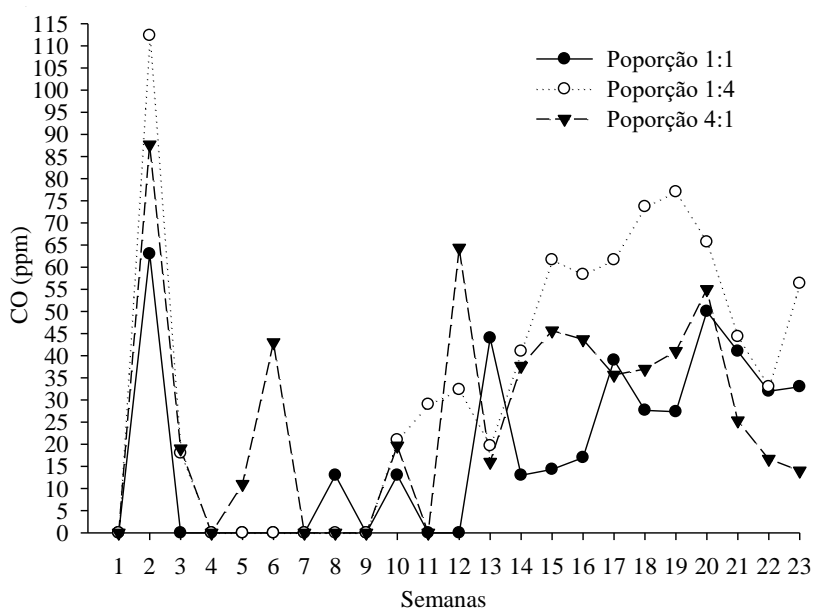


Figura 4 - Caracterização semanal do biogás produzido nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1: CO

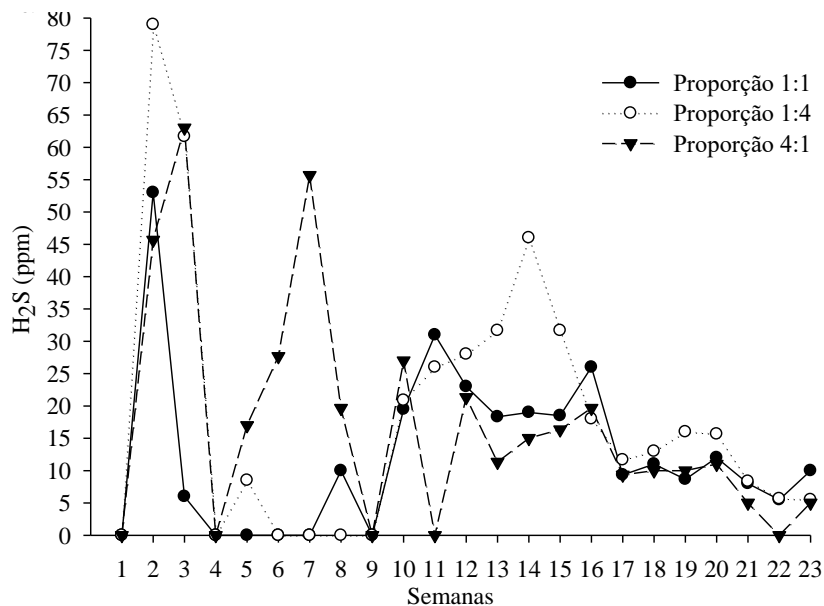


Figura 5 - Caracterização semanal do biogás produzido nas proporções de 1:1, 1:4 e 4: H₂S.

Já na Fig. 6 a concentração de oxigênio média na proporção 1:1 apresentou maiores valores (7,9% vol.), seguido das misturas 1:4 (7,1% vol.) e 4:1 (1,9% vol.). O valor médio obtido na proporção 4:1 foi próximo ao encontrado por Galbiatti *et al.* (2010). Segundo esses autores, o biogás produzido da biodigestão anaeróbia de dejetos de bovino e suíno em biodigestor em biodigestores no sistema de abastecimento em batelada durante 217 dias apresentou concentração média, respectivamente, 1,4 e 1,9% de O₂.

Com relação ao pico de produção do componente O₂, verificou-se que ocorreu na proporção 1:1, 1:4 e 4:1 na 6^a, 2^a e 3^a semana, seguido expressivo decréscimo (Fig. 6). A tendência de redução da concentração de O₂ tenderam com o aumento das semanas de biodigestão anaeróbia também foi relatado por Galbiatti *et al.* (2010) ao estudar, qualiquantitativamente, o biogás produzido por esterco de aves de corte com cama de capim napier, esterco de aves de corte com cama de capim napier triturado; esterco suíno, esterco bovino e esterco de bovino misturado com 50% de bagaço de cana-de-açúcar.

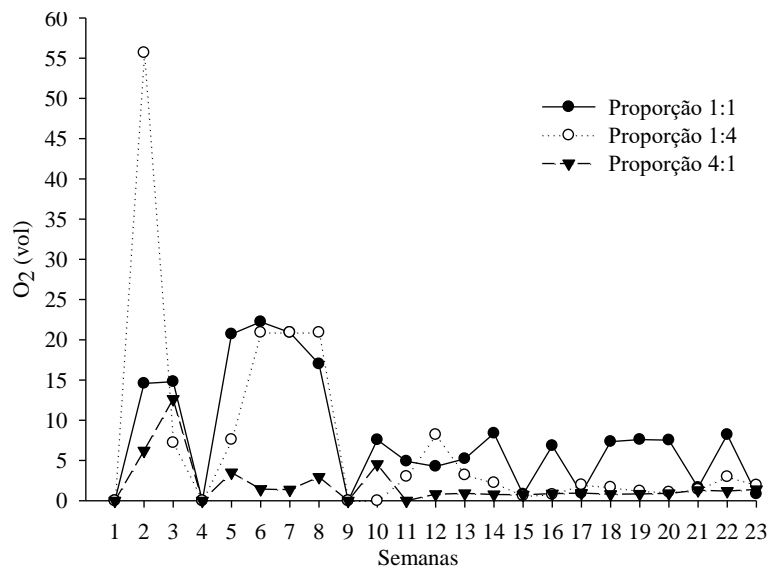


Figura 6 - Caracterização semanal do biogás produzido nas proporções de 1:1, 1:4 e 4:1: O₂

4. CONCLUSÃO

A codigestão entre dejetos de bovino e suíno mostrou ter efeito significativo na digestão anaeróbia, sendo eficiente na remoção dos teores de sólidos totais e voláteis e na produção de biogás. A adição em maior proporção de dejetos de bovino do que suíno (4:1) apresentou melhores resultados de potencial de produção de biogás e Limite Inferior de Inflamabilidade constante em menor tempo de biodigestão e baixo teor de oxigênio.

Agradecimentos

À AGEVAP – Agência de Bacias, pelo apoio financeiro concedido a pesquisa.

REFERÊNCIAS

- Alves, E. E. N.; Souza, C. F.; Inoue, K. R. A., 2012. Produção de biogás e biofertilizante a partir da biodigestão da torta de mamona com adição dejetos de animais, *Engenharia na Agricultura*, vol. 20, n.6, pp. 493-500.
- Amaral, C. M. C. do; Amaral, L.A. do; Junior, J.de L; Nascimento, A. A. do; Ferreira, de S. D.; Machado, M. R. F., 2004. Biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos leiteiros submetidos a diferentes tempos de retenção hidráulica, *Revista Ciência Rural*, vol. 34, n.6, pp. 1897-1902.
- Amorim, A.C., Lucas Júnior, J.de, Resende, K.T., 2004. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano, *Engenharia Agrícola*, vol.24, n. 1, pp.16-24.
- Angonese, A. R.; Campos, A. T.; Zacarkim, C. E.; Matsuo, M. S. Cunha, F., 2006. Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.10, pp. 745–750.
- Avaci, A. B.; Sousa, S. N. M. de; Wernecke, I.; Chaves, L. I., 2013. Financial economic scenario for the microgeneration of electric energy from swine culture-originated biogas, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 25, pp. 272–276.
- Avicenna; Mel, M.; Ihsan, S. I.; Setyobudi, R. H., 2015. Process Improvement of Biogas Production from anaerobic co-digestion of cow dung and corn husk. *Procedia Chemistry*, vol. 14, pp. 91-100.
- Bernstorff, C., 2006. Créditos de Carbono e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL: Captura de Metano no Tratamento de Dejetos Suínos, Pós-Graduação em Engenharia do Meio Ambiente, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.
- Cremonez, P.A.; Rossi, E. DE; Feroldi, M.; Teleken, J.G; Feiden, A.; Dieter, J., 2009. Codigestão de água residual de suinocultura e vinhaça sob diferentes condições térmicas, *Revista de Ciências Agrárias*, vol.38, pp.103-110.
- Fernandez, J., Perez, M., Romero, L.I., 2008. Effect of substrate concentration on dry mesophilic anaerobic digestion of organic fraction of municipal solid waste (OFMSW). *Bioresource Technology*, vol. 99, pp. 6075-6080.
- Fregoso, M.deJ.S., Ferrera-Cerrato, R., Barra, J.E., González, G.A., Santos, J.T., Gómez, L.B., Pérez, G.P. 2001. Producción de biofertilizantes mediante biodigestión de excreta líquida de cerdo, *Terra Latinoamericana*, vol. 19, n. 4, pp. 353-362.
- Galbiatti, J. A.; Caramelo, F. G.; Gerardi, E. A. B.; Chiconato, D., 2010 Estudo qualiquantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n.4, pp. 432-437.
- Gelegenis, J.; Georgakakis, D.; Angelidaki, I.; Christopoulou, N.; Goumenaki, M., 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure, *Applied Energy*, vol.84, pp.646–663.
- Giacobbo, G.; Zenatti, D. C.; Feiden, A.; Blanco, M. F. J.; Tietz, C. M.; Weber, R., 2013. Influência da variabilidade da temperatura ambiente na co-digestão anaeróbia de dejetos de bovinocultura de leite e cama de aviário. *Acta Iguazu*, vol. 2, pp. 55-69.
- Itodo, I. N.; Awulu, J. O., 1999. Effects of total solids concentrations of poultry, cattle, and piggery waste slurries on biogas yield, *Transactions of the ASAE*, vol. 42, pp. 1853- 1855.
- Kuczaman, O.; Gomes. S.D.; Tavares, M.H.F.; Torres, D.G.B.; Alcantra, M.S., 2011. Produção específica de biogás a partir de manipueira em reator de fase única, *Revista Engenharia Agrícola*, vol.31, pp.143-149.
- Macias-Corral, M.; Samani, Z.; Hanson, A.; Smith, G; Funk, P.; Yu, H.; Longworth, J., 2008. Anaerobic digestion of municipal solid waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure, *Bioresource Technology*, vol.17, pp.8288-8293.
- Matos, C. F.; Pinheiro, E. F. M.; Paes, J. L.; Lima, E.; Campos, D. V. B., 2017. Produção de biogás a partir de dejetos de bovinos de leite, sob sistema orgânico e convencional de produção. *Revista engenharia agrícola*. vol. 37, n. 6.
- Tavares, S. G; Feiden, A.; Correia, A. F.; Soarez, C. M. T.; Gregolin, M. R. P., 2016. Influência das variações térmicas climáticas na produção de biogás, *Nativa*, vol.4, n.5, pp.287-295.
- Lansing, S.; Botero, R.B.; Martin, J. F., 2008. Waste treatment and biogas quality in small-scale agricultural digesters. *Bioresource Technology*, vol. 99, pp. 5881–5890.
- Ogunwande, G. A.; Osunade, J. A.; Adeagbo, A. O.; Fakuyi, O. F., 2013. Effects of co-digesting swine manure with chicken manure on biogas production. *Ife Journal of Science*, vol. 15, pp. 1-8.
- Orrico, A.C.A.; Orrico Junior, M.A.P.; Lucas Junior, J de., 2009. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica, *Revista Engenharia Agrícola*, vol.29, pp. 474-482.
- Orrico, A.C.A.; Sunada, N. DA S.; Lucas Junior, J. DE; Orrico Junior, M.A.P; Schwingel, A.W., 2015. Codigestão anaeróbia de dejetos de suínos e níveis de inclusão de óleo de descarte, *Engenharia Agrícola*, vol.35, pp. 657-664.

- Quadros, D. de G.; Oliveira, A. de P. M.; Regis, U.; Valladares, R.; Souza, P. H. F.; Ferreira, E. de J., 2010. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol. 14, n.3 pp. 326–332.
- Rodrigues, J.P.; Orrico, A.C.A.; Orrico JR., M.A.P.; SENO, L.O.; ARAÚJO, L.C.; Sunada, N.S., 2014, Adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos, *Ciência Rural*, vol.44, pp.544-547.
- Salam, B.; Biswas, S.; Das, T. K., 2011. Biogas from thermophilic anaerobic digestion of cow dung. *Anais... In: International Conference on Mechanical Engineering, Dhaka, Bangladesh.*
- Salam, B.; Biswas, S.; Rabbi, M. S., 2015. Biogas from Mesophilic Anaerobic Digestion of Cow Dung Using Silica Gel as Catalyst. *Procedia Engineering*, vol. 105, pp. 652-657.
- Sánchez-Hernández, E. P.; Weiland, P.; Borja, R., 2013. The effect of biogas sparging on cow manure characteristics and its subsequent anaerobic biodegradation, *International Biodeterioration & Biodegradation*, vol. 83, pp. 10-16.
- Silva, J. R. G.; Rocha, A. R.; Ferreira, A. S., 2010. A importância de detecção de gases para prevenção de danos à segurança, meio ambiente e saúde: fontes de interferência em sinais 4 a 20 Ma, *Revista Bolsista de Valor*, vol. 1, pp. 359-364.
- Silva, W. T. L.; Novaes, A. P. L.; Kuroki, V.; Almeida, L. F.; Magnoni Júnior, M. L., 2012. Avaliação físico-química de efluente gerado em biodigestor anaeróbio para fins de avaliação de eficiência e aplicação como fertilizante agrícola, *Química Nova*, vol. 35, n.1, pp. 35-40.
- Silva, C. de O.; Santos, A. S.; Santos, M. B. dos; Cezar, V. R. dos S., 2013. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante, *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, vol. 4, n.1, pp. 88-103.
- Vivan, M.; Kunz, A.; Stolberg, J.; Perdomo, C. E Techio, V.H., 2010. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos suínos, *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, vol.14, pp.320-325.
- Xavier, C. DE A.N.; Junior, J. DE L., 2010. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo, *Revista Engenharia Agrícola*, vol.30, n.2, pp.212-223.
- Zilber, S. N.; Koga, E., 2008. Mercado de créditos de carbono no Brasil no contexto das empresas, *XXV Simpósio de Gestão da Inovação Tecnológica. Anais... Brasília.*

POTENTIAL OF BIOGAS PRODUCTION FROM COMBINING BOVINE MANURE AND SWINE MANURE ABSTRACT

Abstract. *Considering the crisis in the hydric and energetic field, there is a need for an investment in economically viable technologies which focus on both raw water treatment and energy generation. The adoption of rural biodigesters contributes for the integration of farming activities, making useful agricultural waste with little or none commercial value. This paper aimed to study the anaerobic codigestion of agricultural waste present on rural properties located in the Country of Seropédica and Itaguaí - RJ. Three prototypes of Indian biodigestors were used for the agricultural waste codigestion in the proportions of 1:1, 1:4 and 4:1 bovine:swine. Affluent and effluent samples were characterized by total and volatile solids, electrical conductivity and pH. It was evaluated the production and biogas potential, the explosivity index and the chemical components carbon monoxide, hydrogen sulphate and oxygen. The effluents remained within the ideal pH range for biogas production. They presented an increase in electrical conductivity and reduction of total and volatile solids. It can be inferred that higher proportions of bovine waste tends to present better quantitative and characteristics of biogas.*

Key words: *Biodigester, Codigestion, Explosivity index.*