



A INFLUÊNCIA DA CODIGESTÃO DE ÓLEO VEGETAL RESIDUAL NA GERAÇÃO DE BIOGÁS POR LODO DE ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES¹

Odorico Konrad², Marluce Lumi³, Alan Nelson Arenhart Heberle³, Jaqueline Fernandes Tonetto³, Camila Elis Casaril³

¹ Aceito para publicação no 4º trimestre de 2013

² Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas - Engenharia Ambiental - Resíduos/Energia Renovável

³ Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas

Resumo

A reciclagem de óleo traz inúmeros benefícios para a sociedade, diminuindo vários problemas relacionados ao seu descarte, sendo que, além disso, possibilita aumentar a geração e a utilização de energia na forma de biogás através do processo de digestão anaeróbia, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa. Por isto, neste trabalho pesquisou-se a geração de biogás através de lodo de estação de tratamento de efluentes suplementado com óleo vegetal residual (OVR). A geração de biogás ocorreu por meio de digestão anaeróbia no sistema em batelada sob condições mesofílicas (35 °C). O experimento foi realizado inicialmente com 24 amostras divididas em quatro grupos representativos, sendo um controle (sem adição de OVR) e os demais suplementados com OVR nos percentuais 3%, 6% e 9 % do volume total das amostras (600 mL). O volume de biogás gerado foi controlado por um sistema automatizado para leitura em escala laboratorial e a qualidade do biogás medida a partir de um sensor específico para metano (CH₄). Os resultados obtidos demonstraram que o OVR tem potencial para incrementar a geração de biogás, sendo que o tratamento suplementado com 9% de OVR apresentou maior incremento na geração de biogás.

Palavras-chave: biodigestão anaeróbia, energias renováveis, resíduos.

THE INFLUENCE OF CODIGESTION OF VEGETABLE OIL RESIDUAL IN THE BIOGAS GENERATION FROM SLUDGE TREATMENT OF WASTEWATER

Abstract

The oil recycling brings numerous benefits to society, reducing several problems related to its disposal and, moreover, helps to increase the generation and use of energy in the form of biogas through anaerobic digestion, reducing the emission of greenhouse gases. Therefore, this paper researched to generate biogas through sludge wastewater treatment supplemented with waste vegetable oil (OVR). The biogas generation occurred through anaerobic digestion in batch system under mesophilic conditions (35°C). The experiment was initially performed on 24 samples divided into four representative groups, a control (no added OVR) and the other supplemented with OVR in percentage 3% , 6% and 9% of the total sample volume (600 mL). The amount of biogas generated was controlled by an automated system for reading and quality of the laboratory scale biogas measurement from a specific sensor for methane (CH₄). The results showed that the OVR has the potential to increase the generation of biogas, but the treatment supplemented with 9% of OVR showed greater increase in the generation biogas.

Keyword: anaerobic digestion, renewable energy, waste.

Introdução

As fontes renováveis de energia terão participação cada vez mais significativa na matriz energética global nas próximas décadas e a biodigestão anaeróbia surge como uma alternativa interessante para recuperar a energia contida nos resíduos, através da geração de biogás.

A crescente preocupação com as questões ambientais e aquecimento global juntamente com o consenso mundial sobre a promoção do desenvolvimento em bases sustentáveis, vêm estimulando a realização de pesquisas de desenvolvimento tecnológico que vislumbram a incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias (PROINFA, 2013).

O constante desenvolvimento tecnológico e o significativo crescimento da população mundial, aliados ao consumo exagerado dos recursos naturais, geram um incremento na

demanda por alimentos e produtos industrializados e principalmente energia. Neste sentido, os rejeitos gerados por estas atividades possuem altas concentrações de matéria orgânica, podendo facilmente conduzir a um desequilíbrio ambiental quando não gerenciados de maneira correta (HARRIS & ROACH, 2013).

Frente a grande quantidade de matéria orgânica associada a estes resíduos, a biodigestão pode reduzir o potencial poluente dos resíduos orgânicos com alto teor de demanda bioquímica de oxigênio, e ao mesmo tempo, gerar biogás. (SALOMON et al., 2009).

Para tanto, utiliza-se da digestão anaeróbia que se trata de uma alternativa de baixo custo e fácil manejo, sendo o mecanismo mais usado para tratamento dos efluentes oriundos de atividades industriais e agrícolas que possuem elevadas taxas de matéria orgânica, a qual é convertida em energia sob forma de biogás (CASSINI, 2003).

O biogás é uma promissora fonte renovável de energia, composto principalmente por metano CH_4 (55-70%), CO_2 (30-45%), podendo ser produzido a partir de uma grande variedade de matérias-primas orgânicas e utilizado para diferentes propósitos energéticos. Sua produção ocorre quando os microrganismos degradam materiais orgânicos, na ausência de oxigênio, também chamada de digestão anaeróbia (LANTZ et al., 2006; DEUBLEIN et al., 2008).

Para Barbosa & Pasqualetto (2007), no Brasil, parte do óleo vegetal residual oriundo do consumo humano é destinado à fabricação de sabões e à produção de biodiesel, sendo que maior parte deste resíduo é descartado na rede de esgotos. A presença deste material diminui a área de contato entre a superfície da água e o ar atmosférico impedindo a transferência do oxigênio da atmosfera para a água e, os óleos e graxas em seu processo de decomposição, reduzem o oxigênio dissolvido elevando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), causando alterações no ecossistema aquático (DABDOUB, 2006).

Dos 6,5 milhões de litros de óleo vegetal coletados no Brasil, ainda são destinados incorretamente aos corpos hídricos mais de 200 milhões de litros por mês (ECÓLEO, 2012). Desta forma, se faz necessário pensar em uma alternativa viável de destino a este resíduo. A reciclagem do resíduo alimentício de óleo traria inúmeros benefícios para a sociedade, pois haveria diminuição de vários problemas relacionados ao seu descarte, sendo que, além destes benefícios, ainda haveria a possibilidade de aumentar a produção e a utilização de energia na forma de biogás por meio da biodigestão anaeróbia, diminuindo a emissão de gases de efeito estufa, contribuindo com o meio ambiente (CHRISTOFF, 2006).

Os lipídios apresentam geração de metano teoricamente superior quando comparado com os carboidratos e proteínas. Em combinação com lodo de esgoto, lipídios aumentam a geralmente baixa relação C/N (carbono/nitrogênio) deste resíduo, resultando em alto rendimento de metano (PASTOR et al., 2013).

Segundo estudos realizados por Robra (2006), Konrad et al. (2010) e Backes et al. (2011), a codigestão de resíduos ricos em carbono associados a lodos de estação de tratamento de efluentes obtiveram incremento significativo na geração de biogás e metano.

Desta maneira, considera-se que materiais ricos em gordura com carbono de fácil digestão, podem potencializar a geração de biogás, bem como melhorar a qualidade do mesmo, porém, as quantidades destes materiais devem ser razoáveis para evitar a acidez do processo (DEUBLEIN et al., 2008).

O estudo aqui apresentado teve como objetivo avaliar qual o percentual de óleo vegetal residual (OVR) apresenta melhores condições para suplementar a geração de biogás e o rendimento de metano contido no mesmo.

Materiais e Métodos

O estudo foi realizado no Laboratório de Biorreatores da UNIVATES em Lajeado/RS. O lodo utilizado na pesquisa é procedente de distintos processos industriais e o OVR utilizado foi óleo de soja (*Glycine max*) oriundo de fritura de produtos alimentícios, o qual foi utilizado em condições controladas para evitar interferentes, expondo o mesmo à fritura de 1 Kg de batatas durante 50 minutos com 750 ml de óleo de soja, não havendo uso de sal de cozinha diretamente no alimento antes de colocá-lo na gordura.

Para a realização do experimento preparou-se 24 reatores contendo 600 mL de lodo de estação de tratamento de efluentes, divididos em quatro grupos representativos: Controle (sem adição de OVR), 3 %, 6% e 9 % de OVR, sendo que as dosagens de OVR correspondem respectivamente a 18 mL, 36 mL e 54 mL do volume total da amostra de 600 mL. Estas concentrações foram estipuladas em função de experimentos realizados por Schmitz et al., (2010), Konrad et al., (2010) e Amon et al., (2006). As aplicações de OVR se deram em cinco momentos distintos, considerando o trabalho de Schmitz et al., (2010), no qual o co-substrato foi adicionado quando a geração de biogás apresentava decréscimo. As características físico químicas do substrato e do OVR estão expostas na Tabela 1.

Para os tratamentos Controle, 3%, 6% e 9% de OVR considerou-se tempo de retenção hidráulica de 35, 72, 85 e 89 dias, respectivamente.

Tabela 1. Parâmetros físico-químicos do lodo de estação de tratamento de efluentes utilizado como substrato.

Parâmetros	Substrato	OVR
C/N	17,81	
C (mg/L)	30.925,51	
N (mg/L)	1.736,47	
DBO₅ (mg/L O₂)	27.000	
pH*	7,44	4,8
SF (% ST)	2,45	
ST (%)	6,64	100
SV (% ST)	4,19	

*Temperatura: 25°C

O processo de fritura ocasiona mudanças químicas e físicas ao óleo, ocasionando perdas nutricionais do mesmo. Na fritura o óleo fica em maior contato com a água e o ar, iniciando um processo de degradação. Quando em contato com o ar e partículas de restos de alimentos em decomposição o óleo é oxidado, e em contato com a água dos alimentos sofre hidrólise dos seus triglicerídeos (BILLEK et al., 1985). Óleos oxidados e hidrolisados sofrem alterações físico - químicas e mudanças organolépticas (COSTA NETO & FREITAS, 1996).

Os reatores permaneceram acondicionados em incubadora bacteriológica, ajustada a temperatura constante de 35 °C. A quantificação de biogás foi realizada fazendo-se uso do sistema de medição de gases (Figura 1), o qual é baseado no deslocamento de fluidos e o volume de biogás gerado foi determinado através da equação combinada dos gases ideais, que descreve que a relação entre temperatura, pressão e volume de um gás é constante (HALLIDAY et al., 2009).



Figura 1: Sistema automatizado de medição de biogás acoplado a incubadora bacteriológica adaptada.

A concentração de metano medida em porcentagem foi realizada diariamente injetando-se biogás em um sensor específico denominado Advanced Gasmitter, produzido pela empresa PRONOVA® Analysentechnik GmbH& Co (Figura 2).



Figura 2: Sensor específico para medição da concentração de gás metano.

A caracterização do substrato foi realizada antes e depois da biorreação, considerando-se os seguintes parâmetros: Carbono (C), Nitrogênio (N), DBO₅, pH, sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e sólidos fixos (SF).

Os ensaios de carbono e nitrogênio foram realizados segundo metodologia Standard Methods (2005), enquanto que os ST e SV foram determinados segundo metodologia AOAC (1995), o pH do substrato foi analisado através de pHmetro digital marca Digimed DM-20 e o pH do OVR, determinado através de titulação, conforme Araújo et al. 2010.

Realizou-se a análise estatística dos resultados obtidos através da análise de variância pelo teste de comparação de médias de Tukey ($P < 0,05$). Consideraram-se quatro tratamentos e duas repetições para cada um deles, sendo feitas, portanto, oito observações. Utilizou-se correlação não paramétrica de Pearson (p) para analisar a relação entre o volume de biogás e o volume de metano, bem como o coeficiente de determinação (R^2).

Os reatores dopados (suplementados) com OVR sofreram um processo de agitação, pelo fato de o óleo se tratar de um composto apolar, o qual não se dissolve diretamente no substrato, ficando na parte superior retardando a reação. Com o passar do tempo, percebeu-se que o OVR foi sendo hidrolisado, passando a ter coloração esbranquiçada e aglutinação em flocos, os quais se dissolveram no meio. Percebeu-se a formação de camada sobrenadante, principalmente na amostra 9% de OVR (Figura 3).

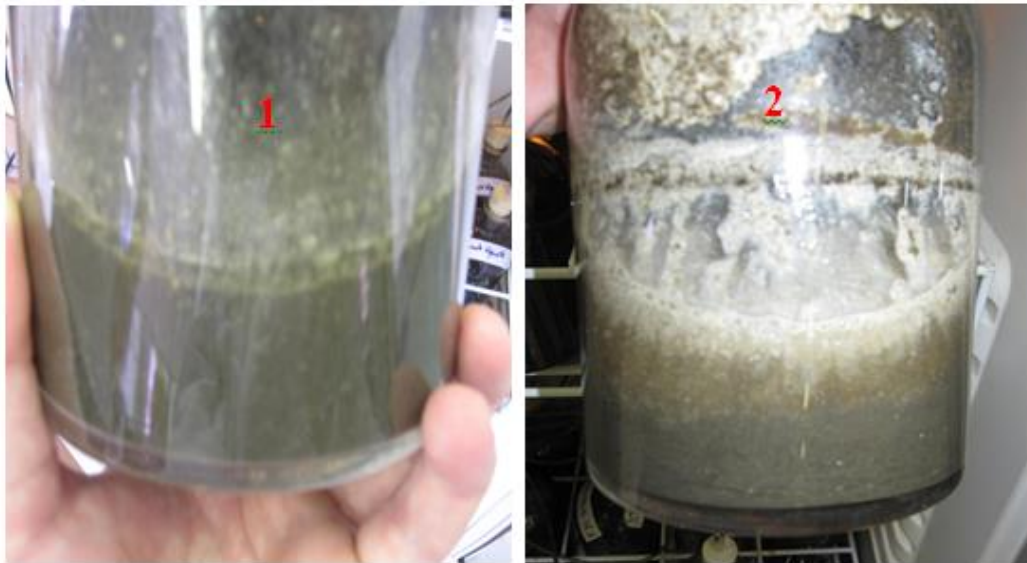


Figura 3. Tratamento 9% OVR (1) e após três dias de aplicação (2).

O processo de agitação em reatores onde substâncias apolares estão presentes é muito importante, pois evita o acúmulo da substância na superfície e faz com que entre em contato com o substrato rico em bactérias. Durante a agitação, o OVR se divide em pequenas bolhas, facilitando a ação dos microrganismos e resultando em alta taxa de degradação.

Resultados e Discussão

Parâmetros físico químicos

Após o tratamento anaeróbio, realizou-se a análise físico química dos parâmetros expostos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros físico químicos avaliados após biorreação nos tratamentos Controle, 3 %, 6 % e 9 % de OVR.

Parâmetros	Níveis de Inclusão de OVR			
	CONTROLE	3% OVR	6% OVR	9% OVR
C/N	35,93	28,13	8,80	21,24
C (mg/L)	13.614,48	14.213,81	21.848,89	29508,63
N (mg/L)	378,95	505,27	2484,23	1389,18
DBO ₅ (mg/L O ₂)	2.000	2.000	2.500	10.500
pH*	8,31	7,70	7,74	7,84
SF (% ST)	2,48	2,39	2,51	2,78
ST (%)	4,90	4,94	5,14	6,06
SV (% ST)	2,42	2,55	2,63	3,28

*Temperatura: 25°C

Nota-se que após o tratamento, os ST aumentaram à medida que aumentou o percentual de OVR. As reduções de SV obtidas em nosso estudo corroboram o resultado de Rodrigues (2012), no qual as maiores reduções foram observadas nos tratamentos com menores inclusões de óleo, porém, vão contra o estudo realizado por Lansing et al. (2010), que observaram as maiores reduções de SV nos tratamentos com maiores inclusões de óleo. Observa-se que o maior teor de SF após o período de experimentação se deu na amostra 9%, o que indica maior presença de materiais recalcitrantes no sistema não passíveis de degradação devido ao maior tempo de retenção hidráulica de 89 dias (Nielsen, 2011).

Destaca-se que a suplementação de OVR gerou aumento do parâmetro DBO₅ nos ensaios de 6% e 9% quando comparados ao tratamento Controle, em decorrência do carbono não consumido durante a biodigestão. Porém, comparando a amostra inicial com as amostras finais, observa-se que em todos os tratamentos houve remoção de DBO₅, sendo as amostras Controle e 3% as que apresentaram maiores remoções (92,59%). Nota-se que no tratamento 9% obteve-se remoção de 61,11%, o que indica que para este teste o tempo de retenção hidráulica deveria ter sido maior para que ocorresse maior eficácia no tratamento anaeróbio devido a maior carga orgânica suplementada.

Inicialmente a relação C/N da amostra era de 17,81, valor que está em concordância a relação ideal para que ocorra um bom processo de biodigestão (Luna et. al., 2008). Pode-se observar que a relação C/N sofreu redução em todas as amostras suplementadas com OVR quando comparadas ao experimento Controle, porém com exceção do 6%, todas elas apresentaram aumento deste parâmetro em relação a amostra inicial.

O aumento da relação C/N pode ter se dado em função de alguma inibição que ocorreu no sistema, a qual comprometeu o processo de digestão anaeróbia, fazendo com que houvesse aumento de carbono no meio (SGORLON et al. 2011). Estes tratamentos ainda, podem ter sofrido um processo de inibição, que segundo Pereira et al. (2003) seria causada por ácidos graxos de cadeia longa (AGCL), sendo esta inibição um processo reversível, na qual a taxa de variação de biogás aumenta em um curto período de tempo após a degradação do ácido graxo.

Observa-se que o tratamento 6 % obteve a melhor relação C/N ao final do processo, podendo este tratamento ser considerado como estável, pois segundo Rao & Singh (2004) a relação C/N do resíduo estabilizado é entre 10 e 13. O pH das amostras nas quais houve inclusão de OVR manteve-se praticamente estável, em concordância com a faixa ideal recomendada por Girardi (2003), entre 6,0 e 8,0 o que indica que o ambiente não apresentou toxicidade para a atividade metanogênica. Ainda segundo Dors (2006), pH em torno de 7,0 a 7,2 resulta em maior eficácia de degradabilidade. O maior pH observado na amostra Controle pode ser um indício de que houve toxicidade neste tratamento, reduzindo a eficácia da biodigestão. Segundo Costa Neto & Freitas, (1996) o aquecimento prolongado de óleo vegetal leva a polimerização da molécula dos triacilgliceróis, aumentando a viscosidade do óleo e seu índice de acidez.

Geração de Biogás

Na Figura 4 visualiza-se a média da geração diária de biogás da triplicata controle durante 35 dias de experimentação. O sétimo dia de tratamento anaeróbio apresentou o maior pico de geração de biogás e de metano. Porém, a partir do oitavo dia houve drástica redução do volume tanto de biogás quanto de metano. O volume de biogás durante o período de experimentação se manteve em $370,22 \pm 502,19$ mL dia⁻¹ e o teor de metano foi de $68,98 \pm 5,46\%$. A geração de biogás nos primeiros quinze dias de experimentação corresponde a

90,29% do biogás total gerado neste tratamento. Observam-se oscilações na concentração de metano à medida que diminui a geração de biogás, principalmente no 18º e 24º dias.

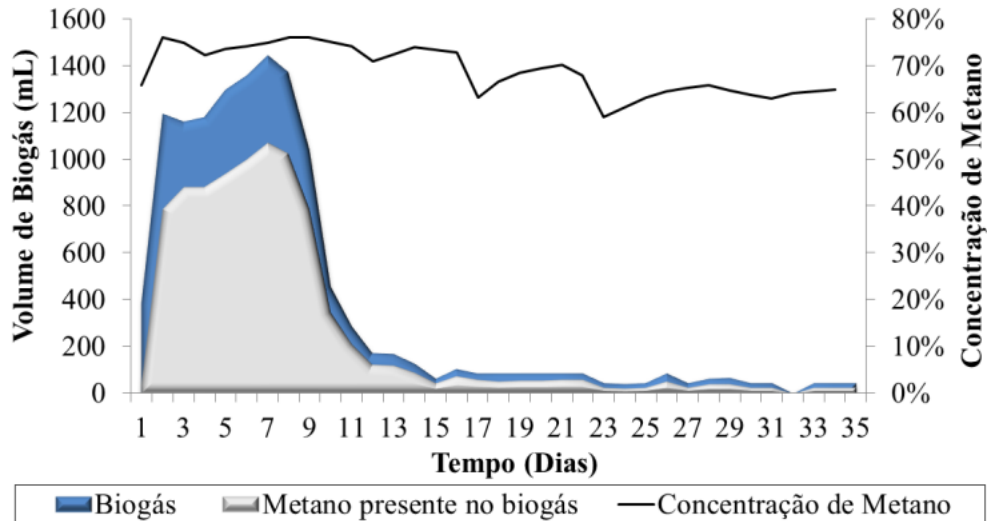


Figura 4. Geração diária de biogás da amostra Controle, com o volume de metano presente no biogás e o percentual diário de metano.

As Figuras 5, 6 e 7 representam as amostras que receberam a suplementação de OVR e visualiza-se em comparação a amostra Controle que a adição de carga orgânica incrementou a geração de biogás em todos os tratamentos e que a concentração de metano também foi superior à da amostra Controle.

O tempo de experimentação dos reatores suplementados com OVR foram superiores se comparados ao tratamento Controle, em consequência da carga orgânica adicionada ao sistema. Entre os tratamentos nos quais foi adicionada o OVR, o tempo de experimentação foi distinto, sendo o do 3% de 72 dias, 6% de 85 dias e 9% de 89 dias.

A amostra 3% OVR gerou $428,37 \pm 359,94$ mL. dia⁻¹ de biogás com concentração de metano de $72,47 \pm 4,04\%$. Observa-se que em nenhum momento após as suplementações de OVR houve pico de geração de biogás superior ao período anterior à primeira adição (até o 10º dia).

Na suplementação com 6% de OVR (Figura 6), observa-se que em dois momentos o pico de geração de biogás ultrapassou o inicial, após as duas últimas aplicações. A geração de biogás neste tratamento foi de $688,91 \pm 479,36$ mL. dia⁻¹ com teor de metano de $73,91 \pm 4,00\%$. Nota-se ao longo do experimento que após as suplementações houve queda no

percentual de metano, exceto na quarta adição. A mesma situação ocorreu na amostra com 3% de OVR.

No tratamento com 9% OVR (Figura 7), visualiza-se que a maior concentração de metano se deu quando houve o pico de geração de biogás, com exceção da primeira adição de OVR. O teor de metano corresponde a $71,18 \pm 5,98\%$ e a geração de biogás foi de $968,15 \pm 455,27 \text{ mL} \cdot \text{dia}^{-1}$. Observa-se que todas as suplementações apresentaram ganho na geração de biogás em relação ao pico do período sem OVR.

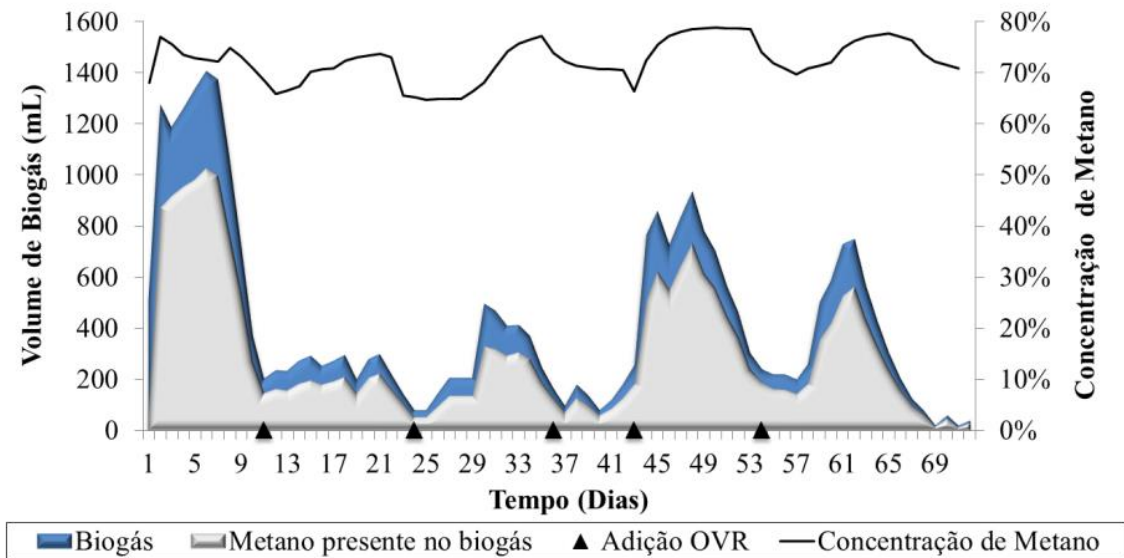


Figura 5. Geração diária de biogás da amostra que recebeu 3% de OVR, com o volume de metano presente no biogás e o percentual diário de metano com retenção hidráulica de 72 dias.

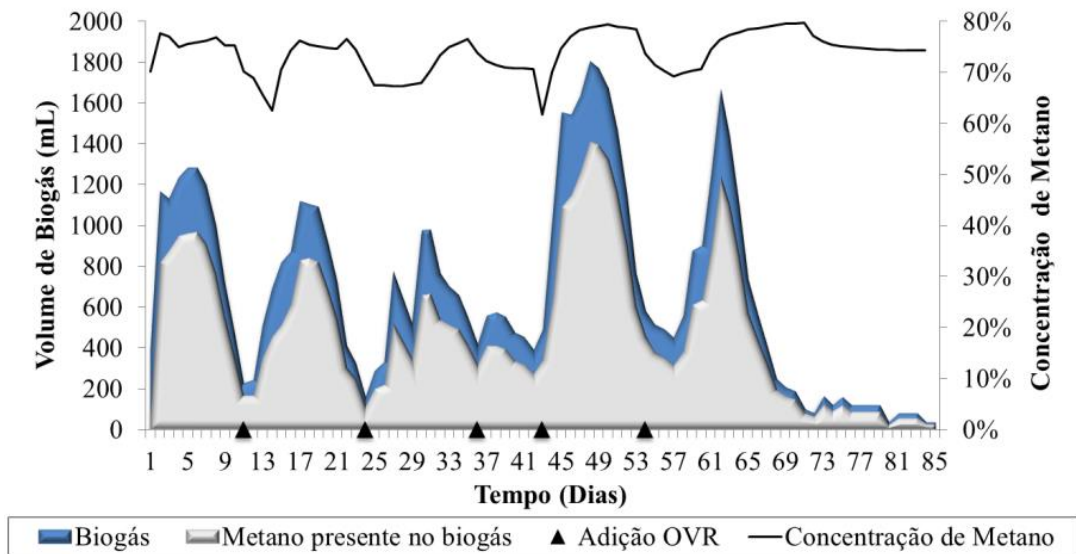


Figura 6. Geração diária de biogás da amostra que recebeu 6% de OVR, com o volume de metano presente no biogás e o percentual diário de metano com retenção hidráulica de 85 dias.

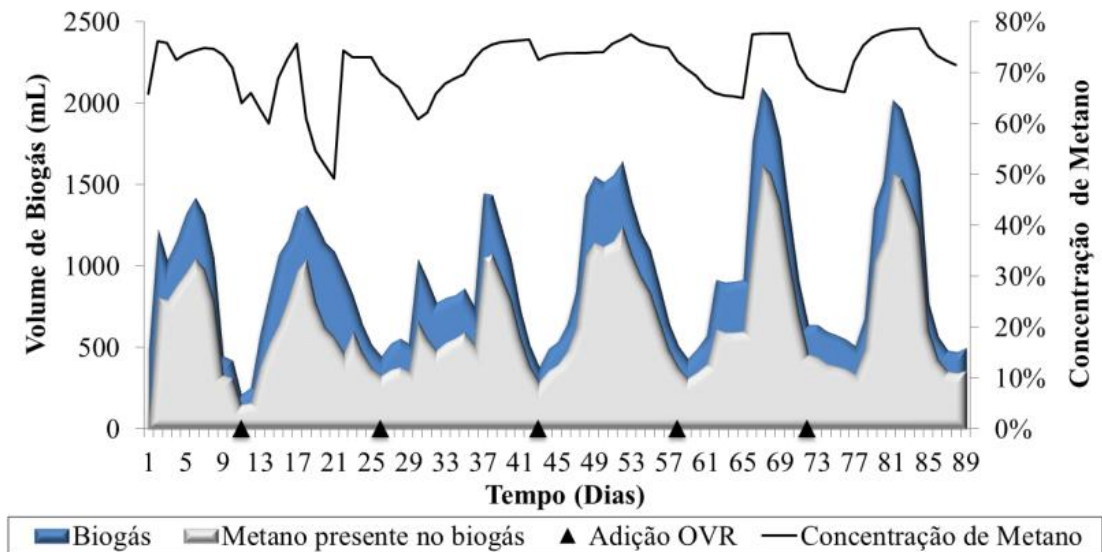


Figura 7. Geração diária de biogás da amostra que recebeu 9% de OVR, com o volume de metano presente no biogás e o percentual diário de metano com retenção hidráulica de 89 dias.

Outro aspecto interessante ao comparar os dados é uma diminuição na concentração de metano no dia seguinte à aplicação. Este comportamento pode ser classificado como um período de adaptação ao novo substrato, pois as características do meio foram alteradas

subitamente, ocorrendo principalmente a primeira etapa do processo de biodigestão anaeróbia (hidrólise), na qual não há volatilização do substrato.

O maior incremento na geração de biogás se deu com adição de 9 % OVR, o qual obteve rendimento de 575,87% em relação à amostra Controle, seguido da suplementação com 6% OVR (359,31%) e 3% OVR (141,87%). Quanto ao volume de metano, este foi incrementado respectivamente em 570,03%, 359,31% e 141,87% (Figura 8).

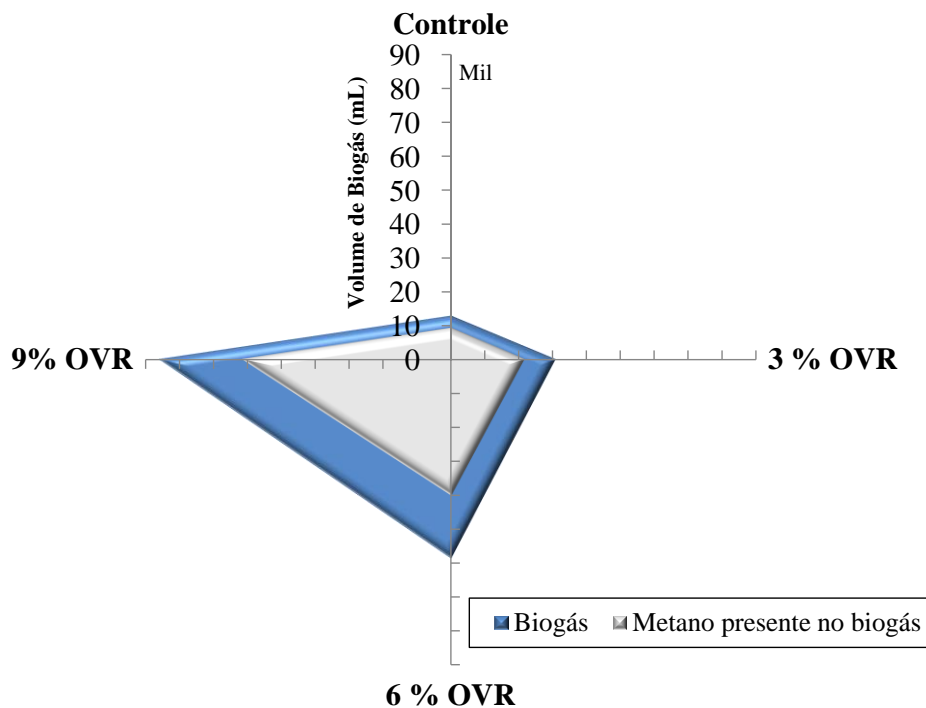


Figura 8. Geração de biogás acumulado nos tratamentos Controle, 3%, 6% e 9% de OVR.

Observou-se que a inclusão de OVR estimulou a atividade dos microrganismos a ponto de aumentar os seus níveis de tolerância, enquanto que no tratamento Controle pôde-se constatar inibição através do aumento de carbono no sistema ao final do processo. O mesmo comportamento foi observado por Nielsen e Ahring (2006) ao adicionar oleato à mistura de dejetos de bovinos e suínos.

Os resultados obtidos corroboram os resultados de Pastor et. al., (2013) em que a maior concentração de óleo resulta em maior rendimento na geração de biogás. Porém, contradizem o estudo realizado por Rodrigues (2012) ao adicionar óleo e lipase à dejetos de suínos, o qual descreve que menores inclusões resultam em maior potencial de geração de biogás.

Lansing et al. (2010) aplicou percentuais de 2,5%, 5,0% e 10,0% de óleo de cozinha usado a dejetos suínos e obteve melhor rendimento tanto de biogás quando de metano no tratamento com menor percentual, o qual proporcionou concentração de metano de 66,9%, enquanto que nos demais percentuais a relação entre a geração de biogás ocorreu de maneira inversa. A mesma situação não ocorreu neste estudo, pois avaliou-se que maiores percentuais de óleo geraram maior rendimento de biogás, mostrando inclusive a possibilidade de aumentar o percentual de OVR adicionado ao processo.

Os dados obtidos indicam que o OVR é mais facilmente assimilado que a glicerina residual, podendo gerar subprodutos menos tóxicos para os microrganismos, não havendo inibição das fases seguintes do processo, pois a queda de geração de biogás e a concentração de metano contida neste, não é tão brusca quanto nas amostras suplementadas com glicerina.

Em estudo realizado por Konrad et. al (2010), o maior incremento de biogás se deu com 3% de glicerina (v/v), sendo que quantidades maiores geraram acentuado decréscimo no percentual de metano. A adição de 6% de glicerina (v/v) residual também foi testada em dejetos de aves poedeiras por Minho et. al (2012) e constatou-se que há alterações no teor de metano após a inclusão da mesma.

Com isso, faz-se necessário analisar de maneira mais criteriosa o momento exato das suplementações e o comportamento microbiano. E ressalta-se ainda, que os co-substratos podem proporcionar resultados diferentes dependendo do tipo de substrato utilizado.

Na Figura 9, visualiza-se o rendimento de biogás nos tratamentos 3%, 6% e 9% OVR ao final de cada suplementação em relação à geração acumulada de biogás em cada amostra. Cada ponto representa o rendimento de biogás gerado após cada aplicação de OVR. Observa-se que apenas a suplementação com 3% de OVR não apresentou tendência linear crescente.

Os tratamentos 3% OVR ($R^2 = 0,057$) e 6% OVR ($R^2 = 0,173$) apresentaram situações semelhantes ao longo das suplementações, com exceção do período sem aplicação de OVR, apresentando aumento significativo na quarta aplicação com rendimentos de 23,35% e 25,48% na geração de biogás, os maiores durante todo o período de experimentação, sendo que o menor rendimento foi observado na terceira adição com 3,13% e 5,09% de incremento, enquanto que para o tratamento 9% OVR o menor ganho se deu no período em que não houve aplicação de OVR.

Observa-se que a suplementação com 9% OVR apresenta um rendimento mais constante ($R^2 = 0,873$), sendo a última aplicação de OVR a que foi mais expressiva neste

tratamento (19,97%), mostrando uma melhor adaptação dos microrganismos ao OVR suplementado. Situação também comprovada na adição de 6% de OVR, onde visualiza-se um comportamento de melhor rendimento nas duas últimas aplicações.

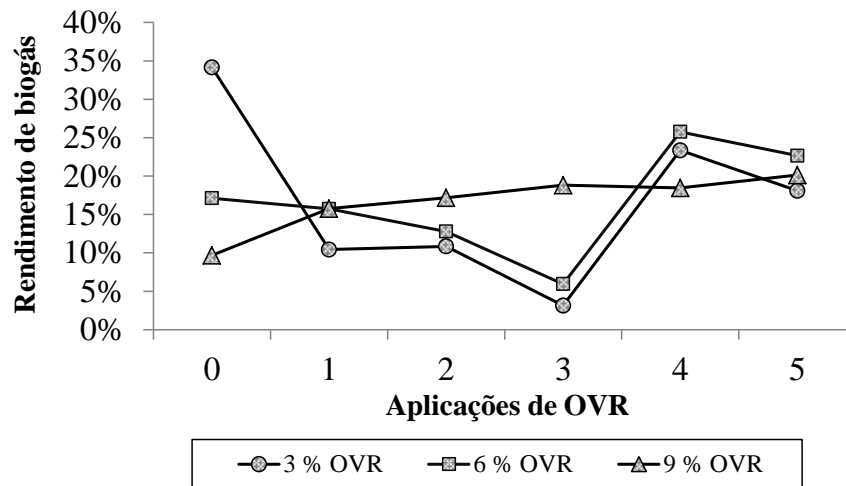


Figura 9. Comparação do rendimento de biogás após as suplementações de OVR em cada tratamento em relação ao biogás total.

Portanto, como já mencionado anteriormente, a maior quantidade de OVR adicionada ao sistema resultou na maior geração de biogás e de maneira mais constante e distribuída.

Análise estatística

Obteve-se forte correlação positiva entre a geração de biogás e de metano em todos os tratamentos (Tabela 3), sendo que a amostra que recebeu a dopagem de 6 % de OVR apresentou correlação superior ao tratamento 3% e 9%.

Tabela 3. Correlação de Pearson (r) entre o volume de biogás e de metano dos tratamentos Controle, 3%, 6% e 9% de OVR.

Tratamento	r	p
Controle	0,993	0,001
3 % OVR	0,987	0,001
6 % OVR	0,996	0,001
9 % OVR	0,981	0,001

Correlação de Pearson, diferença significativa ($p < 0,05$).

Na Tabela 4, visualiza-se que a apenas a adição de 3 % OVR não apresentou ganhos na geração de biogás em relação à amostra Controle. Entre os tratamentos 6% e 9% de OVR, a diferença na geração de biogás não foi comprovada estatisticamente, embora se observa que ocorre aumento gradativo em função do aumento do percentual de OVR aplicado.

Tabela 4. Análise de variância da geração de biogás dos grupos Controle, 3%, 6% e 9% de OVR através do teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tratamento	Média	Resultado
Controle	12957.640	a1
3 % OVR	30835.375	a1
6 % OVR	57911.930	a2
9 % OVR	81227.480	a2

Na coluna “Resultado”, letras seguidos pelo mesmo número não diferem entre si.

Média harmônica do número de repetições (r): 2

Erro padrão: 3446,50202513209

C.V (%): 10,66

n: 8

Conclusões

- O rendimento obtido na geração de biogás confirma a eficácia da aplicação de OVR em lodos de estação de tratamento de efluentes, principalmente com a suplementação de 9% (v/v);
- Deve ser ajustado o período entre as adições para que diminua o tempo de retenção hidráulica do reator, otimizando a produção de biogás para fins energéticos;
- Testar OVR com maior nível de saturação e mais tempo de exposição à fritura, pois a alteração destes comportamentos pode influenciar na concentração de sais e outras substâncias tóxicas aos microrganismos;
- Avaliar o percentual limite de OVR a ser adicionado ao substrato. Sugere-se testar percentuais acima de 9% (v/v).

Referências

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA. **Standard Methods for Examination of Water and Wastewater**. 22 edition. Washington, 2005.
- AMON, T.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; BODIROZA, V.; PÖTSCH, E.; ZOLLITSCH, W. **Optimising methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy system and glycerine supplementation**. International Congress Series, v. 1293, p. 217-220, 2006.
- AOAC. **Association of Official Analytical Chemistry. Official methods of analysis**. 6. ed. Arlington: AOAC International, 1995.
- ARAÚJO, A.J.; BARCELOS, J.L.P.; ALVARENGA, R.F.L.F. **Biodiesel: uma fonte possível de óleo vegetal usado. Bolsista de Valor**: Revista de divulgação do Projeto Universidade Petrobras e IF Fluminense, v.1, p.59-63, 2010.
- BACKES, M. G. **Avaliação do processo de digestão anaeróbia na geração de energia a partir de dejetos suínos e bovinos de leite com suplementação de glicerina residual bruta oriunda da produção de biodiesel**. Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Ambiente e Desenvolvimento, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2011.
- BARBOSA, N. G., PASQUALETTO, A. **Aproveitamento do óleo residual de fritura na produção de biodiesel**. (Departamento de Engenharia Ambiental). Universidade Católica de Goiás, 2007. Disponível em: <<http://professor.ucg.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/7074/material/APROVEITAMENTO%20DE%20C3%93LEO%20RESIDUAL%20DE%20FRITURA%20NA%20PRODU%20C3%87%20C3%83O%20DE%20BIODIESEL.pdf>>. Acesso em: maio de 2013.
- BILLEK, G. Heated fats in the diet. **The role of fats in human nutrition**. Chichester, Ellis Horwood, 1985. p. 163-71
- CASSINI, T. S. (Coord). **Digestão de resíduos sólidos orgânicos e aproveitamento do biogás**. Rio de Janeiro: ABES, 2003.
- CHRISTOFF, P. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial**. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Tecnologias). Departamento de Tecnologias Energéticas. Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2006.
- COSTA NETO, P.R.; FREITAS, R.J.S. **Boletim Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**. Curitiba. 1996.

- DABDOUB, M.J., **Biodiesel em casa e nas Escolas: Programa coleta de óleos de fritura**, 2006.
- DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources**. Ed. Wiley-VCH, 2008.
- DORS, G. **Hidrólise enzimática e biodigestão de efluentes da indústria de produtos avícolas**. 2006. 101p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Departamento de Engenharia Química e de Alimentos/Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- ECÓLEO. **Associação Brasileira para Sensibilização, Coleta e Reciclagem de Resíduos de Óleo Comestível**. Disponível em <<http://www.ecoleo.org.br/reciclagem.html>>. Acesso em: maio de 2013.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física 2**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- HARRIS J. M.; ROACH B. **Environmental and Natural Resource Economics: A Contemporary Approach**, Tufts University, Medford , MA, USA, 2013.
- KONRAD, O.; HEBERLE, A.N.A.; CASARIL, C.E.; KAUFMANN, G.V.; LUMI, M.; DALL'OGGIO, M.; SCHMITZ, M. **Avaliação da produção de biogás e geração de metano a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes e glicerina residual**. Revista Destaques Acadêmicos, v.2, n.4, 2010.
- LANSING, S.; MARTIN, J.F.; BOTERO, R.B.; SILVA, T.N.DA; SILVA, E.D.DA. **Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease**. Bioresource Technology, 101, 4362-4370, 2010.
- LANTZ, M.; SVENSSON, M.; BJÖRNSSON, L.; BÖRJESSON, P. **The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden: Incentives, barriers and potentials**. Energy Policy, 35, p. 1830-1843, 2006.
- LUNA, M. L. D.; LEITE, V.D.L.; LOPES, W.S.; SILVA, S.A.; SILVA, J.V.N. **Tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos para pequenas comunidades**. Agropecuária Técnica (UFPB), v.29, p.21-34, 2008.
- M.H. GERARDI. **The microbiology of anaerobic digesters**. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2003
- MINHO, C.C.V.; KONRAD, O.; KOCH, F.F.; KLEINSCHMITT, A.R.B.; CASARIL, C.E.; LUMI, M. **Uso da glicerina residual na geração de biogás a partir de lodo de estação de**

tratamento de efluentes e dejetos de aves poedeiras. Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia, v.9, n.3, 2012.

NIELSEN, H.B.; AHRING, B.K. **Responses of the biogas process to pulses of oleate in reactors treating mixture of cattle and pig manure.** Biotechnol. Bioeng., v. 95, pp. 96–105, 2006.

NIELSEN, S. **Sludge treatment reed bed facilities – organic load and operation problems.** Water Science & Technology, v.63, issue 5, p. 941. 2011

PASTOR, L.; RUIZ, L.; PASCUAL, A.; RUIZ, B. **Co-digestion of used oils and urban landfill leachates with sewage sludge and the effect on the biogas production.** Applied Energy. V. 107, p. 438-445, Elsevier, 2013.

PEREIRA, M.A. ; CAVALEIRO, A.J.; MOTA, M.; ALVES, M.M. **Accumulation of long chain fatty acids onto anaerobic sludge under steady state and shock loading conditions: effect on acetogenic and methanogenic activity.** Water Science and Technology, 48 (6), pp. 33–40, 2003.

PROINFA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.** Disponível em:http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/tecnologias_contempladas.html>. Acesso em: 28 abr. 2013.

RAO, M. S.; SINGH, S. P. **Bioenergy conversion studies of organic fraction of MSW: kinetic studies and gas yield–organic loading relationships for process optimization.** Bioresource Technology, v. 95, n. 2,p. 173-185, 2004.

ROBRA, S. **Uso da glicerina bruta em biodigestão anaeróbica: Aspectos tecnológicos, ambientais e ecológicos.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Santa Cruz, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente. Ilhéus, 2006.

RODRIGUES, J.P. **Efeito da adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos.** Dissertação (Mestrado). Curso de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2011.

SALOMON, K. R.; LORA, E. E. S. **Estimate of the electric energy generating potential for different sources of biogas in Brazil.** Biomass and Bioenergy, n. 33, p. 1101-1107, 2009.

SCHMITZ, M.; STÜLP, S.; HEBERLE, A. N. A.; LUMI, M.; KONRAD, O. Avaliação da produção de biogás a partir de lodo de estação de tratamento de efluentes e glicerina residual. In: VI Jornada de Iniciação Científica - Meio Ambiente. Fundação Zobotânica do Rio Grande

do Sul/Fundação Estadual de Proteção Ambiental, n. 6, 2010, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre, 2010.

SGORLON, J.G.; RIZK, M.C.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C.R.G. **Avaliação da DQO e da relação C/N obtidas no tratamento anaeróbio de resíduos fruti-hortícolas.** Acta Scientiarum Technology. Maringá, v.33, n.4, p. 421-424, 2011