

CODIGESTÃO ANAERÓBIA DOS DEJETOS DE BOVINOS LEITEIROS E ÓLEO DE DESCARTE

Doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v36n3p537-545/2016>

**ANA C. A. ORRICO¹, WALTER R. T. LOPES², DÉBORA M. MANARELLI³,
MARCO A. P. ORRICO JUNIOR⁴, NATÁLIA DA S. SUNADA⁵**

RESUMO: Este trabalho foi realizado com o intuito de se avaliarem a codigestão dos dejetos de bovinos leiteiros e óleo de descarte, por meio das produções específicas de biogás, reduções dos teores de sólidos totais (ST) e voláteis (SV), da demanda química de oxigênio (DQO) e fibra em detergente neutro (FDN). Utilizaram-se 28 biodigestores batelada, abastecidos com substratos contendo 4% de ST e compostos por dejetos de bovinos leiteiros, óleo de descarte (nas doses de 0; 2; 4; 6; 8; 10 e 12% dos STs do substrato e representado pelo resíduo de frituras que foi doado por pastelaria), inóculo e água para diluição. As máximas reduções de SV, DQO e FDN, além das produções específicas de biogás, foram obtidas por modelos quadráticos de predição, estimando-se, assim, as doses ideais de inclusão de óleo. As maiores reduções de DQO, SV e FDN foram de 82,88; 47,53; 51,28 e 49,48%, alcançadas com as inclusões de 5,74; 5,93, 4,77 e 6,45% de óleo de descarte, respectivamente. A inclusão de 4,63% de óleo permitiu alcançar a produção de 0,25 litro de biogás por g SV adicionado, que foi superior em 13% ao rendimento observado nos substratos sem inclusão de óleo. A adição de óleo em substratos contendo dejetos de bovinos leiteiros nas doses entre 4,4 e 6,5% aumenta as produções de biogás e as reduções de sólidos.

PALAVRAS-CHAVE: biodigestor, biogás, bovinocultura.

ANAEROBIC CO-DIGESTION OF DAIRY CATTLE MANURE AND WASTE OIL

ABSTRACT: This paper aimed at assessing the co-digestion of dairy cattle manure and waste oil, by quantifying specific biogas production, reduction of total (ST) and volatile (SV) solids, chemical oxygen demand (DQO) and neutral detergent fiber (FDN). Twenty-eight batch digesters were loaded with substrates composed of dairy cattle manure (4% ST), waste oil (0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12% ST), inoculum, and water for dilution. We used prediction quadratic models for estimates on SV, DQO and FDN maximal reductions, as well as specific biogas production; therefore, we appraised the optimal rates of oil inclusion. By the results, we observed that the largest DQO, SV and NDF reductions were of 82.88, 47.53, 51.28 and 49.48%, being reached by waste oil rates of 5.74, 5.93, 4.77 and 6.45%, respectively. When adding 4.63% waste oil, biogas production reached 0.25 liters per g of added SV, which was 13% higher than the amount observed for substrates without oil inclusion. We also highlight that adding oil to dairy cattle manure substrates at rates between 4.4 and 6.5% increases biogas production and decreases solids contents.

KEY WORDS: anaerobic digester, biogas, livestock production

INTRODUÇÃO

A biodigestão anaeróbia é uma técnica de tratamento biológico dos resíduos orgânicos com o adicional da geração de biogás e biofertilizante, que podem representar uma importante agregação de valor ao produtor (EL-MASHAD & ZHANG, 2010). Esta técnica é rotineiramente empregada para a estabilização da matéria orgânica contida nos dejetos de bovinos leiteiros, resultando também

¹Zootecnista, Profª Doutora, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD/Dourados – MS, Fone: (67) 3410-2373, anaorrico@ufgd.edu.br

²Zootecnista, Mestrando, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD/Dourados – MS, walter_txr@hotmail.com

³Zootecnista, Mestranda, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD/Dourados – MS, debora_manarelli@msn.com

⁴Zootecnista, Prof. Doutor, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD/Dourados – MS, marcojunior@ufgd.edu.br

⁵Med. Veterinária, Pós Doutora, Faculdade de Ciências Agrárias, UFGD/Dourados – MS, natysunada@hotmail.com

Recebido pelo Conselho Editorial em: 19/01/2015

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 13/09/2015

na redução de patógenos e odores desagradáveis, além da recuperação de energia (AGYEMAN & TAO, 2014; XAVIER & LUCAS JR, 2010); porém, em virtude da presença de constituintes fibrosos e da baixa relação C/N, estes resíduos produzem menores quantidades de biogás e, conseqüentemente de metano (ORRICO et al., 2007).

Os dejetos de bovinos leiteiros apresentam rendimentos inferiores aos de suínos, quando submetidos à biodigestão anaeróbia, sobretudo em virtude dos constituintes fibrosos, que limitam a capacidade de digestão do resíduo. Dentre os resultados de trabalhos realizados com os dejetos de bovinos leiteiros, observa-se um número reduzido de publicações em comparação com os provenientes dos dejetos de suínos, e, ainda, em uma considerável parcela destes trabalhos, os dejetos de bovinos estão associados a outros resíduos, que possuem taxa de degradação mais acelerada e, assim, apresentam maiores rendimentos de biogás. Muitos autores mencionam que a associação dos dejetos de bovinos leiteiros com resíduos urbanos de coleta municipal (MACIAS-CORRAL et al. (2008), resíduos de frutas e aves (CALLAGHAN et al. (2002) ou efluente de abatedouro avícola e resíduos de frutas (ALVAREZ & LIDEN, 2008), pode não só incrementar os rendimentos de biogás, mas também resultar na diminuição do tempo de retenção dos substratos, especialmente pela menor proporção de fração fibrosa nesta composição.

Sendo assim, a codigestão dos dejetos originados com a produção animal e resíduos lipídicos é uma técnica que vem sendo explorada devido às características individuais destes resíduos e à melhoria que ocorre quando em associação (MATA-ALVAREZ et al., 2014). Neste estudo, os autores atribuem as limitações dos dejetos à sua baixa carga orgânica e aos elevados teores de N amoniacal, que podem melhorar as condições dos substratos em digestão quando consideradas as elevadas taxas orgânicas e os baixos teores de N dos resíduos lipídicos. Estas características de ambos os resíduos poderiam resultar em melhor ajuste da produção de ácidos graxos, em função do material orgânico degradado, além de adequação do poder tampão e ajuste das concentrações de N amoniacal, atendendo assim às necessidades para o crescimento microbiano e, conseqüentemente, para a produção de biogás (CHENXI et al., 2011).

Apesar dos efeitos benéficos da codigestão destes substratos, existe a preocupação de problemas operacionais nos biodigestores, conforme há o acréscimo de óleo na composição dos substratos. O entupimento dos biodigestores, a dificuldade de solubilidade dos substratos em função da separação de fases e a flotação da biomassa foram relatados por CIRNE et al. (2007) e poderiam limitar a eficiência no processo de digestão de substratos contendo teores lipídicos mais elevados, além da possibilidade de ocorrência de toxicidade causada pelos ácidos graxos de cadeia longa (FERREIRA et al., 2012).

Os rendimentos da biodigestão anaeróbia dos dejetos de bovinos, quando utilizados como único componente dos substratos, foram avaliados em ensaio realizado por ORRICO JÚNIOR et al. (2012), que verificaram valores de até 370 litros de biogás e 250 litros de metano por kg de SV adicionado. Estes valores podem ser acrescidos, quando os resíduos lipídicos atuam em conjunto com os dejetos de bovinos, incrementando em até 41,1% os rendimentos de biogás e metano (ZHANG et al., 2013).

Com a execução deste trabalho, objetivou-se avaliar o desempenho de biodigestores abastecidos com dejetos de bovino e níveis de inclusão de óleo de descarte na composição de substratos, por meio das reduções dos teores dos constituintes sólidos e fibrosos, da demanda química de oxigênio (DQO), das produções específicas de biogás e de N do biofertilizante.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida na Área Experimental do Laboratório de Manejo de Resíduos Agropecuários, da Faculdade de Ciências Agrárias – FCA, da Universidade Federal da Grande Dourados – UFGD, em Dourados – MS.

Os dejetos de bovinos leiteiros foram coletados por meio de raspagem das baias de alojamento dos animais durante seu período de confinamento para ordenha, sendo a massa de

dejetos homogênea após a coleta. Os animais estavam em sistema semi-intensivo e recebiam dieta balanceada de forma que eram atendidas as necessidades nutricionais. O óleo vegetal foi obtido por doação, em pastelaria comercial, já em condições de descarte após diversas frituras.

Antes do preparo dos substratos, foi efetuada a produção do inóculo a partir da alimentação de biodigestores batelada de bancada, com dejetos dos bovinos diluídos em água, na concentração de 4% de ST. O inóculo foi considerado pronto quando alcançou e manteve a máxima concentração de metano em sua composição (em torno de 82%), sendo então utilizado como um dos componentes no preparo dos afluentes experimentais e adicionado na quantidade de 15% da massa seca destes substratos.

No dia do abastecimento dos biodigestores, o dejetos de bovinos leiteiros apresentou a seguinte composição: 19,2% de ST, dos quais 80,9% eram voláteis e DQO igual a 592 g de O_2 /kg de dejetos. O inóculo continha 1,44% de ST, sendo 67,4% voláteis e a DQO de 293 g de O_2 /L. Já o óleo de descarte apresentou 98% de ST e DQO igual a 2000 g de O_2 /l de óleo. Os NMPs de coliformes totais e termotolerantes foram de $3,17 \times 10^7$ em cada 100 gramas de dejetos, e, ainda, não foram detectados coliformes no inóculo.

O ensaio de codigestão compreendeu o abastecimento de 28 biodigestores modelo batelada de bancada, com substratos contendo dejetos de bovinos leiteiros e crescentes níveis de inclusão de óleo de descarte (nas proporções de 0; 2; 4; 6; 8; 10 e 12% em relação ao teor de ST do substrato), a fim de verificar a influência destes níveis sobre o desempenho do processo. As concentrações de ST dos afluentes experimentais foram iguais a 4% ($\pm 0,2$), enquanto os SVs representaram 81% ($\pm 0,1$) e a FDN correspondeu de 48,3 (12% de óleo) a 50,2% (0% de óleo) dos STs, respectivamente. Já as concentrações de DQO foram: 254,3; 358,9; 486,4; 612,5; 792,1; 908,3 e 1.014,5 g de O_2 /litro de afluente, considerando-se as proporções de 0; 2; 4; 6; 8; 10 e 12% de inclusão de óleo, respectivamente.

Para o preparo dos afluentes, as misturas foram homogêneas em liquidificador e adicionadas aos biodigestores para fermentação. Os biodigestores ficaram alojados em galpão com cobertura e paredes de alvenaria, sob temperatura ambiente, protegidos do sol e das chuvas, por todo o período em que apresentaram produções de biogás, que foi de 137 dias.

Os biodigestores modelo batelada utilizados neste trabalho (Figura 1) foram constituídos, basicamente, por 2 cilindros retos de PVC com diâmetros de 150 e 100 mm e uma garrafa plástica para armazenamento do material a ser fermentado, de 65 mm de diâmetro, podendo ser caracterizados como biodigestores de bancada, com capacidade média para 1,3 litro de substrato em fermentação, cada. Os cilindros de diâmetro de 100 e 150 mm encontravam-se inseridos um no interior do outro, de tal forma que o espaço existente entre a parede externa do cilindro e a parede interna do cilindro exterior comportasse um volume de água ("selo de água"). O cilindro de 100 mm de diâmetro teve uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para a descarga do biogás, ficando emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido.

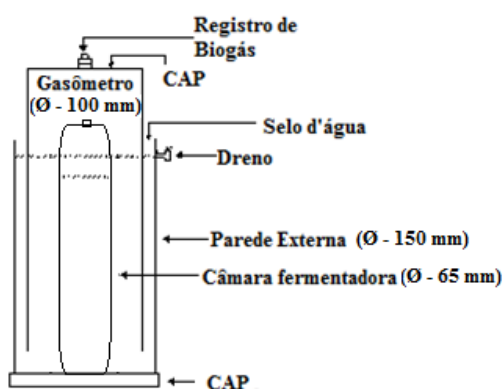


FIGURA 1. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada. **Schematic diagram of the used tabletop batch-digester.**

Nos afluentes e efluentes, foram determinadas as concentrações de ST, SV e DQO pela metodologia descrita por APHA (2012). Os conteúdos de FDN foram mensurados conforme metodologia proposta por DETMANN et al. (2012), e o N total foi determinado conforme metodologia descrita por SILVA & QUEIROZ (2006).

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da secção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura, os gasômetros foram zerados, utilizando-se do registro de descarga de biogás. A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm e 20°C foi efetuada com base no trabalho de CAETANO (1985).

Os cálculos das produções específicas de biogás foram determinados por meio da divisão dos valores de produção pelas quantidades de ST e SV adicionadas e reduzidas, sendo os valores expressos em litros de biogás por g de cada um dos constituintes avaliados.

Na avaliação dos resultados gerados no ensaio de codigestão anaeróbia a partir dos dejetos de bovinos leiteiros, em associação com diferentes inclusões de óleo de descarte, foi adotado o delineamento inteiramente casualizado, composto por 7 tratamentos e quatro repetições (biodigestores). Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando-se como fonte de variação os níveis de óleo. Contrastes ortogonais foram utilizados para avaliar os efeitos de ordem linear, quadrático e cúbico dos níveis de óleo, sendo as análises realizadas pelo software R (versão 3.1.0 for Windows).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir dos resultados de reduções dos constituintes avaliados em produções específicas de biogás, foram obtidos modelos quadráticos de predição, com os quais se estimaram as doses ideais de inclusão de óleo, que serão apresentadas a seguir. A máxima redução de DQO foi igual a 82,88% e ocorreu com a dose de inclusão de óleo de descarte de 5,74%, sendo este valor de redução superior em 5,5% quando confrontado com os obtidos por biodigestores abastecidos apenas com o dejetos de bovino, sem a inclusão de óleo. Este resultado indica que, a partir deste nível de inclusão de óleo de descarte, as reduções apresentaram quedas, sugerindo que, provavelmente, as maiores inclusões propiciaram acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa no meio em digestão, o que pode ter prejudicado a atividade microbiana, diminuindo também sua degradação do material orgânico. O acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa foi relatado como limitante para a ocorrência do processo de formação de biogás por CIRNE et al. (2007), ao realizarem experimento com inclusões de óleo que variaram de 5 a 47% em relação à DQO total, correspondendo aos valores de 80 até 1.360 gramas de DQO por litro de afluente em digestão. Nestas condições, os autores verificaram que, quando os afluentes superaram 670 gramas de DQO por litro, resultaram em acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa (mirístico, palmítico, esteárico e oleico), com limitações nas produções de biogás e formação de metano.

Para as inclusões de óleo verificadas neste trabalho, as concentrações de DQO nos afluentes indicam que as digestões ocorreram em intervalos que podem ter ocasionado o comportamento descrito pelos autores, resultando no decréscimo de produções de biogás a partir da dose de 5,74% de óleo de descarte.

Com relação às reduções das concentrações de ST e SV (Tabela 1 e Figura 2), observou-se comportamento semelhante, sendo que os máximos valores ocorreram nas inclusões de 5,93 e 4,77% de óleo de descarte, respectivamente. Essas inclusões possibilitaram degradações de 47,53% de ST e 51,28% de SV, indicando que, nestes níveis, provavelmente ocorreu adequada disponibilidade de carbono para os microrganismos responsáveis pela degradação do substrato, auxiliando na maximização de suas atividades.

Os valores de redução dos constituintes ST e SV nos níveis ideais de inclusão de óleo superaram resultados de alguns trabalhos contendo resíduos lipídicos em codigestão com dejetos, como na pesquisa realizada por LUSTE & LUOSTARINEN (2010), que obtiveram 38% de redução

dos SVs (em substratos com concentrações que oscilaram de 6,3 a 7,2% para ST e de 4,6 a 5,6% para SV), trabalhando com afluentes compostos por subprodutos da indústria de processamento de carnes e dejetos de bovinos. Porém, as reduções de ST e SV foram inferiores às encontradas por EL-MASHAD & ZHANG (2010), trabalhando com a codigestão de dejetos de bovino e restos alimentares (68%), sendo as condições experimentais: manutenção dos substratos em 35°C e concentrações de 2 a 5 g de SV por litro de afluente.

TABELA 1. Modelos de regressão, seguidos de R^2 , P (probabilidade) e CV (%), para as reduções de DQO, ST, SV e FDN e produções específicas de biogás obtido durante a codigestão de substratos preparados com dejetos de bovino e doses crescentes de óleo de descarte. Regression model, determination coefficient (R^2), probability (P), and coefficient of variation (CV - %) for reductions of DQO, ST, SV, and FDN, as well as specific biogas production estimated within co-digestion of substrates composed of dairy cattle manure and increasing rates of waste oil.

Parâmetro Avaliado	Modelo de regressão	R^2	P	CV	
Redução de DQO (%)	$y = -0,1314x^2 + 1,5097x + 78,5458$	0,58	<0,001	1,4	
Redução de ST (%)	$y = -0,1997x^2 + 2,3672x + 40,5151$	0,82	<0,001	1,9	
Redução de SV (%)	$y = -0,1929x^2 + 1,8401x + 46,8918$	0,80	<0,001	1,4	
Redução de FDN (%)	$y = -0,2196x^2 + 2,8356x + 40,3352$	0,72	<0,001	1,8	
Produção específica de biogás	L. g ⁻¹ de ST adicionado	$y = -0,0011x^2 + 0,0098x + 0,1848$	0,67	<0,001	4,9
	L. g ⁻¹ de SV adicionado	$y = -0,0015x^2 + 0,0139x + 0,2214$	0,76	<0,001	4,6
	L. g ⁻¹ de ST reduzido	$y = -0,0032x^2 + 0,0320x + 0,4208$	0,73	<0,001	3,7
	L. g ⁻¹ de SV reduzido	$y = -0,0040x^2 + 0,0417x + 0,4415$	0,78	<0,001	4,2
N (%) no afluente	$y = -0,0466x + 5,9943$	0,83	<0,001	1,6	
N (%) no efluente	$y = -0,0329x + 7,2955$	0,75	<0,001	1,1	
pH no afluente	$y = 0,0263x + 7,0177$	0,41	<0,001	5,4	
pH no efluente	$y = -0,0062x + 7,7580$	0,46	<0,001	4,8	

Esse comportamento pode ser explicado pelas características dos resíduos utilizados pelos autores, pois neste trabalho os substratos continham, além do dejetos de bovinos, maior proporção de restos alimentares de fácil degradação, com pouca quantidade de constituintes fibrosos, que provavelmente auxiliaram na redução dos constituintes sólidos. Já a codigestão dos dejetos de bovinos com o óleo de descarte, desenvolvida neste trabalho, pode ter sido limitada pelo uso do dejetos em maiores proporções (mínimo de 88%, em complementação com o máximo de óleo de descarte, que foi de 12%), manutenção dos biodigestores em temperatura ambiente, além de maiores níveis de inclusão de óleo aos substratos, que pode ter resultado em maior concentração de ácidos graxos de cadeia longa, como já mencionado anteriormente.

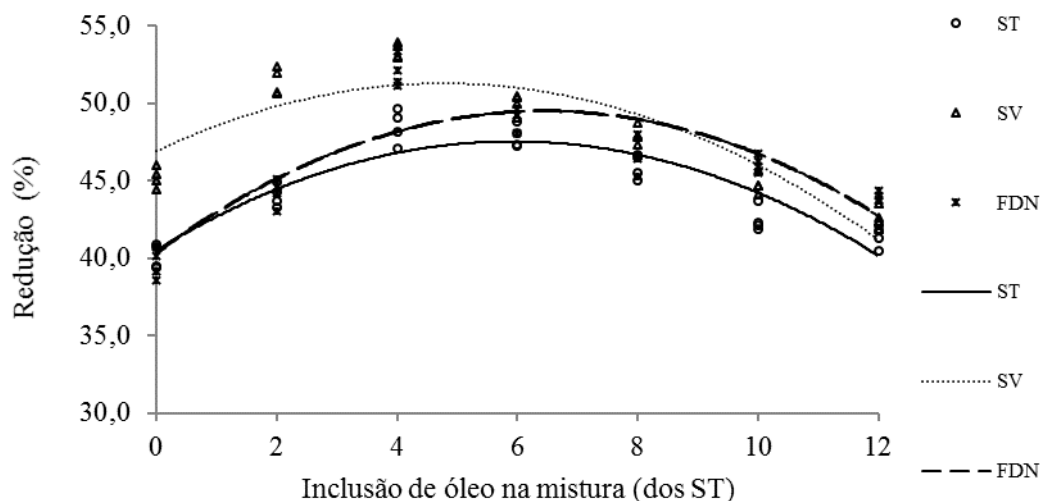


FIGURA 2. Reduções de ST (%), SV (%) e FDN (%) em substratos preparados com dejetos de bovino e doses de inclusão de óleo de descarte. **Reduction rates of total solids - ST (%), volatile solids - SV (%), and neutral detergent fiber - FDN (%) in substrates composed of dairy cattle manure and increasing rates of waste oil.**

As reduções de FDN (Tabela 1 e Figura 2) demonstraram que a inclusão de 6,45% de óleo de descarte apresentou o máximo valor (49,48%), sendo este resultado 22% superior quando confrontado com os apresentados pelos biodigestores que não foram abastecidos com óleo de descarte. Mesmo neste valor de redução máxima de FDN, acredita-se que a degradação desta fração foi limitada, visto que em trabalhos realizados em condições semelhantes (biodigestores batelada com afluentes contendo 4% de ST e preparados com os dejetos de bovinos) por ORRICO JR. et al. (2010), foram verificadas reduções de FDN de até 89,4%. Provavelmente estas limitações estejam associadas à complexidade dos constituintes fibrosos pela presença de lignina, que limitaria o acesso destes componentes pelos microrganismos para a produção de biogás, visto que os teores de FDN nos afluentes de ORRICO JR. variaram de 53,6 a 56,3% e, neste trabalho, entre 48,3 e 50,2%, apresentando assim semelhanças nestas concentrações.

As reduções dos teores de ST, SV e FDN estão relacionadas com a utilização dos compostos orgânicos pelos microrganismos que degradam a matéria orgânica; sendo assim, a inclusão de até 6,45% de óleo de descarte favoreceu o processo de codigestão, e em contrapartida o excesso pode ter causado produção excessiva de ácidos graxos de cadeia longa que se tornaram nocivos aos microrganismos, limitando a degradação (MATA-ALVAREZ et al., 2014). As melhorias de degradações dos constituintes sólidos com a inclusão de óleo nas misturas em digestão, provavelmente, tenham sido a resposta dos benefícios causados pela complementariedade, propiciando assim substratos com melhor ajuste de nutrientes (relação C:N, disponibilidade de macro e micronutrientes, além do maior fornecimento de energia pelo uso de óleo), que refletiram em maiores condições de atuação dos microrganismos.

As reduções dos constituintes sólidos estão diretamente associadas às produções de biogás, sendo que, por meio da degradação do material orgânico pelos microrganismos anaeróbios, há a geração de biogás. Os resultados deste trabalho evidenciam que as produções de biogás (Tabela 1 e Figura 3) podem ser acrescidas com a inclusão de óleo de descarte aos substratos, sendo que as produções específicas por ST e SV adicionados foram máximas para as doses de inclusão de 4,40 e 4,63% óleo de descarte, respectivamente. Com base nestas inclusões, é possível estimar as produções de 0,20 L de biogás/g de ST adicionado e 0,25 L de biogás/g de SV adicionado, valores superiores em 11 e 13%, respectivamente, quando confrontados com os resultados apresentados pelos biodigestores que não sofreram a inclusão de óleo de descarte, o que demonstra melhora na produção de biogás quando os dejetos de bovinos são codigeridos com óleo.

Esses resultados correspondem ao comportamento verificado em trabalhos que empregaram a codigestão dos dejetos de bovinos e resíduos lipídicos. Em trabalho realizado por ZHANG et al. (2013), em que utilizaram os dejetos de bovinos em codigestão com restos alimentares, foram obtidos rendimentos de até 0,42 L de biogás/g SV adicionado e, ainda, em ensaio realizado por LI et al. (2010), trabalhando com a codigestão de restos alimentares e dejetos de bovino em que foram encontradas produções de biogás incrementadas em 5,5 vezes quando os substratos contiveram óleo de descarte na composição.

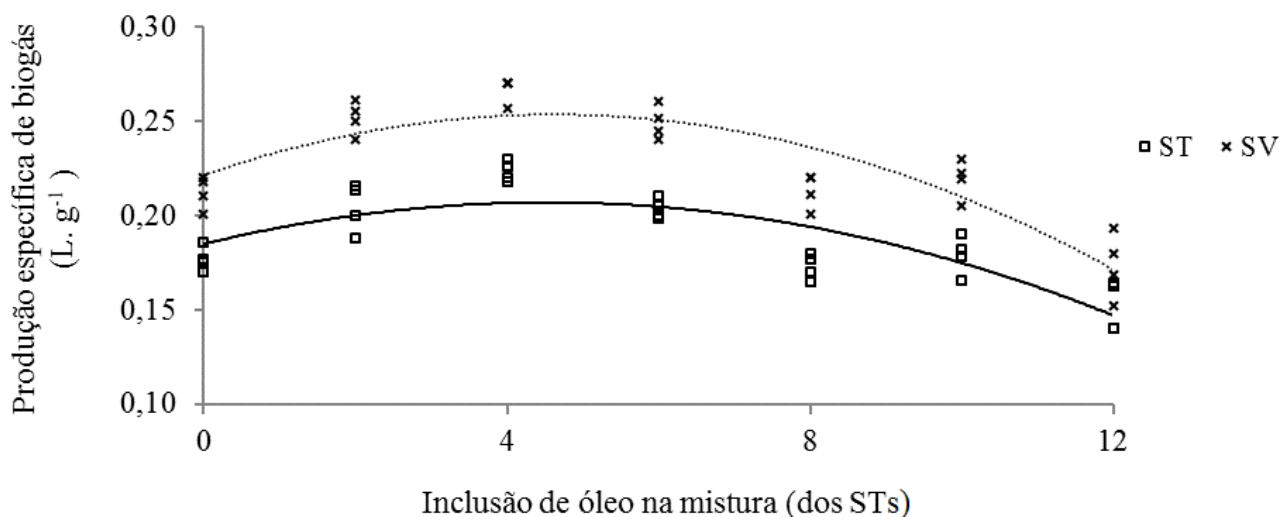


FIGURA 3. Produções específicas de biogás (L. g⁻¹ de ST e SV adicionado) a partir de substratos preparados com os dejetos de bovinos e doses de inclusão de óleo de descarte. **Biogas specific production (L g⁻¹ of added ST and SV) of substrates composed of dairy cattle manure and increasing rates of waste oil.**

O comportamento de acréscimo nas produções específicas de biogás, conforme ocorreu a inclusão de óleo de descarte (até 4,40%, para as produções de biogás por ST adicionado) na composição dos substratos, pode estar associado à descrição de HUNTER LONG et al. (2012), que se refere ao atendimento das necessidades dos microrganismos anaeróbios. Os autores salientam que o fornecimento de compostos ricos em carbono, como gorduras, óleos e graxas, associado aos dejetos animais, pode aumentar a produção de biogás em 30% ou mais, desde que respeitadas as concentrações de N do meio. Já o inverso deste comportamento, ou seja, as quedas das produções a partir da dose de 4,40% de óleo podem estar associadas à toxicidade desempenhada pelos ácidos graxos de cadeia longa que interferem na capacidade de transferência de massa pela membrana dos microrganismos e ainda a queda do pH em virtude da maior concentração dos ácidos que tornam o meio impróprio para a microbiota (MATA-ALVAREZ et al., 2014). Neste trabalho, não foi verificada a queda de pH nos biodigestores, seja no afluente, seja no efluente, o que pode ter sido ocasionado pela maior proporção de dejetos nas misturas, devido ao seu poder tampão. RODRIGUES et al. (2014), trabalhando com a codigestão de dejetos de suíno, níveis crescentes de óleo de descarte (8; 12; 16 e 20 g por kg de ST) e lipase, encontraram resultados que traduzem esse comportamento, onde a produção de biogás foi diminuída em virtude da maior adição de óleo.

De maneira semelhante, o comportamento apresentado pela produção específica de biogás por ST reduzido (Tabela 1) foi maior (0,50 L de biogás/g de ST reduzido) quando adicionados 5% de óleo de descarte ao sistema. A inclusão desta dose de óleo resultou em produção específica 19% maior quando comparado ao observado em biodigestores que não sofreram adição de óleo, o que permite interpretar que a inclusão do óleo complementou as características dos dejetos de bovino, o que provavelmente possibilitou fonte de N e C satisfatórios para que ocorresse maior degradação, e consequente maior produção de biogás.

Da mesma maneira, os resultados encontrados para a produção de biogás por g de SV reduzidos foram satisfatórios e confirmam o comportamento já visualizado em outros parâmetros, ou seja, as produções foram máximas com a dose de inclusão de óleo de 5,3%, resultando na produção de 0,55 litro de biogás por g de SV reduzido.

A partir das análises dos teores de N nos afluentes e efluentes, foram observados comportamentos lineares decrescentes, o que já eram resultados esperados a partir do conhecimento de que a fonte de N do substrato é o dejetos, e quanto maior a adição de óleo, menor será sua concentração no substrato em digestão. As concentrações de N no efluente foram superiores às observadas no afluente, demonstrando que ocorreu acréscimo nestes valores durante a co-digestão dos substratos, sobretudo em virtude da degradação do material orgânico.

Os valores de pH dos afluentes e efluentes permaneceram próximos de 7, sendo que o mesmo foi aumentado à medida que o nível de inclusão de óleo foi maior. Esse resultado corrobora os encontrados por EL-MASHAD e ZHANG (2010), trabalhando com dejetos de bovinos e restos alimentares, sendo que estes autores encontraram valores de 7,2 para o parâmetro, atribuindo que as condições de meio interno dos biodigestores puderam ser atendidas no ensaio.

CONCLUSÕES

As doses de inclusão de óleo de descarte de pastelaria entre 4,4 e 6,5% em substratos contendo os dejetos de bovinos leiteiros incrementaram as produções específicas de biogás e as reduções dos constituintes sólidos e fibrosos.

REFERÊNCIAS

- AGYEMAN, F.O.; TAO, W. Anaerobic co-digestion of food waste and dairy manure: Effects of food waste particle size and organic loading rate. **Journal of Environmental Management**, Oxford, v. 133, p. 268-274, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479713007573>>. Acesso em: 7 out. 2014.
- ALVAREZ, R.; LIDEN, C. Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste. **Renewable Energy**, Oxford, v. 33, n.4, p. 726-734, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148107001309>>. Acesso em: 9 out. 2014.
- APHA - AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22nd ed. Washington: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.
- CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.
- CALLAGHAN, F. J.; WASE, D. A. J.; THAYANITHY, K.; FORSTER, C. F. Continuous co-digestion of cattle slurry with fruit and vegetable wastes and chicken manure. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v. 22, n. 1, p. 71-77, 2002. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953401000575>>. Acesso em: 7 out. 2014.
- CHENXI, L.; CHAMPAGNE, P.; ANDERSON, B.C. Evaluating and modeling biogas production from municipal fat, oil and grease and synthetic kitchen waste in anaerobic co-digestions. **Bioresource Technology**, New York, v. 102, p. 9471-80, 2011. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0960852411010546/1-s2.0-S0960852411010546-main.pdf?_tid=6e83b802-0847-11e4-a476-00000aacb360&acdnat=1405006542_e34d6b9c155e8d59c654570cddf2cfd2>. Acesso em: 23 mai. 2014.
- CIRNE, D.G.; PALOUMET, X.; BJÖRNSSON, L.; ALVES, M.M.; MATTIASSON, B. Anaerobic digestion of lipid-rich waste – Effects of lipid concentration. **Renewable Energy**, Oxford, v.32, n.6, p.965-975, Elsevier: 2007.
- DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: INCT, Ciência Animal, 2012. 214p.

- EL-MASHAD; ZHANG. Biogas production from co-digestion of dairy manure and food waste. **Bioresource Technology**, New York, v.101, p. 4021-4028, 2010. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410000842>>. Acesso em: 7 out. 2014.
- FERREIRA, L.; DUARTE, E.; FIGUEIREDO, D. Utilization of wasted sardine oil as co-substrate with pig slurry for biogas production – A pilot experience of decentralized industrial organic waste management in a Portuguese pig farm. **Bioresource Technology**, New York, v. 116, p. 285-289, 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412005275>>. Acesso em: 8 out. 2012.
- HUNTER LONG, J.; AZIZ, T.N.; REYES III, F. L.; DUCOSTE, J.J. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. **Process Safety and Environmental Protection**, Basingstoke, n.9, p. 231–245. 2012. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582011001054>>. Acesso em: 7 out. 2014.
- LI, R.; CHEN, S.; LI, X. Biogas Production from Anaerobic Co-digestion of Food Waste with Dairy Manure in a Two-Phase Digestion System. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, Totowa, v. 160, p. 643-654. 2010. Disponível em: <<http://link.springer.com/article/10.1007/s12010-009-8533-z#page-1>>. Acesso em: 8 out. 2014.
- LUSTE, S.; LUOSTARINEN, S. Anaerobic co-digestion of meat-processing by-products and sewage sludge –Effect of hygienization and organic loading rate. **Bioresource Technology**, New York, v.101, p. 2657-64, 2010. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0960852409014473/1-s2.0-S0960852409014473main.pdf?_tid=b59844c40856-11e4-9b99-00000aacb360&acdnat=1405013103_d146aa79d03b5cf077847fb58a678a15>. Acesso em: 2 fev. 2014.
- MACIAS-CORRAL, M.; SAMANI, Z.; HANSON, A.; SMITH, C.; FUNK, P.; YU, H.; LONGWORK, J. Anaerobic digestion of municipal solid waste and agricultural waste and the effect of co-digestion with dairy cow manure. **Bioresource Technology**, New York, v. 34, p. 1330-1335, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852408002745#>>. Acesso em: 7 out. 2014.
- MATA-ALVAREZ, J., DOSTA, J.; ROMERO-GÜIZA, M.S.; FONOLL, X.; PECES, M.; ASTALS, S. A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Amsterdam, v. 36, p. 412-27, 2014. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032114002664>>. Acesso em: 7 out. 2014.
- ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. et al. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte: influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, MG, v.41, n.6, p.1533-1538, 2012.
- ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Influência da relação volumoso: concentrado e do tempo de retenção hidráulica sob a biodigestão anaeróbia dos dejetos de bovinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.3, p.386-394, 2010.
- ORRICO, A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M.A.P. Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, n.3, p.639-647, 2007.
- RODRIGUES, J.P; ORRICO, A.C.A; ORRICO JUNIOR, M.A.P; SENO, L.O; ARAÚJO, L.C; SUNADA, N.S. Adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.44, n.3, p.544-547, 2014.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3. ed. Viçosa: Editora Universitária, 2006. 166 p.
- XAVIER, C. A. N; LUCAS JR. J. Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.2, p.212-223, mar./abr. 2010.
- ZHANG, C.; XIAO, G.; PENG, L. SU, H.; TAN, T. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. **Bioresource Technology**, New York, v. 129, p. 170-176, 2013. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852412016471>>. Acesso em: 11 set. 2014.