

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Campus de Jaboticabal

**CO-DIGESTÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS E ÓLEO
VEGETAL DE DESCARTE: ADIÇÃO DE MICRORGANISMOS
E LIPASES COMERCIAIS**

Natália da Silva Sunada

Médica Veterinária

2015

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

Campus de Jaboticabal

**CO-DIGESTÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS E ÓLEO
VEGETAL DE DESCARTE: ADIÇÃO DE MICRORGANISMOS
E LIPASES COMERCIAIS**

Natália da Silva Sunada

Orientador: Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior

Co-orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Campus de Jaboticabal, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

2015

S957c Sunada, Natália da Silva
Co-digestão dos dejetos de suínos e óleo vegetal de descarte : adição de
microorganismos e lipases comerciais / Natália da Silva Sunada. --
Jaboticabal, 2015
viii, 58 f. : il.; 28 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Jorge de Lucas Junior
Banca examinadora: Adhemar Pitelli Milani, Mara Cristina Pessoa da
Cruz, Mônica Sarolli Silva de Mendonça Costa, Maria Fernanda Ferreira
Menegucci Praes.
Bibliografia

1. Biogás. 2. Lipídeo. 3. Metano. I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 661.9:636.4

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: CO-DIGESTÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS E ÓLEO VEGETAL DE DESCARTE:
ADIÇÃO DE MICRORGANISMOS E LIPASES COMERCIAIS

AUTORA: NATÁLIA DA SILVA SUNADA

ORIENTADOR: Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR

CO-ORIENTADOR: Prof. Dr. ANA CAROLINA AMORIM ORRICO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTOR EM ZOOTECNIA , pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dr. ADHEMAR PITELLI MILANI

Departamento de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dra. MARA CRISTINA PESSOA DA CRUZ

Departamento de Solos e Adubos / Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal


Prof. Dra. MONICA SAROLLI SILVA MENDONÇA COSTA

Universidade Estadual do Oeste do Paraná / Cascavel/PR


Prof. Dra. MARIA FERNANDA FERREIRA MENEGUCCI PRAES

Universidade Federal da Grande Dourados / Dourados/MS

Data da realização: 20 de janeiro de 2015.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Natália da Silva Sunada - filha de Dalva Aparecida da Silva Sunada e Jiro Sunada, nasceu em 20 de março de 1987 na cidade de Três Lagoas, estado de Mato Grosso do Sul. Graduiu-se no ano de 2008 no curso de Medicina Veterinária pela Universidade Católica Dom Bosco em Campo Grande, estado de Mato Grosso do Sul. Ingressou no ano de 2009 no Programa de Pós - Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, área de concentração Produção Animal, obtendo o título de mestre no ano de 2011. Em Agosto de 2011, iniciou o curso de Doutorado pelo Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Campus de Jaboticabal.

EPÍGRAFE

“Três certezaas

De Tudo ficaram três coisas:

A certezaa

De que ele estava sempre começando,

A certezaa

De que era preciso continuar e

A certezaa

De que seria interrompido

Antes de terminar.

Fazer da interrupção um caminho novo.

Fazer da queda um passo de dança,

Do medo uma escada,

Do sonho uma ponte,

Da procura um encontro”.

(Fernando Sabino – Trecho de O Encontro Marcado)

DEDICATÓRIAS

Dedico esta tese

Primeiramente a Deus, por toda a saúde e perseverança que tem me proporcionado.

À minha família, pelo apoio incondicional,

força, incentivo, paciência e pelos momentos compartilhados.

Sem eles nada disto seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Jiro Sunada “*in memoriam*” e Dalva Aparecida da Silva, por todo o apoio e amor proporcionados para que eu pudesse chegar até aqui. Em especial a minha mãe, pela dedicação, conselhos, incentivo, lições de vida, atenção e paciência demonstrados em todos os momentos.

Ao Prof. Dr. Jorge de Lucas Júnior, meu Orientador, por todos os conhecimentos transmitidos.

À Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico, minha Co-orientadora, pela amizade, incentivo, sábias sugestões e ensinamentos sempre presentes.

As minhas irmãs, Caroline e Mariane, que sempre me apoiaram e ajudaram. Vocês são além de irmãs, minhas melhores amigas.

Aos amigos Alice, Débora, Walter, Franciely, Carla, Stanley e Silvana, na coleta e condução do experimento.

Ao Amigo Marco Antonio por toda atenção, paciência e ajuda.

À amiga Andrea Fernanda, obrigada pela paciência e convivência.

À Universidade Federal da Grande Dourados pelo auxílio em parte do trabalho.

À Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo – Fapesp, pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro ao projeto de pesquisa número 2012/12710-0.

À todas as pessoas que de alguma forma me ajudaram neste período,

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	iii
ABSTRACT	iv
LISTA DE ABREVIATURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
1.1. Introdução	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo Geral.....	2
1.2.2. Objetivos Específicos.....	3
1.3. Revisão de Literatura	3
1.3.1. Cenário Brasileiro	3
1.3.2. Biodigestão Anaeróbia.....	4
1.3.3. Fatores que podem influenciar a biodigestão anaeróbia	4
1.3.4. Óleo de Soja	6
1.3.5. Biogás.....	6
1.3.6. Co-digestão Anaeróbia	6
1.3.7. Tratamentos complementares para potencializar a degradação de substratos com alto teor lipídico	8
1.4. Referências Bibliográficas	9
CAPÍTULO 2 – CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS E NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO DE DESCARTE	12
Resumo	12
Abstract.....	12
1. Introdução.....	13
2. Material e Métodos	14
3. Resultados e Discussão	18
4. Conclusão.....	22

5. Agradecimentos.....	23
6. Referências.....	23
CAPÍTULO 3 – ADIÇÃO DE ENZIMA LIPOLÍTICA NA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS E NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO VEGETAL RESIDUAL.....	30
Resumo	25
Abstract.....	25
1. Introdução.....	26
2. Material e Métodos	28
3. Resultados e Discussão	30
4. Conclusão.....	32
5. Agradecimentos.....	33
6. Referências.....	33
CAPÍTULO 4 – CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS, NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO DE DESCARTE E MICRORGANISMOS LIPOLÍTICOS – REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL.....	41
Resumo	41
Abstract.....	41
1. Introdução.....	42
2. Metodologia	45
3. Resultados e Discussões.....	47
4. Conclusões.....	50
5. Agradecimentos.....	50
6. Referências Bibliográficas	51
CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	53
APÊNDICES.....	55

CO-DIGESTÃO DOS DEJETOS DE SUÍNOS E ÓLEO VEGETAL DE DESCARTE: ADIÇÃO DE MICRORGANISMOS E LIPASES COMERCIAIS

RESUMO - Objetivou-se com a execução deste trabalho o estudo a respeito dos níveis recomendados de inclusão de óleo de descarte aos dejetos de suínos bem como a influencia da inclusão de níveis de lipase ou Biol[®], com o intuito de avaliar o efeito do acréscimo de produção de biogás, metano e redução dos teores de sólidos. Foram realizadas duas etapas, sendo a primeira a respeito dos níveis recomendados de adição de óleo e a segunda utilizando os níveis de óleo que apresentaram efeito negativo adicionados à lipase ou Biol[®]. Para desenvolvimento do ensaio de co-digestão da primeira etapa foram preparados substratos contendo 4% de sólidos totais (ST), compostos por dejetos de suínos, óleo de descarte (nas proporções de 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12%) além de água para diluição destes resíduos e inóculo, para abastecimento de biodigestores batelada. Para desenvolvimento da segunda etapa foi realizado abastecimento de biodigestores batelada com substratos contendo 4% de ST, compostos por dejetos de suínos, óleo de descarte (nas proporções de 8, 10 e 12%), lipase (nas proporções de 0,05; 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25%) ou Biol[®] (10 g/m³ ou 15 g/m³) além de água para diluição destes resíduos e inóculo. Com relação a influencia da adição de níveis de óleo verificou-se que as máximas reduções de ST e SV foram de 36,8 e 41,1% e ocorreram nos níveis de 5,2 e 5,8% de óleo aos substratos, as inclusões de 5,4 e 6,1% de óleo permitiram o alcance de potenciais de 222,9 e 263,6 litros de biogás por kg de ST e SV adicionados. Referindo-se a influencia da adição de níveis de óleo e lipase verificou-se que as reduções máximas de ST e SV foram de 56,13 e 64,49% e ocorreram nos níveis de inclusão 0,15 e 0,13% de lipase e 12% de óleo adicionado aos substratos e ainda que os maiores potenciais de produção de metano por g de ST e sólidos voláteis (SV) adicionados (0,23 e 0,29 litros) foram alcançados pela maior inclusão de óleo (12%) quando foi adicionados os níveis de 0,12 e 0,11% de lipase. A respeito da inclusão de Biol[®], verificou-se que aos maiores potenciais de produção de metano por g ST e SV adicionados (0,22 e 0,27 litros, respectivamente) foram alcançados por biodigestores contendo inclusões de 10% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol[®]. Conclui-se que a inclusão de óleo (até 6,1%), enzima lipolítica (em substratos contendo 12% de óleo e até 0,19% de lipase) ou Biol[®] (12% de óleo ou 15 g/m³) na composição de substratos contendo dejetos de suínos melhora os rendimentos de biogás, metano e as reduções dos constituintes poluentes.

Palavras-chaves: biogás, lipídeo, metano, sólidos totais, suinocultura

CO-DIGESTION OF SWINE MANURE AND VEGETABLE OIL DISPOSAL: ADDITION OF MICROORGANISMS AND COMMERCIAL LIPASE

ABSTRACT – The objective of the implementation of this work the study on the recommended levels of disposal of oil addition to swine manure as well as the influence of the inclusion of lipase levels or Biol®, in order to evaluate the effect of increased production of biogas, methane and reduction of solids. Two steps were conducted, the first with respect to recommended levels of oil addition and using the second oil levels that were negative effect on lipase or Biol® added. For assay development co-digestion of the first stage substrates were prepared containing 4% total solids (TS), composed of swine manure disposal of oil (in the ratios of 0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12 %) addition of water for dilution of this waste and inoculum to supply batch digesters. For development of the second stage was performed supply of batch digesters with substrates containing 4% TS, composed of swine manure disposal of oil (in the ratios of 8, 10 and 12%), lipase (in the proportions of 0.05; 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25%) or Biol® (10 g/m³ to 15 g/m³) than water for dilution of these residues and inoculum. Regarding the influence of the oil addition levels found that the maximum TS and VS reductions were 36.8 and 41.1% and occurred at levels of 5.2% oil and 5.8 to substrates, the additions of 5.4 and 6.1% enabled the oil potential range of 222.9 and 263.6 liters of biogas per kg TS and VS added. Referring to influence of adding oil and lipase was found that reductions of TS and VS were 56.13 and 64.49% and were in inclusion levels of 0.15 and 0.13% lipase and 12% of oil added to the substrates and that the greatest potential of methane production per g of TS and volatile solids (VS) added (0.23 and 0.29 liters) were achieved by greater inclusion of oil (12%) was added when the levels of 0.12 and 0.11% lipase. Regarding the inclusion of Biol®, it was found that the higher potential production of methane per g TS and VS added (0.22 and 0.27 liters, respectively) were attained by digesters discard oil containing 10% inclusions and 15 g/m³ Biol®. It was concluded that the inclusion of oil (up 6.1%), lipase enzyme (on substrates containing 12% oil and up to 0.19% of lipase) or Biol® (12% oil or 15 g / m³) in substrate composition containing pig manure improves the biogas yield, methane and reductions in pollutant constituents.

Keywords: biogas, lipid, methane, total solids, swine

LISTA DE ABREVIATURAS

AGV: ácido graxo volátil
CV: coeficiente de variação
FDN: fibra em detergente neutro
DQO: demanda química de oxigênio
NMP: número mais provável
P: probabilidade
R²: coeficiente de correlação
ST: sólidos totais
SV: sólidos voláteis
TRH: tempo de retenção hidráulica

LISTA DE TABELAS

	Página
CAPÍTULO 2 – CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS E NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO DE DESCARTE.....	12
Tabela 1. Teores (em %) de ST e quantidades (em g) de dejetos, inoculo, água e óleo para a composição de um litro de afluente, e teores de ST, SV e N (em %) e DQO (g O ₂ /l afluente) dos afluentes preparados com os dejetos de suínos e doses crescentes óleo de descarte.....	17
Tabela 2. Modelos de regressão, seguidos de R ² , P* (probabilidade) e CV, para DQO, reduções de ST e SV e potenciais de produção de biogás obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de suínos e doses crescentes de óleo de descarte.....	19
CAPÍTULO 3 – ADIÇÃO DE ENZIMA LIPOLÍTICA NA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS E NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO VEGETAL RESIDUAL.....	25
Tabela 1. Teores (em %) de ST e quantidades (em g) de dejetos, inoculo, água e óleo para a composição de um litro de afluente, e teores de ST, SV, DQO (g O ₂ /L afluente) e pH dos afluentes preparados com os dejetos de suíno, doses crescentes óleo de descarte e lipase.....	36
Tabela 2. Modelos de regressão, seguidos de CV (%), P (probabilidade) e R ² para os potenciais de produção de biogás e metano por g ⁻¹ de ST e SV reduzidos, obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de suínos, doses crescentes de óleo de descarte e lipase	38
CAPÍTULO 4 – CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS, NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO DE DESCARTE E MICRORGANISMOS LIPOLÍTICOS – REDUÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL.....	41
Tabela 1. Reduções percentuais de Sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e fibra em detergente neutro (FDN) durante a co-digestão de	

substratos preparados com dejetos de suínos, doses crescentes de óleo de descarte e microrganismos lipolíticos.....	48
Tabela 2. Potenciais de produção de biogás e metano ($L.g^{-1}$) para, Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV) adicionados aos biodigestores abastecidos com substratos preparados com dejetos de suínos, doses crescentes de óleo de descarte e microrganismos lipolíticos.....	49

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 2 – CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS E NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO DE DESCARTE.....	12
Figura 1. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada.....	16
Figura 2. Reduções de ST e SV (%) em substratos preparados com os dejetos de suínos e doses de óleo de descarte.....	19
Figura 3. Potenciais de produção de biogás por quilograma de ST e SV adicionados em substratos preparados com os dejetos de suínos e doses de óleo de descarte	20
CAPÍTULO 3 – ADIÇÃO DE ENZIMA LIPOLÍTICA NA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE SUÍNOS E NÍVEIS DE INCLUSÃO DE ÓLEO VEGETAL RESIDUAL.....	25
Figura 1. Representação esquemática de biodigestor batelada de bancada ...	38
Figura 2. Reduções de ST (%) e SV (%) em substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase	38
Figura 3. Potencial de produção de metano (L de metano. g ⁻¹ de ST adicionado) a partir de substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase.....	39
Figura 4. Potencial de produção de metano (L de metano. g ⁻¹ de SV adicionado) a partir de substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase.....	40

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

1.1. Introdução

A demanda global por alimentos aumentou de forma constante, juntamente com o crescimento mundial da população, resultando em medidas que expandiram as unidades produtoras de animais, bem como se intensificaram seus níveis produtivos, de forma que o desempenho animal melhorou. Os modelos de produção de suínos empregam elevadas densidades de alojamento por área, com o intuito de melhorar a produtividade, no entanto são capazes de concentrar significativas quantidades de resíduos em pequenas áreas, sendo que o manejo inapropriado deste material poderá ocasionar impacto ambiental e diminuição da lucratividade nas unidades produtoras.

Esses resíduos são caracterizados pelas altas concentrações de matéria orgânica e microrganismos que conferem à suinocultura o título de uma das atividades agropecuárias que mais preocupam no que se refere aos impactos causados ao meio ambiente.

Os mesmos podem ser tratados por procedimentos biológicos, como a biodigestão anaeróbia, sendo que um dos principais benefícios deste é a agregação da reciclagem, seja dos nutrientes ou da energia contida nos resíduos, resultando em fonte de renda.

Os rendimentos de biogás podem variar principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor, como também a adição de um substrato que complemente a composição do dejetos, por meio da co-digestão, permitindo assim a melhoria do meio interno dos biodigestores, com maior atividade dos microrganismos e melhores taxas de conversão do material orgânico em biogás.

A inclusão de resíduos com elevado teor lipídico vem sendo utilizada em sistemas de tratamentos de resíduos agroindustriais. Este material pode ser facilmente obtido, pois segundo estimativas da Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais serão produzidos até o final do ano de 2014 no Brasil cerca de 7.100 toneladas de óleos vegetais (ABIOVE, 2014). Esse poderá ser destinado à alimentação ou mesmo na produção de biodiesel. Desta

produção total deve-se ainda considerar que grande quantidade de resíduo será gerado, uma vez que o óleo vegetal é utilizado resultando em diversos tipos de resíduos orgânicos, entre eles o óleo de descarte utilizado em processos de fritura.

A utilização de resíduos lipídicos em sistemas anaeróbios pode resultar em incremento na produção de biogás pela complementação das características dos dejetos, sendo desta maneira denominada co-digestão. Segundo Mata-Alvarez et al. (2014) esta técnica vem sendo explorada devido as características individuais de cada resíduo e ainda a melhoria que ocorre quando em associação, pois a co-digestão anaeróbia de diferentes materiais orgânicos pode melhorar a estabilidade do processo por causa de uma melhor relação carbono e nitrogênio (C/N).

Foram ainda relatados alguns problemas operacionais sobre a utilização de resíduos lipídicos em sistemas anaeróbios, como o entupimento dos biodigestores, dificuldade de solubilidade dos substratos em função da divisão de fases e flotação da biomassa, o que poderia limitar a eficiência no processo (CIRNE et al., 2007). A limitação de sua utilização está ainda relacionada aos baixos teores de nitrogênio, alcalinidade e devido, principalmente, a toxicidade causada pelos ácidos graxos de cadeia longa, que quando adsorvidos na membrana de células microbianas reduzem o transporte de nutrientes (FERREIRA et al., 2012).

Sendo assim, objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar as produções e potenciais de produção de biogás e metano, reduções do número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes e da demanda química de oxigênio durante a co-digestão anaeróbia de dejetos suíno e níveis de óleo de descarte em uma primeira etapa, bem como por meio destas informações utilizar lipases comerciais ou microrganismos lipolíticos nos biodigestores que mostrarem efeito negativo pelas inclusões de óleo, para que possa-se restabelecer o meio interno dos mesmos.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar a co-digestão anaeróbia de dejetos de suíno e níveis crescentes de óleo de descarte. Por meio dos resultados obtidos, adicionar enzima lipolítica – lipase ou microrganismos lipolíticos – Biol-2000® nos substratos em que os níveis de inclusão de óleo de descarte apresentaram resultados negativos.

1.2.2. Objetivos Específicos

Etapa 1: Avaliar a produção do biogás, bem como os potenciais de produção de biogás, redução dos teores de ST (sólidos totais) e SV (sólidos voláteis) e da DQO (demanda química de oxigênio), durante a biodigestão anaeróbia da água residuária de suinocultura, empregando-se níveis crescentes de óleo de descarte (0; 2; 4, 6, 8, 10 e 12% em relação ao teor de ST do dejetos de suíno) no preparo dos substratos, em biodigestores batelada;

Etapa 2: Com base nos resultados obtidos na Etapa 1, selecionar os níveis de adição de óleo onde se verificaram efeito negativo sobre o desempenho do processo de biodigestão anaeróbia e realizar ensaio sequencial utilizando-se biodigestores modelo batelada de bancada, adicionando-se doses crescentes de lipase (0,05; 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25% em relação ao teor de ST do substrato) ou microrganismos lipolíticos, como forma de facilitar a degradação e utilização da fração lipídica. Nestes foram avaliadas as produções de biogás e metano, bem como os seus potenciais de produção, além das reduções dos teores de ST e SV e da DQO.

1.3. Revisão de Literatura

1.3.1. Cenário Brasileiro

A procura por alimentos de origem animal vem aumentando a cada ano em virtude do acelerado desenvolvimento humano. Só o Brasil, segundo levantamento realizado até o momento pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2014), dispõe de uma população de 202.768.562 habitantes e estimasse número de 217.193.093 para o ano de 2024. A extensão territorial e clima favorável são grandes aliados que tornam o país um grande produtor de grãos e forragens e conseqüentemente de criações animais com interesse comercial, mantendo sua produção entre as mais prósperas do planeta.

A suinocultura é uma das atividades mais desenvolvidas no país e vem cada vez mais aumentando sua representatividade no mercado com índices bastante expressivos, segundo levantamento da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2014) o Brasil produziu e exportou 3.370 e 600 mil toneladas em equivalente carcaça de carne suína, respectivamente, em 2013. Estes números levaram o país a 4^o posição dos maiores produtor e exportador mundial.

Estas informações demonstram a grande capacidade produtora do país, e em consequência desta situação uma maior geração de resíduos que por sua vez podem representar um entrave pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e a falta de espaço para dispor adequadamente esse material. A possibilidade de gerar energia com a utilização destes resíduos e consequentemente reduzir a quantidade de material a ser descartado é vantajosa pelo ponto de vista econômico, social e, principalmente, ambiental e este é um tema que ganha cada vez mais destaque com a utilização da biodigestão anaeróbia.

1.3.2. Biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia é uma técnica bastante antiga, mas que ganhou maior destaque no Brasil na década de 70 quando ocorreu a crise do petróleo e se buscou alternativas para a geração energética por meio de fontes renováveis. É caracterizada como um processo biológico natural que ocorre na ausência de oxigênio molecular, neste, vários microrganismos interagem para promover a transformação de compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, resultando como produtos finais o biogás e o biofertilizante (LIANHUA et al., 2010).

Esta técnica de reciclagem energética e de nutrientes vem sendo empregada nas unidades produtoras de animais, principalmente suínos, uma vez que esses são mantidos em sistemas de confinamento, gerando acúmulo de resíduo em uma pequena porção territorial.

1.3.3. Fatores que podem influenciar a biodigestão anaeróbia

A biodigestão anaeróbia pode ser influenciada por fatores que podem determinar uma maior ou menor produção de biogás em função da degradação do material a ser tratado. Fatores como composição do substrato, presença de nutrientes, o teor de sólidos totais, e como consequência destes, a interação entre os microrganismos envolvidos no processo (WARD et al., 2008).

A composição do substrato e conseqüentemente a presença de nutrientes bem como o teor de sólidos totais são fatores que influenciam no processo de biodigestão anaeróbia, pois a disponibilidade de certos nutrientes é essencial para o crescimento e atividade microbiana, ressaltando-se que carbono, nitrogênio e fósforo são essenciais para todos os processos biológicos (FORESTI et al., 1999).

Variações na produção de biogás em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor foram relatadas por Orrico Junior et al. (2009), trabalhando com biodigestores tubulares semicontínuos abastecidos com água residuária de suinocultura (com e sem separação da fração sólida) e manejados com diferentes tempos de retenção hidráulica. Os autores observaram que os substratos que não foram submetidos a separação de sólidos só apresentaram acréscimo na produção de biogás em maiores tempos de degradação do material, sendo 28% de biogás kg^{-1}ST adicionado superior quando TRH passou de 15 para 36 dias, atribuindo esta característica às maiores cargas orgânicas que esses sistemas são submetido.

Já em ensaio realizado por Regueiro et al. (2012), trabalhando com a co-digestão de dejetos de suínos com resíduos de peixe ou biodiesel foi observado que o processo pode sofrer incremento respeitando-se fatores inibitórios como o teor de carga orgânica, produção de ácidos e tempo de retenção hidráulica. Na co-digestão dos dejetos suíno e resíduos de peixe nas taxas de 90:10 e 95:5, respectivamente, e carga orgânica de 1-1,5 g DQO/L dia observou-se produção de biogás de 0,4-0,6 l/l dia e eficiências de remoção de DQO de 65-70% . Ainda encontrou-se produção de biogás de 0,9 l/l dia e redução de DQO de 85%, utilizando resíduo de biodiesel.

Desta maneira, as concentrações de sólidos e composição dos substratos a serem degradados podem influenciar as produções de biogás devido, sobretudo as quantidades de nutrientes e materiais orgânicos disponíveis na solução.

1.3.4. Óleo de soja

O consumo de óleos vegetais tem aumentado no mundo todo, substituindo parte do consumo de gorduras animais. Esse aumento pode ser demonstrado por meio dos números coletados pela ABIOVE (2014), sendo que a capacidade de processamento de oleaginosas instaladas nos estados brasileiros passou de 169.136 toneladas/dia em 2011 para 177.980 toneladas/dia em 2013.

Uma fração muito pequena desse montante é tratada ou reaproveitada, causando sérios problemas. Esse resíduo foi relatado como substrato que contribui significativamente para a produção de metano (ZHANG et al., 2013).

1.3.5. Biogás

O biogás proveniente da degradação da matéria orgânica é composto principalmente de metano e dióxido de carbono com pequenas quantidades de outros gases, podendo ser queimado e convertido em energia (WARD et al., 2008). Esta utilização traz benefícios econômicos devido à redução dos gastos com combustíveis, como também ganhos ambientais por meio da troca de um combustível não renovável por um renovável e ainda a redução da contribuição para o aquecimento global, pela queima dos gases considerados de maior poder de aquecimento (JEONGSIK et al., 2003; WARD et al., 2008).

Os rendimentos de biogás a partir da digestão anaeróbia dos dejetos de suínos podem variar principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor e grau de diluição, como já abordado anteriormente. No entanto, outros fatores também podem exercer influência, como a adição de um substrato que complemente a composição do dejetos (co-digestão), permitindo assim a melhoria de meio interno dos biodigestores, promovendo maior atividade dos microrganismos e melhores taxas de conversão do material orgânico em biogás.

1.3.6. Co-digestão anaeróbia

A digestão conjunta, ou co-digestão dos dejetos originados com a produção animal e resíduos agro-industriais é uma técnica atual, que segundo Mata-Alvarez et al. (2014) vem sendo explorada intensamente devido as características individuais destes resíduos e à melhoria que ocorre quando associados.

A utilização de resíduos lipídicos na co-digestão anaeróbia, com dejetos suínos, é uma forma de tratamento do mesmo, já que é amplamente produzido e de difícil redução. Segundo previsão realizada pela Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais, para o ano de 2014 serão produzidos 7.100 toneladas de óleo (ABIOVE, 2014).

Há relatos das vantagens na utilização de resíduos gordurosos na produção de energia renovável, existe a possibilidade de reciclagem de nutrientes e geração de biogás com elevada concentração de metano por meio da degradação destes substratos (ZHANG et al., 2013).

Estes resíduos possuem elevada carga orgânica com DQO aproximada de 2700g de O₂/l (RODRIGUES et al.; 2014) e pequena solubilidade em água, constituindo desta maneira fator negativo no que se refere ao tratamento do material. Por outro lado, estes quando em quantidades elevadas, em sistemas de tratamentos biológicos, podem formar ácidos graxos de cadeia longa que representariam fator tóxico para os microrganismos envolvidos no processo de degradação anaeróbia (ZHANG et al., 2013).

Gelegenis et al. (2007) relataram esta dificuldade, verificaram que proporções de ácidos graxos de cadeia longa e polifenóis, dificultariam a degradação do material por microrganismos assim como inibiriam certos grupos microbianos. Os mesmos autores ainda ressaltam que as fontes de óleo apresentam baixos conteúdos de nitrogênio, dependendo assim do material com o qual será co-digerido, para que a relação C:N inicial possa estar próxima do ótimo, em torno de 20:1.

Desta maneira, as quantidades de inclusão de resíduos ricos em lipídios em sistemas de tratamentos biológicos devem ser respeitadas ou mesmo formas que possam potencializar a degradação deste material devem ser utilizadas para que não ocorra a falência do processo.

1.3.7. Tratamentos complementares com a utilização de microrganismos e enzimas

A utilização de lipases no tratamento de efluentes com alto teor lipídico é uma alternativa para os métodos tradicionais de tratamento. As lipases são encontradas na natureza em vegetais, animais, microrganismos e ainda, em tecidos de reserva de energia de diversas espécies.

Valladão et al. (2007) promoveram a biodigestão anaeróbia de efluente de abatedouro avícola com crescentes níveis de inclusão de lipase (0; 0,1; 0,5 e 1,0% do volume) na carga inicial e observaram que a eficiência de remoção de DQO aumentou de 53 para 85%, quando se promoveu a adição de enzima no nível de 0,1%, em comparação com a carga sem adição de enzima; nesta mesma condição os autores ainda observaram que a produção de biogás saltou de 37 para 175 ml, em 4 dias de avaliação. Os autores ainda relataram produções médias de metano da ordem de 1,4 e 1,6 L/g de DQO reduzida, para os tratamentos com adição de 0,5 e 1,0% de lipase, respectivamente.

A utilização de microrganismos produtores de enzimas lipolíticas para o tratamento destes resíduos vem sendo estudada há algum tempo pela indústria alimentícia, sobretudo com o intuito de se obter melhorias nas etapas de higienização da linha de produção e consequente resposta com o aumento dos rendimentos. Segundo Rosa (2008) a obtenção de enzimas lipolíticas pode ser por fermentação em meio sólido ou por fermentação submersa. A fermentação em meio sólido consiste basicamente na ação de fungos sobre a matéria orgânica disponível, em condições aeróbias e de baixa umidade. Já a fermentação submersa, corresponde à técnica de degradação de materiais na presença de líquidos, com nutrientes solúveis (PINHEIRO, 2006), ou seja, na ausência de oxigênio, possuindo maior correspondência para o tratamento de resíduos anaeróbios.

Tratando-se da condução destes mecanismos de pré-tratamento em sistemas anaeróbios, torna-se pouco viável a utilização de fungos, uma vez que estes são aeróbios e teriam sua atividade inibida sob condições de ausência de oxigênio. Sendo assim o consórcio de bactérias no tratamento de efluentes ricos em lipídios caracteriza uma prática que pode ser empregada em sistemas anaeróbios. Em estudo realizado por Mongkoltharuk e Dharmstithi

(2002) comprovou-se a melhoria da biodegradabilidade em reatores anaeróbios mantidos com resíduos ricos em lipídeos, resultando em eficientes reduções de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e dos conteúdos lipídicos ao inocularem no meio *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Acinetobacter*.

Reforçando esta informação Wakelin e Forster (1997) investigaram o tratamento de resíduos oriundos de restaurantes fast-food para a remoção de gorduras, óleos e graxas, verificando-se que *Acinetobacter* foi a cultura, dentre as puras avaliadas, mais eficiente para a remoção de gordura, atingindo redução de 60-65%, com concentração inicial de 8g cultura/L de substrato.

Já em trabalho realizado por Dharmsthiti e Kuhasuntisuk (1998), avaliando a eficiência da inclusão de aproximadamente 10^7 UFC (unidades formadoras de colônia)/ml de *Pseudomonas* em efluentes oriundos de restaurantes foi observado uma redução de 94,1% da DBO e a remoção total do teor de lipídios (aproximadamente 200 mg/l) dentro dos primeiros 5 dias.

Conforme verificado pelos autores descritos a inclusão de microrganismos produtores de enzimas lipolíticas ou mesmo a utilização da enzima propriamente dita traz benefícios ao processo de biodigestão anaeróbia de resíduos com elevado teor lipídico, removendo os constituintes orgânicos que seriam degradados com maior dificuldade e resultando desta maneira na possibilidade de maior produção de biogás.

1.4. Referências bibliográficas

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE ÓLEOS VEGETAIS (ABIOVE). **Estatística Mensal do Complexo Soja - Maio de 2014**. São Paulo, SP, 2014.

DHARMSTHITI, S.; KUHASUNTISUK, B. Lipase from *Pseudomonas aeruginosa* LP602: biochemical properties and application for wastewater treatment. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. v.21, p. 75–80. 1998.

DHARMSTHITI,S; KUHASUNTISUK, B. Lipase from *Pseudomonas aeruginosa* LP602: biochemical properties and application for wastewater treatment. ***Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology***, 21, p. 75–80, 1998.

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**, v. 116, p. 285-289, 2012.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; VAN HAANDEL, A.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do tratamento anaeróbio. In: CAMPOS, J. R. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999. Cap. 2, p. 29-52.

GELEGENIS, J.; GEORGAKAKIS, D.; ANGELIDAKI, I.; CHRISTOPOLOU, N.; GOUMENAKI, M. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure. **Applied Energy**. n. 88, p.646-663, Elsevier: 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Projeção da população**. Rio de Janeiro, RJ, 2014. 96p. Disponível em: < www.ibge.gov.br/ >. Acessado em: 25/04/14.

JEONGSIK, K.; CHULHWAN, P.; TAK-HYUN, K; MYUNGGU, L.; SANGYONG, K.; EUNG-WOOK, K.; JINWON, L.. Effects of Various Pretreatments for Enhanced Anaerobic Digestion with Waste Activated Sludge. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 95, No.3, p.271 – 275, 2003.

LIANHUA, L.; DONG, L.; YONGMING, S.; LONGLONG, M.; ZHENHONG, Y.; XIAOYING. Effect of temperature and solid concentration on anaerobic digestion of rice straw in South China. **International Journal of Hydrogen Energy**, v.35, p. 7261-7266, 2010.

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**, v. 36, p. 412-27, 2014.

MONGKOLTHANARUK, W.; DHARMSTHITI, S. Biodegradation of lipid-rich wastewater by a mixed bacterial consortium International. **Biodeterioration & Biodegradation** , 50, p. 101 – 105, 2002.

ORRICO JUNIOR, M.A.P.; ORRICO, A.C.A.; LUCAS JUNIOR, J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. **Eng. Agríc.**, v.29, n.3, p.474-482, 2010.

PINHEIRO, T. L. F. **Produção de lípases por fermentação em estado sólido e fermentação submersa utilizando *Penicillium verrucosum* como microrganismo**. Erichim - RS. 2006, 120p. Dissertação de Mestrado.

REGUEIRO, L.; CARBALLA, M.; ÁLVAREZ, J.A.; LEMA, J.M. Enhanced methane production from pig manure anaerobic digestion using fish and biodiesel wastes as co-substrates. **Bioresource Technology**, 123, p. 507–513, 2012.

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**, v.44, n.3, p.544-547, 2014.

ROSA, D. R. **Avaliação da dinâmica populacional e desempenho de sistemas de tratamento anaeróbio de efluentes com alto teor de gordura submetidos à pré-tratamento enzimático em biorreatores de biomassa suspensa, granular e imobilizada**. Rio de Janeiro:UFRJ. 2008. 160p. Tese Doutorado.

UNIÃO BRASILEIRA DE BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatório Anual 2014**. São Paulo, SP, 2014. 55p. Disponível em: < <http://www.ubabef.com.br/> >. Acessado em: 24/07/14.

VALLADÃO, A.B.G.; FREIRE, D.M.G.; CAMMAROTA, M.C. Enzymatic prehydrolysis applied to the anaerobic treatment of effluents from poultry slaughterhouses. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 60, p. 219-225, 2007.

WAKELIN, N.G.; FORSTER, C.F. An investigation into microbial removal of fats, oils and greases. **Bioresource Technology**, 59, p.37-43, 1997.

WARD, A.J.; HOBBS, P.J.; HOLLIMAN, P.J.; JONES, D.L. Review: Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. **Bioresource Technology**, no. 99, p. 7928–7940, 2008.

ZHANG,C.; XIAO, G.; PENG, L.; SU, H.; TAN, T. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. **Bioresource Technology**,129, p. 170-176, 2013.

CAPÍTULO 2 – Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos e níveis de inclusão de óleo de descarte

RESUMO: A co-digestão dos dejetos de suínos e resíduos lipídicos vem sendo amplamente explorada, com melhorias na degradação dos substratos em digestão e conseqüentemente dos rendimentos de biogás. Assim, foram avaliados os desempenhos de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos e crescentes níveis de óleo de descarte, por meio das produções e potenciais de produção de biogás, reduções dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e da demanda química de oxigênio (DQO). Para desenvolvimento do ensaio de co-digestão foram preparados substratos contendo 4% de ST, compostos por dejetos de suínos, óleo de descarte (nas proporções de 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12% de óleo em relação aos teores de ST do substrato), água para diluição destes resíduos e inóculo durante 90 dias, para abastecimento de biodigestores batelada. As máximas reduções de ST e SV foram de 36,8 e 41,1% e ocorreram nos níveis de 5,2 e 5,8% de óleo aos substratos. As inclusões de 5,4 e 6,1% de óleo permitiram o alcance de potenciais de 222,9 e 263,6 litros de biogás por kg de ST e SV adicionados, que foram superiores em 10,8 e 5,5% aos rendimentos observados para a dose contendo 0% de óleo. A inclusão de óleo na composição de substratos contendo dejetos de suínos nas doses entre 5 e 6% melhora os rendimentos de biogás.

Palavras-chaves: biodigestor, suinocultura, sólidos totais, sólidos voláteis

Anaerobic co-digestion of swine manure and increasing levels of discarded oil

ABSTRACT: Swine manure and lipid residue co-digestion has been widely explored with improvements in substrate degradation, digestion and consequently biogas yield. Thus, we evaluated performance of digesters supplied with swine manure and increasing discarded oil levels, by means of potential of biogas production, and reductions of total solid content (TS), volatile solids (VS) and chemical oxygen demand (COD). To develop co-digestion tests, we prepared substrates with 4% TS, composed by swine manure, discarded oil (with 0, 2, 4, 6, 8, 10 and 12% oil in TS substrate), water for dilution of residues and inoculums during 90 days, to supply batch-digesters. Maximum TS and VS reductions were 36.8 and 41.1% and occurred at 5.2 and 5.8% oil in substrate. Inclusions of 5.4 and 6.1% oil allowed a potential production range of 222.9 and 263.6 liters of biogas per TS and VS kilogram, which were superior in 10.8 and

5.5 to the observed yields for initial dose of 0% oil. Oil included into substrate with swine manure at doses between 5 and 6% have improved biogas yield.

Keywords: digester, swine industry, total solids, volatile solids

1. Introdução

A biodigestão anaeróbia é uma técnica amplamente empregada para o tratamento e reciclagem dos dejetos de suínos, responsável pela estabilização da matéria orgânica e formação de metano e dióxido de carbono como componentes principais do biogás. Os rendimentos de biogás a partir da digestão anaeróbia destes dejetos podem variar principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor e grau de diluição, no entanto, outros fatores também podem contribuir para oscilações nestes rendimentos, como a adição de um substrato que complemente a composição do dejetos (HIDALGO e MARTIN-MARROQUÍN, 2014).

A digestão conjunta, ou co-digestão dos dejetos originados com a produção animal e resíduos agro-industriais é uma técnica atual, que segundo Mata-Alvarez et al. (2014) vem sendo explorada intensamente devido as características individuais destes resíduos e à melhoria que ocorre quando em associação. Neste estudo os autores atribuem as limitações dos dejetos a sua baixa carga orgânica e elevados teores de N amoniacal, sobretudo para os de origem suína, enquanto ressaltam como fatores limitantes para os resíduos lipídicos a elevada taxa orgânica, que dependendo da sua biodegradabilidade será capaz de gerar grandes quantidades de ácidos graxos em um curto período de degradação, além de baixos teores de N. Entre os benefícios da co-digestão dos dejetos suínos e resíduos lipídico, segundo os autores, ainda poderiam ser ressaltados a adequação do poder tampão e ajuste das concentrações de N amoniacal, que seria a suficiente para atender o crescimento microbiano sem comprometer a formação de biogás (CHENXI et al., 2011).

Os rendimentos de biogás a partir dos dejetos de suínos, quando digeridos isoladamente, podem alcançar produções de até 684 litros de biogás por kg de sólido volátil (SV) adicionado, em um período de retenção igual a 30 dias, conforme dados de Orrico Junior et al. (2010). A produção de biogás pode ser incrementada quando o óleo passa a fazer parte da composição dos

substratos, como verificado em trabalho realizado por Pastor et al. (2013) utilizando lixiviado de aterro sanitário em co-digestão a óleo de descarte. Os autores verificaram aumento no potencial de produção de biogás (716 litros de biogás por kg de SV adicionado), em biodigestores mantidos com tempo de retenção igual a 30 dias e considerando-se a adição de óleo de descarte de 0,5% da matéria fresca.

Apesar dos efeitos benéficos da co-digestão dos dejetos de suínos e óleo sobre as produções de biogás, alguns problemas operacionais foram mencionados por Cirne et al. (2007), como o entupimento dos digestores, dificuldade de solubilidade dos substratos e flotação da biomassa, o que poderia limitar a eficiência no processo de digestão. As condições do meio em digestão também poderão se apresentar insatisfatórias pelo acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa, que serão originados a partir da hidrólise dos lipídeos (LANSING, 2010). Assim, quanto maiores os níveis de lipídeos associados aos substratos, maiores as concentrações de ácidos graxos de cadeia longa, que podem exceder os níveis assimiláveis pelos microrganismos no meio em digestão e assim desenvolver um ambiente tóxico e limitante para a geração de biogás.

Este trabalho foi conduzido com o objetivo de se avaliar o desempenho de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos e crescentes níveis de óleo de descarte na composição de substratos, por meio das produções e potenciais de produção de biogás, reduções dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e da demanda química de oxigênio (DQO).

2. Material e métodos

O trabalho foi realizado no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural utilizando-se os dejetos gerados no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista/Unesp – Câmpus de Jaboticabal, cujas coordenadas geográficas são: 21°14'05" S; 48°17'09" W e altitude média de 613,68 m.

Os dejetos de suínos foram coletados no Setor de Suinocultura da Universidade, adotando-se como procedimento de coleta a limpeza da baia dos animais no dia anterior e a retirada das fezes e urina excretadas pelos animais até o dia seguinte, procedendo-se a raspagem do piso, sem a adição de água. Os animais estavam em fase de terminação e alimentados por dietas formuladas para atender às exigências da fase. O óleo foi obtido por doação, em pastelaria comercial, já em condições de descarte (após diversas frituras).

Para o abastecimento dos biodigestores os substratos foram preparados com os dejetos de suínos, óleo de descarte (nas proporções de 0, 2, 4, 6, 8, 10 e 12% de óleo em relação aos teores de ST do substrato), água para diluição destes resíduos e inóculo, na concentração inicial de 4% de ST. O inóculo foi preparado com os dejetos de suínos e água para diluição, na concentração inicial de 4% de ST e sendo considerado pronto a partir de aproximadamente 90 dias de fermentação, quando atingiu concentração máxima de metano.

Para o desenvolvimento da co-digestão foram utilizados 28 biodigestores modelo batelada de bancada, que ficaram alojados em galpão com cobertura e paredes de alvenaria, protegidos do sol e das chuvas.

Os biodigestores modelo batelada (Figura 1) utilizados neste trabalho foram constituídos, basicamente, por três cilindros retos de PVC com diâmetros de 150, 200 e 250 mm, e altura de 300 mm comprimento acoplados sobre uma placa de PVC com 25 mm de espessura e podem ser caracterizados como biodigestores de bancada, com capacidade média para 4,5 litros de substrato em fermentação, cada. Os cilindros de 150 e 250 mm encontram-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 comporta um volume de água (“selo de água”), atingindo profundidade de 500 mm. O cilindro de volume intermediário tem uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para a descarga do biogás, e está emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido.

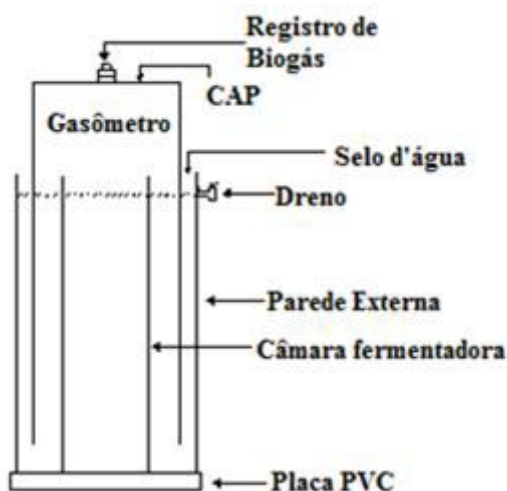


Figura 1. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada.

Nos afluentes e efluentes foram determinadas as concentrações de ST, SV e DQO pela metodologia descrita por APHA (2005). No afluente as concentrações de N amoniacal foram determinadas segundo metodologia de Silva e Queiroz (2006) e o NMP de coliformes totais e termotolerantes pela metodologia descrita por APHA (2005).

No dia do abastecimento dos biodigestores, o dejetto apresentou a seguinte composição: 28,9% de ST, dos quais 78,3% eram voláteis e a DQO igual a 680g de O_2 /kg de dejetto. O inóculo continha 1,44% de ST, sendo 67,4% voláteis e a DQO de 293g de O_2 /l. Já o óleo de descarte apresentou 98% de ST e DQO igual a 2000g de O_2 /l de óleo. Os números mais prováveis de coliformes totais e termotolerantes foram de $3,48 \times 10^8$ por cada 100 gramas de dejetto, e ainda, não foram detectados coliformes no inóculo. A composição dos materiais, assim como os teores de ST contidos em cada um dos componentes está apresentada na Tabela 1. Ainda nesta constam os resultados que se referem à composição dos substratos submetidos à co-digestão anaeróbia. Estes resultados refletem a composição semelhante dos substratos em teores de ST e SV, assim como de pH e DQO e serão utilizados para os cálculos de reduções obtidas durante o processo, assim como para os potenciais de produção de biogás.

Tabela 1. Teores (em %) de ST e quantidades (em g) de dejetto, inóculo, água e óleo para a composição de um litro de afluente, e teores de ST, SV e N (em %) e DQO (g O₂/l afluente) dos afluentes preparados com os dejetos de suínos e doses crescentes óleo de descarte.

Variáveis	Tratamentos Experimentais (% de óleo dos ST)						
	0	2	4	6	8	10	12
	Teores de ST%						
Dejeto	28,90	28,90	28,90	28,90	28,90	28,90	28,90
Inóculo	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44	1,44
Óleo	98,00	98,00	98,00	98,00	98,00	98,00	98,00
Afluente	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
	Quantidade (g) para composição de um litro de afluente						
Inóculo	416,67	416,67	416,67	416,67	416,67	416,67	416,67
Óleo	0,00	0,82	1,63	2,45	3,27	4,08	4,90
Dejeto	117,65	114,88	112,11	109,34	106,57	103,81	101,04
Água	465,69	467,64	469,59	471,54	473,49	475,45	477,40
	Composição dos substratos experimentais						
ST (%)	3,84	3,36	3,28	3,33	4,45	3,91	4,30
SV (%)	3,06	2,68	2,63	2,67	3,33	2,87	3,25
pH	7,07	7,09	7,05	7,10	7,11	7,08	7,03
N amoniacal (% dos ST)	0,82	0,57	0,43	0,56	0,65	0,73	0,69
DQO (g O ₂ /L afluente)	202,10	202,40	202,70	203,00	203,40	203,70	204,00

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros (Figura 1), e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. Foi efetuada a correção do volume para as condições de 1 atm e 20°C segundo Caetano (1985). Foram mensuradas as produções de biogás, sendo posteriormente realizados os cálculos dos potenciais de produção, dividindo-se os valores de produção pelas quantidades de litro de substrato, DQO, ST e SV adicionadas e reduzidas nos biodigestores.

Como delineamento utilizou-se o inteiramente casualizado, composto por 7 tratamentos (níveis de óleo de descarte) 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 SAEG versão 9.1.

3. Resultados e discussão

Os valores de DQO nos afluentes diferiram (Tabela 2) e foram crescentes conforme se adicionou óleo de descarte na composição dos substratos. Este comportamento já estava previsto, pois como a inclusão do óleo foi feita em substituição aos ST adicionados pelo dejetto, restringiu-se a quantidade de dejetto adicionado em função do aumento do nível de óleo, que apresentou valor de DQO superior (2700g de O₂/l de óleo) ao verificado no dejetto (680 g de O₂/kg de dejetto). Não foi observado efeito da inclusão de óleo sobre as reduções de DQO durante a co-digestão (Tabela 2).

Pelo comportamento das reduções de ST e SV (Figura 2) observadas durante a co-digestão dos substratos é possível verificar que os resultados se elevaram até as doses de 5 a 6% de inclusão de óleo aos substratos e a partir destes níveis ocorreram quedas nos valores de redução. As reduções máximas ocorreram com as inclusões de 5,19 e 5,76% de óleo, considerando-se ST e SV, respectivamente. Estes valores indicam que a partir destes níveis provavelmente ocorreram condições de acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa no meio em digestão, limitando assim a degradação do material orgânico, e conseqüentemente a redução destes constituintes conforme verificado por Lansing (2010).

Tabela 2. Modelos de regressão, seguidos de R^2 , P^* (probabilidade) e CV, para DQO, reduções de ST e SV e potenciais de produção de biogás obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de suínos e doses crescentes de óleo de descarte.

Parâmetro avaliado	Modelo de Regressão	R^2	P	CV
DQO (g de O_2/l) no afluente	$y = 0,1609x + 202,28$	0,9539	< 0,0001	0,5
Redução de DQO (%)	$y = 0,00857x^2 - 0,100x + 96,78$	0,0283	0,1868	0,5
Redução de ST (%)	$y = -0,2265x^2 + 2,3551x + 30,674$	0,5649	< 0,0001	9,9
Redução de SV (%)	$y = -0,2016x^2 + 2,3226x + 34,37$	0,4657	< 0,0001	8,4
L de biogás por kg de ST adicionado	$y = -1,0491x^2 + 11,419x + 191,86$	0,4444	< 0,0001	7,5
L de biogás por kg de SV adicionado	$y = -1,2636x^2 + 15,378x + 237,98$	0,3819	0,0005	7,5
L de biogás por kg de DQO adicionada	$y = -0,0002x^2 + 0,0028x + 0,0328$	0,4132	0,0002	7,9
L de biogás por kg de DQO reduzida	$y = -0,0002x^2 + 0,0029x + 0,0339$	0,4321	0,0002	7,9

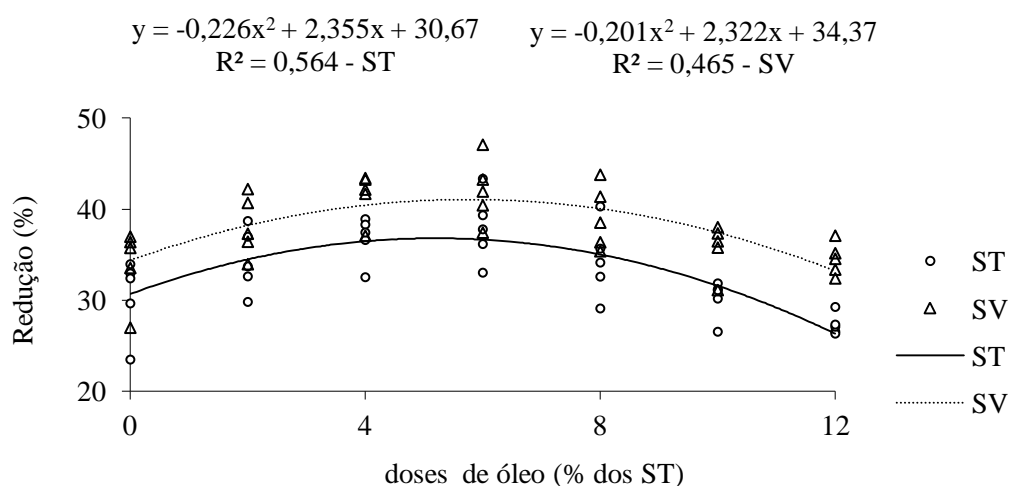


Figura 2. Reduções de ST e SV (%) em substratos preparados com os dejetos de suínos e doses de óleo de descarte.

Observou-se que nas reduções de ST, para o nível ideal de inclusão de óleo de descarte (5,19%) os valores foram 6,71; 18,10 e 25,87% superiores quando confrontados às reduções dos níveis 8, 10 e 12% de óleo, respectivamente. Já para as reduções de SV, a superioridade do nível ideal (5,76%), em relação às inclusões de 8, 10 e 12% de óleo foi de 4,88; 13,00 e

16,00%, respectivamente. Os valores de reduções dos constituintes ST e SV (36,81 e 41,08%) nos níveis ideais de inclusão de óleo superaram resultados de alguns trabalhos contendo resíduos lipídicos em co-digestão com dejetos, como na pesquisa de Luste e Luostarinen (2010), que utilizaram subprodutos da indústria de processamento de carnes em conjunto com dejetos e verificaram reduções de SV de 38%. Conforme destacado por Rodrigues et al. (2014) a redução dos constituintes sólidos, sobretudo os voláteis, está relacionada com as produções de biogás, sendo que na condição de co-digestão contendo resíduos lipídicos nos substratos, estas reduções também podem refletir que não ocorreram condições indesejáveis no meio em digestão, como acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa e queda de pH.

Os resultados dos potenciais de produção de biogás, considerando-se as quantidades de ST, SV e DQO adicionadas, DQO reduzida e substrato em digestão, apresentaram comportamento semelhante ao encontrado para as reduções dos ST e SV, onde os níveis ideais de inclusão de óleo de descarte oscilaram entre 5,44 e 7,25% (Tabela 2 e Figura 3).

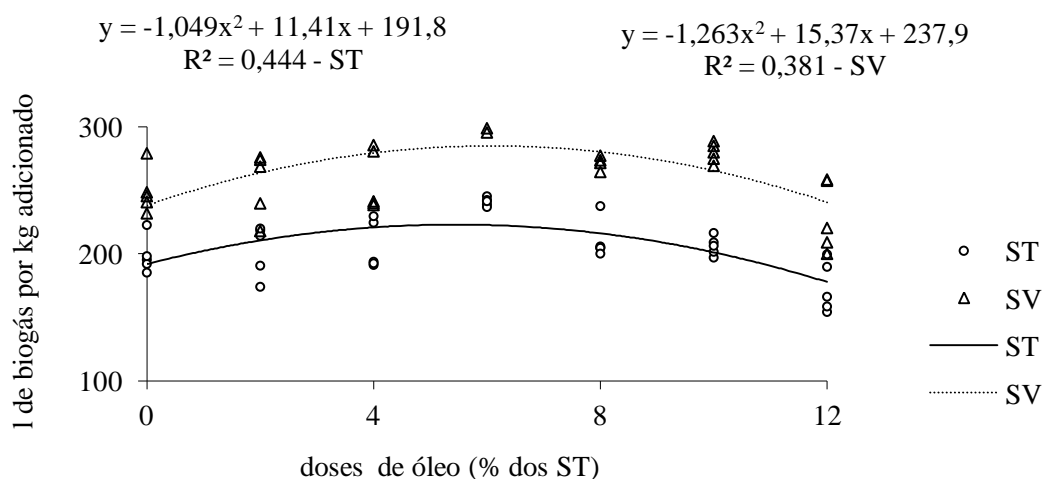


Figura 3. Potenciais de produção de biogás por quilograma de ST e SV adicionados em substratos preparados com os dejetos de suínos e doses de óleo de descarte

Por meio dos níveis ideais de inclusão de óleo de descarte (5,44% para ST e 6,08% para SV) foi possível estimar os potenciais de produção de biogás

de 222,93 L/kg ST adicionado e 263,59 L/kg de SV adicionado. Estes valores foram 10,81 e 5,47% superiores aos encontrados nos biodigestores onde não se incluiu óleo de descarte, caracterizando assim a melhoria na digestão dos substratos quando em associação com os dejetos de suínos.

Os resultados obtidos também permitem observar que a inclusão de óleo de descarte aos substratos contendo dejetos de suínos reduziu o rendimento de biogás quando em doses mais elevadas, provavelmente devido aos fatores já considerados anteriormente e que remetem ao acúmulo do ácidos graxos de cadeia longa, com conseqüente acidificação do meio em digestão.

Utilizando a mesma fonte de óleo deste estudo, Pastor et al. (2013) avaliaram a co-digestão de resíduos urbanos (lodo de esgoto) e óleo de descarte coletado de pastelarias e obtiveram potenciais de produção de biogás de até 691 litros por kg de SV adicionado, com a dose de 1,0% de óleo. Os potenciais obtidos por estes autores foram superiores aos gerados neste trabalho, provavelmente devido ao aquecimento dos biodigestores, mantidos com temperaturas entre 35 e 37° C e aos tempos de retenção que variaram entre 10 e 30 dias.

Cabe salientar que para as condições de desenvolvimento deste trabalho, sem aquecimento e utilizando biodigestores batelada, os rendimentos de biogás foram expressivos e refletem uma possibilidade para tratamento e reciclagem de dois resíduos que despertam sérias preocupações de contaminação ambiental, sobretudo pelas doses de inclusão de óleo serem elevadas, quando comparadas aos estudos realizados fora das condições brasileiras. Provavelmente, nestas condições, as doses de inclusão de óleo situadas entre 5 e 7% despontam como as mais promissoras, pois em estudo de co-digestão realizado por Rodrigues et al. (2014) foram preparados substratos contendo os dejetos de suínos e doses de óleo de descarte de pastelarias (de 8 até 20%, com base nos ST), contando ainda com a adição de lipase e utilizando-se biodigestores batelada mantidos em temperatura ambiente. Os autores verificaram potenciais de produção de biogás máximos de 136 e 156 litros por kg de ST e SV adicionados, concluindo que a inclusão de óleo de descarte e enzimas nos níveis avaliados não foram benéficas.

Em trabalho realizado por Lansing et al. (2010), utilizando biodigestores semi-contínuos abastecidos com dejetos de suínos e óleo de cozinha, os

autores consideraram como benéfica a alcalinidade dos dejetos oriundos da produção animal, já que apresentam resistência para a acidificação. Os autores mencionaram também como positiva a adição de até 5% de óleo (em relação ao volume de substrato) em afluentes contendo dejetos de animais, resultando em ganhos de até 100% nas produções de biogás, quando comparados a substratos preparados somente com dejetos.

Os potenciais de produção de biogás por quantidades de DQO adicionadas e reduzidas indicam a dose ideal de inclusão de óleo de 7,0 e 7,3%, gerando nestas condições valores iguais a 43 litros de biogás por kg de DQO adicionada e 44 litros por kg de DQO reduzida. Estes valores são inferiores aos potenciais esperados com base na DQO, que podem variar entre 150 e 500 litros de biogás por quantidade adicionada (MATA-ALVAREZ et al., 2014), quando avaliados substratos contendo dejetos de animais de produção e resíduos lipídicos. É possível que estes potenciais reduzidos sejam em virtude da dificuldade de aplicação da análise de DQO em substratos contendo resíduos lipídicos na composição e assim não reflitam diretamente os rendimentos obtidos nas condições do experimento. Pastor et al. (2013) recomendaram que as análises de DQO não sejam parâmetros de comparação nestes estudos, pois devido a separação de fases da fração lipídica em relação a fração solúvel em água a amostragem poderá não representar o conteúdo em digestão.

Os resultados obtidos com o desenvolvimento deste trabalho permitem o aproveitamento conjunto de resíduos com elevadas cargas orgânicas e ainda, o emprego do óleo de descarte em concentrações acima das mencionadas como ideais por estudo realizados fora do Brasil, principalmente. Sendo assim, a co-digestão dos dejetos de suínos e óleo de descarte foi benéfica por reverter maiores produções de biogás em comparação com a digestão dos dejetos como substrato único.

4. Conclusão

As inclusões de óleo de descarte nas doses entre 5 e 6% dos sólidos totais na composição de substratos em co-digestão com os dejetos de suínos melhora os rendimentos de biogás e as reduções dos constituintes poluentes.

5. Agradecimentos

A Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro ao projeto de pesquisa número 2012/12710-0.

6. Referências

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 2005. 1.368 p.

CAETANO, L. **Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás**. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1985.

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**, 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_e34d6b9c155e8d59c654570cdf2cfd2> 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**, v.32, n.6, p.965-975, 2007. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0960148106000942/1-s2.0-S0960148106000942-main.pdf?_tid=727de8b4-0848-11e4-9a8b-00000aacb35e&acdnat=1405006978_58e0d90c0bd61e6079bd1b28c41010db> Acesso em: 04 jun 2014.

HIDALGO, D.; MARTIN-MARROQUÍN, J. M. Effects of inoculum source and co-digestion strategies on anaerobic digestion of residues generated in the treatment of waste vegetable oils. **Journal of Environmental Management**, v. 142, p. 17-22, 2014. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S0301479714001844/1-s2.0-S0301479714001844-main.pdf?_tid=ff22e6fe-085a-11e4-83da-00000aab0f6c&acdnat=1405014945_1341d8e78592a654105dfe5510e955ce> Acesso em: 07 jul 2014.

LANSING, S.; MARTIN, J. F.; BOTERO, R. B.; SILVA, T. N.; SILVA, E. D. Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease. **Bioresource Technology**, v.101, p.4362-4370, 2010. Disponível em: < http://ac.els-cdn.com/S0960852410001860/1-s2.0-S0960852410001860-main.pdf?_tid=a4192140-0848-11e4-af9f-00000aab0f6c&acdnat=1405007061_8540aeddb89784daa7d2aa39bed7019f > Acesso em: 16 mar 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**, v.101, p. 2657-64, 2010. Disponível em: < http://ac.els-cdn.com/S0960852409014473/1-s2.0-S0960852409014473-main.pdf?_tid=b59844c4-0856-11e4-9b99-00000aacb360&acdnat=1405013103_d146aa79d03b5cf077847fb58a678a15> Acesso em 02 fev 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**, v. 36, p. 412-27, 2014. Disponível em: <http://ac.els-cdn.com/S1364032114002664/1-s2.0-S1364032114002664-main.pdf?_tid=bb76f320-0858-11e4-8012-00000aab0f26&acdnat=1405013972_3b8f0a92c03d91dc8762d3eab63b5141>. Acesso em: 13 mai 2014.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.600-607, jul./ago. 2010.

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. 438-45, 2013. Disponível em: < http://ac.els-cdn.com/S0306261913001736/1-s2.0-S0306261913001736-main.pdf?_tid=54c3aa18-085a-11e4-8012-00000aab0f26&acdnat=1405014659_ea9ba53f803af824e33b2796b396a208> Acesso em: 01 jul 2014.

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**, 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.

CAPÍTULO 3 – Adição de enzima lipolítica na co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos e níveis de inclusão de óleo vegetal residual

RESUMO: Estudos que visem o aproveitamento dos resíduos agroindustriais se tornam muito importante em virtude da alta produção do setor e preservação ambiental. Objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar o desempenho de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos, crescentes níveis de adição de óleo residual e enzima lipolítica, por meio dos potenciais de produção de biogás e metano, bem como, as reduções dos teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV). Foram abastecidos biodigestores batelada com substratos contendo 4% ST, compostos por dejetos de suínos, óleo residual (nas proporções de 8, 10 e 12% dos ST) e enzima lipolítica (nas proporções de 0,05; 0,10; 0,15, 0,20 e 0,25% dos ST de lipase), água e inóculo. As máximas reduções de ST e SV foram de 56,13 e 64,49% e ocorreram nos níveis de inclusão 0,15 e 0,13% de lipase e 12% de óleo. Os maiores potenciais de metano para as quantidades de ST e SV adicionados (0,23 e 0,29L) foram alcançados por inclusões de 12% de óleo e níveis de 0,12 e 0,11% de lipase, sendo estes valores superiores em até 29,7% aos rendimentos observados para a menor inclusão enzimática. A inclusão de 12% de óleo e 0,15% de lipase na composição de substratos contendo dejetos de suínos melhoram os rendimentos de metano e as reduções dos constituintes poluentes.

Palavras-chaves: biodigestão, lipase, lipídeo, metano, suinocultura

Addition of lipolytic enzyme in anaerobic co-digestion of swine manure and inclusion levels of waste vegetable oil

ABSTRACT: Studies that aim the reusing of agro-industrial wastes have become very important due to the high production of this sector and environmental preservation. The objective of this work was to evaluate the performance of digesters loaded with swine manure, increasing inclusion levels of waste oil and lipolytic enzyme, through the potential of biogas and methane production, as well as reductions in levels of total solids (TS) and volatile solids (VS). Batch digesters were loaded with substrates containing 4% TS, composed of pig manure, waste oil (ratios of 8, 10 and 12% in relation to levels of TS in the substrate) and lipolytic enzyme (0.05, 0.10, 0.15, 0.20 and 0.25% in relation to levels of TS in the substrate), water and inoculum. Maximum reduction of TS and VS were 56.13 and 64.49% respectively and occurred in inclusion levels of 0.15 and 0.13% lipase and 12% oil. The greatest potential for methane for the amounts of TS and VS added (0.23 and 0.29L) were achieved by inclusion of 12% oil and levels of 0.12 and 0.11% lipase, and these values were up to

29.7% higher than yields observed for the lowest inclusion level of enzyme. The inclusion of 12% oil and 0.15% lipase in the composition of substrates containing pig manure improves the yields of methane and reductions in pollutant constituents.

Keywords: biodigestion, lipase, lipid, methane, swine farming

1. INTRODUÇÃO

Em consequência a maior produção animal e agroindustrial há a geração de grande quantidade de resíduos, que por sua vez podem representar um entrave pelas elevadas concentrações de matéria orgânica e a falta de espaço para dispor adequadamente esse material. Esta situação é vivenciada pelo Brasil, que dispõe destas características onde a suinocultura é uma das atividades mais desenvolvidas no país com índices bastante expressivos, segundo levantamento da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2014) o Brasil produziu e exportou 3.370 e 600 mil toneladas em equivalente carcaça de carne suína, respectivamente, em 2013. Estes números levaram o país a 4^o posição dos maiores produtor e exportador mundial.

A possibilidade de gerar energia com a utilização destes resíduos e consequentemente reduzir a quantidade de material a serem dispostos no ambiente vem sendo estudada. A biodigestão anaeróbia é uma tecnologia eficiente que pode ser aplicada para o tratamento deste material, tornando o produto final estável e higienizado, e ainda agregando valores pela produção do biogás e biofertilizante (ZHANG et al. 2013).

Os rendimentos de metano a partir da digestão anaeróbia dos dejetos de suínos podem variar principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor (Li et al.; 2011). Segundo Lansing et al. (2010) trabalhando com a co-digestão dos dejetos de suínos com óleo de cozimento proveniente de descarte em cozinha utilizando biodigestores contínuos, verificou-se a produção de 0,29 m³/kg SV/dia com substratos contendo apenas dejetos.

A adição simultânea de dois ou mais substratos, com o objetivo de melhorar a viabilidade econômica do sistema de biodigestão anaeróbia devido à maior produção de metano pela interação destes, por meio do equilíbrio

estabelecido entre os compostos é chamada co-digestão (MATA-ALVAREZ et al., 2014). Gorduras, óleos e graxas têm sido mencionados como substratos que podem aumentar a produção de biogás em 30% ou mais, quando adicionados diretamente em biodigestor anaeróbio (HUNTER LONG et al., 2012).

Segundo ainda Mata-Alvarez et al. (2014) somente 4% dos trabalhos realizados sobre o assunto utilizaram resíduos lipídicos em adição a dejetos, devendo dessa maneira o processo de co-digestão utilizando estes substratos ser melhor estudado.

Segundo o mesmo autor a co-digestão é uma técnica que vem sendo explorada devido as características individuais de cada resíduos e à melhoria que ocorre quando em associação. Neste estudo os autores atribuem as limitações dos dejetos a sua baixa carga orgânica e elevados teores de N amoniacal, e ainda a elevada concentração de ácidos graxos de cadeia longa e baixos teores de N para os resíduos lipídicos. Entre os benefícios da co-digestão dos dejetos suínos e resíduos lipídico, segundo os autores, ainda poderiam ser ressaltados a adequação do poder tampão e ajuste das concentrações de N amoniacal, que seria suficiente para atender o crescimento microbiano sem comprometer a formação de biogás (CHENXI et al., 2011).

Desta maneira a adição de resíduos lipídicos a dejetos animais melhora o processo de biodigestão anaeróbia, porém poucos são os estudos relacionados ao tema.

Lansing et al. (2010) trabalhando com a co-digestão dos dejetos de suínos e óleo de cozimento proveniente de descarte em cozinha avaliaram as adições de 0; 2,5; 5,0 e 10% de óleo em relação ao volume dos biodigestores, verificando os benefícios da associação entre ambos os resíduos, já que a maior inclusão de óleo possibilitou valores de produções de biogás duas vezes superiores ao menor nível de adição, além do incremento de metano nas composições do biogás.

Em contrapartida, elevadas quantidades de lipídios nos substratos podem exercer efeito tóxico aos microrganismos, retardando o processo de degradação do material em digestão. Segundo Mata-Alvarez et al. (2014) proporções de ácidos graxos de cadeia longa e polifenóis, dificultam a

degradação do substrato em fermentação pelos microrganismos, bem como exercem ação inibidora para certos grupos microbianos. Zhang et al. (2013) mencionam ainda que o processo de toxicidade está relacionado à adsorção dos ácidos graxos de cadeia longa (tais como ácido oleico e esteárico) na membrana de células microbianas reduzindo assim o transporte de nutrientes.

Em trabalho realizado por Valladão et al. (2011) utilizando biodigestores abastecidos com efluente de abatedouro avícola acrescido ou não de enzima lipolítica - lipase (1,0% do volume), observou-se a melhoria das produções de metano (0,393 L CH₄/g DQO reduzida).

Desta maneira, a utilização de determinadas doses de inclusão de lipase possibilitaram a degradação de compostos, favorecendo o processo de co-digestão, em contrapartida o excesso pode causar uma produção excessiva de ácido graxos de cadeia longa que se tornariam nocivos aos microrganismos limitando a degradação (MATA-ALVAREZ et al., 2014).

Sendo assim, objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar o desempenho de biodigestores abastecidos com dejetos de suínos e crescentes níveis de óleo residual (8, 10 e 12% em relação aos teores de ST do substrato), na presença de enzima lipolítica (lipase), por meio das produções e potenciais de produção de metano, bem como, as reduções dos teores de sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV).

2. Material e métodos

Os dejetos de suínos foram coletados em Suinocultura na cidade de Jaboticabal – SP/Brasil, adotando-se como procedimento a limpeza da baia dos animais no dia anterior e a retirada das fezes e urina excretadas pelos animais até o dia seguinte, procedendo-se a raspagem do piso, sem a adição de água. Os animais estavam em fase de terminação e alimentados por dietas formuladas para atender às exigências da fase. O óleo foi obtido por doação, em pastelaria comercial, já em condições de descarte (após diversas frituras).

Para o abastecimento dos biodigestores os substratos foram preparados com os dejetos de suínos, óleo residual (nas proporções de 8, 10 e 12% em relação aos teores de ST do substrato), lipase (0,05; 0,10; 0,15; 0,20 e 0,25% em relação aos teores de ST do substrato), água para diluição destes resíduos

e inóculo, na concentração inicial 4% de ST. O inóculo foi considerado pronto a partir de aproximadamente 90 dias de fermentação, quando atingiu concentração máxima de metano.

Para o desenvolvimento da co-digestão foram utilizados 30 biodigestores modelo batelada de bancada, que foram alojados em galpão com cobertura e paredes de alvenaria, protegidos do sol e das chuvas.

Os biodigestores utilizados neste trabalho foram constituídos, basicamente, por 2 cilindros retos de PVC com diâmetros de 150, 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 litros de substrato em fermentação, cada. Os cilindros de diâmetro de 100 e 150 mm encontram-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 comporta um volume de água (“selo de água”). O cilindro de 100 mm de diâmetro tem uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para a descarga do biogás, e está emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido (Figura 1).

Nos afluentes e efluentes foram determinadas as concentrações de ST, SV e NMP de coliformes totais e termotolerantes, pela metodologia descrita por APHA (2005).

No dia do abastecimento dos biodigestores, o dejetto apresentou a seguinte composição: 28,9% de ST, dos quais 78,3% eram voláteis. O inóculo continha 2,77% de ST, sendo 67,4% voláteis. Já o óleo de descarte apresentou 98% de ST. Os números mais prováveis de coliformes totais e termotolerantes foram de 15×10^{15} por cada 100 gramas de dejetto, e ainda, não foram detectados coliformes no inóculo.

A composição dos substratos, assim como os teores de ST contidos em cada um dos componentes está apresentada na Tabela 1. Ainda nesta constam os resultados que se referem à composição dos substratos submetidos à co-digestão anaeróbia. Estes resultados refletem a composição semelhante dos substratos em teores de ST e SV, assim como de pH e serão utilizados para os cálculos de reduções obtidas durante o processo, assim como para os potenciais de produção de metano.

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros, e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. Foi efetuada a correção do volume para as condições de 1 atm e 20°C. Foram mensuradas as produções de biogás, sendo posteriormente realizados os cálculos dos potenciais de produção, dividindo-se os valores de produção pelas quantidades de ST e SV adicionadas e reduzidas nos biodigestores.

Para análise da composição do biogás foi utilizado o analisador de gases GA - 21 Plus, da Madur Electronics, equipado com sensores para determinação das quantidades de CO, CO₂ e CH₄. Os potenciais de produção de metano foram calculados por meio das produções de metano, dividindo-se os valores de produção pelas quantidades de ST e SV adicionada e reduzida nos biodigestores.

Para avaliar os resultados obtidos, adotou-se um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 3 (5 níveis de inclusão de lipase e 3 níveis de inclusão de óleo residual), com duas repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância considerando-se como fonte de variação os níveis de óleo e níveis de lipase. Contrastes ortogonais foram utilizados para avaliar os efeitos de ordem linear, quadrático e cúbico dos níveis de óleo e níveis de lipase, sendo as análises realizadas com o auxílio do pacote computacional R (versão 3.1.0 for Windows).

3. Resultados e discussão

As reduções dos NMP de coliformes totais e termotolerantes não sofreram influência da adição de óleo e/ou lipase aos substratos, os resultados observados permitiram a obtenção de biofertilizantes com valores máximos de $0,91 \times 10^3$ por mL de material, sendo estes resultados superiores aos encontrados por Orrico Junior (2010) trabalhando com a biodigestão anaeróbia de dejetos de suíno com e sem a separação da fração sólida. Este resultado permite afirmar um valor seguro para a utilização deste material, sendo este preconizado em no máximo 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mL de efluente (CONAMA, 2005).

Conforme apresentado graficamente na Figura 2, observou-se que para os valores de redução dos teores de ST, independente dos níveis de inclusão de óleo de descarte, a dose ideal de inclusão de lipase foi 0,15%, sendo os valores superiores a 7,41% quando confrontados às reduções do menor nível de inclusão de lipase (0,05%). Já para as reduções de SV, a superioridade do nível ideal (0,13%), independente do nível de inclusões de óleo foi de 7,27%, quando comparado ao menor nível de inclusão de lipase (0,05%). Os valores de reduções dos constituintes ST e SV (56,13 e 64,49%) nos níveis ideais de inclusão de lipase foram superiores a resultados de trabalhos realizados contendo alto teor lipídico, como na pesquisa de Luste e Luostarinen (2010), que utilizaram subprodutos da indústria de processamento de carnes em conjunto com dejetos e verificaram reduções de SV de 38%. Em pesquisa realizada por Pastor et al. (2013) utilizando óleo de descarte em co-digestão à resíduos de aterro sanitário, foram observadas reduções de SV de $41 \pm 5,5\%$, o que refletem a melhoria da taxa de degradação do material orgânico em virtude da inclusão de lipase como um agente lipolítico que auxilia no processo principalmente pela presença de óleo nos substratos.

Analisando os potenciais de produção de metano (Figura 3), o gás de maior interesse, verificou-se um acréscimo da produção por quantidade de ST adicionado, sendo que as inclusões de enzima que demonstraram o maior incremento para os níveis de inclusão de 8, 10 e 12% de óleo residual foram: 0,13; 0,14 e 0,12% de lipase, respectivamente. Para o parâmetro SV (Figura 4) as inclusões de enzima mais favoráveis foram de: 0,12; 0,13 e 0,11% de lipase para os níveis de inclusão 8, 10 e 12% de óleo residual, respectivamente.

Esperava-se este comportamento semelhante entre os dois constituintes sólido, pois SV é parte integrante dos ST, e esses ainda melhor traduzem o comportamento dos biodigestores, pois a matéria integrante destes constituintes é correspondente a fração degradada pelos microrganismos, revertendo em produções de biogás e conseqüentemente metano.

Dessa maneira, a maior produção de metano (0,29 L por grama de SV adicionada) poderia ser atingida se adicionado ao sistema de co-digestão 0,11% de lipase e o nível de óleo fosse de 12%, gerando assim produções de metano 73% maiores que na condição de inclusão de enzima de 0,05% neste mesmo nível de óleo.

Os comportamentos dos potenciais de produção de metano representados nas Figuras 2 e 3 permitem interpretar um possível efeito tóxico dos ácidos graxos de cadeia longa de doses de lipase em média de 0,15%, atribuídos às quedas nos potenciais de produção. Segundo Pastor et al. (2013) este comportamento pode ser explicado pela adsorção dos ácidos graxos de cadeia longa na membrana da célula microbiana, o que irá interferir na transferência de massa, e conseqüentemente afetar a metanogênese.

Analisando os resultados de potenciais de produção de metano pelas quantidades de ST e SV reduzidas (Tabela 2), verificou-se comportamento semelhante aos observados pelas reduções destes constituintes durante a co-digestão, sendo que até o nível de inclusão de 0,15% de lipase ocorreram maiores valores potenciais de produção de metano em consequência as melhores condições propiciadas pela degradação do material lipídico presente no meio.

Observou-se que os valores ideais de inclusão de lipase foram atingidos entre os valores de 0,13 e 0,15% para a produção de metano por kg de ST reduzido e 0,14% para a produção por kg de SV reduzido. Estes valores indicam que a inclusão de enzima lipase favoreceu a degradação dos constituintes presentes no substrato, possivelmente em maior proporção os lipídicos, resultando em maior concentração de nutrientes no meio e provavelmente favorecendo a ação dos microrganismos.

Rodrigues et al. (2014) em pesquisa realizada com o objetivo de avaliar as reduções e potenciais de produção de biogás e metano utilizando co-digestão de dejetos de suíno, níveis crescentes de inclusão de óleo e ainda níveis crescentes de inclusão de lipase observaram que a redução dos constituintes sólidos, sobretudo os voláteis, está relacionada com as produções de biogás e conseqüentemente metano.

Desta maneira onde a condição de co-digestão contendo resíduos lipídicos nos substratos foram favorecidas pelas inclusões de níveis de lipase houveram maiores produções de biogás e metano, caracterizando que não ocorreram condições indesejáveis no meio em digestão, como acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa.

4. Conclusão

As inclusões de enzima lipase no nível de até 0,15% (em relação aos teores de ST do substrato) na composição de substratos em co-digestão com níveis de até 12% de óleo (em relação aos teores de ST do substrato) e dejetos de suínos melhora os rendimentos de metano e as reduções dos constituintes poluentes.

5. Agradecimentos

A Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro ao projeto de pesquisa número 2012/12710-0.

6. Referências bibliográficas

ABPA (2014). União Brasileira de Proteína Animal. **Relatório Anual 2014**. São Paulo, SP, 2014. 55p.

APHA (2005). American Public Health Association. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 2005. 1.368 p.

CONAMA (2005). Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Brasília, DF, 2005. 58-63p.

Hunter Long, J.; Aziz, T.N.; Reyes Iii, F. L.; Ducoste, J.J. (2012). Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. **Process Safety and Environmental Protection**, 9: 231-245.

Lansing, S.; Martin, J. F.; Botero, R. B.; Silva, T. N.; Silva, E. D. (2010). Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease. **Bioresource Technology**, 101: 4362-4370.

Li, C.; Champagne, P., Anderson, B.C. (2011). Evaluating and modeling biogas production from municipal fat, oil, and grease and synthetic kitchen waste in anaerobic co-digestions. **Bioresource Technology**, 102: 9471-9480.

Luste, S.; Luostarinen, S. (2010). Anaerobic co-digestion of meat-processing by-products and sewage sludge –Effect of hygienization and organic loading rate. **Bioresource Technology**, 101: 2657-2664.

Mata-Alvarez, J., Dosta, J.; Romero-Güiza, M.S.; Fonoll, X.; Peces, M.; Astals, S. (2014). A critical review on anaerobic co-digestion achievements between 2010 and 2013. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, 36: 412-427.

Orrico Júnior, M.A.P.; Orrico A.C.A.; Lucas Júnior, J. (2010) Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, 30 (4): 600-607.

Pastor, L.; Ruiz, L.; Pascual, A.; Ruiz, B. (2013). Co-digestion of used oils and urban landfill leachates with sewage sludge and the effect on the biogas production. **Applied Energy**, 107: 438-445.

Rodrigues, J.P; Orrico, A.C.A; Orrico Junior, 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**, 44 (3): 544-547.

Valladão, A.B.G.; Torres, A.G.; Freire, D.M.G.; Cammarota, M.C. (2011). Profiles of fatty acids and triacylglycerols and their influence on the anaerobic biodegradability of effluents from poultry slaughterhouse. **Bioresource Technology**, 102: 7043-7050.

Zhang, C.; Xiao, G.; Peng, L. Su, H.; Tan, T. (2013).The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. **Bioresource Technology**, 129: 170-176.

Tabela 1. Teores (em %) de ST e quantidades (em g) de dejetto, inoculo, água e óleo para a composição de um litro de afluente, e teores de ST, SV, DQO (g O₂/L afluente) e pH dos afluentes preparados com os dejetto de suíno, doses crescentes óleo de descarte e lipase.

Variáveis	Tratamentos Experimentais (% de óleo dos ST)														
	8			10			12								
	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25
Teores de ST%															
Quantidade (g) para composição de um mililitro de afluente															
Inóculo	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217	217
Óleo	3,27	3,27	3,27	3,27	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,08	4,90	4,90	4,90	4,90
Dejeto	131	131	131	131	128	128	128	128	128	128	128	124	124	124	124
Enzima	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10
Água	649	649	649	649	649	651	651	651	651	651	654	654	654	654	654
Composição dos Substratos experimentais															
ST (%)	4,29	4,55	4,27	4,41	4,18	4,48	4,72	4,28	4,38	4,31	4,23	4,29	4,30	4,10	4,27

SV (%)	3,48	3,43	3,43	3,48	3,42	3,52	3,45	3,35	3,48	3,42	3,32	3,30	3,37	3,27	3,25
pH	7,36	7,41	7,40	7,37	7,35	7,33	7,30	7,32	7,37	7,31	7,27	7,26	7,27	7,31	7,24
DQO (g O2/L afluente)	94,80	94,76	94,72	94,68	94,65	95,46	95,42	95,38	95,35	95,31	96,12	96,08	96,05	96,01	95,97

Tabela 2. Modelos de regressão, seguidos de CV (%), P (probabilidade) e R^2 para os potenciais de produção de biogás e metano por g^{-1} de ST e SV reduzidos, obtidos durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de suínos, doses crescentes de óleo de descarte e lipase.

Variáveis	Nível de óleo	Modelo de regressão	CV	P	R^2
I de metano por g de ST reduzido	8	$y = -9,14x^2 + 2,71x + 0,16$		< 0,001	0,67
	10	$y = -4,71x^2 + 1,24x + 0,29$	2,5	< 0,001	0,90
	12	$y = -10,40x^2 + 2,60x + 0,31$		< 0,001	0,98
I de metano por g de SV reduzido	8	$y = -7,53x^2 + 1,94x + 0,27$		< 0,001	0,91
	10	$y = -5,13x^2 + 1,41x + 0,32$	1,4	< 0,001	0,87
	12	$y = -3,96x^2 + 1,12x + 0,41$		< 0,001	0,75

CV: coeficiente de variação; P: probabilidade; R^2 : coeficiente de correlação; ST: sólidos totais; SV: sólidos voláteis.

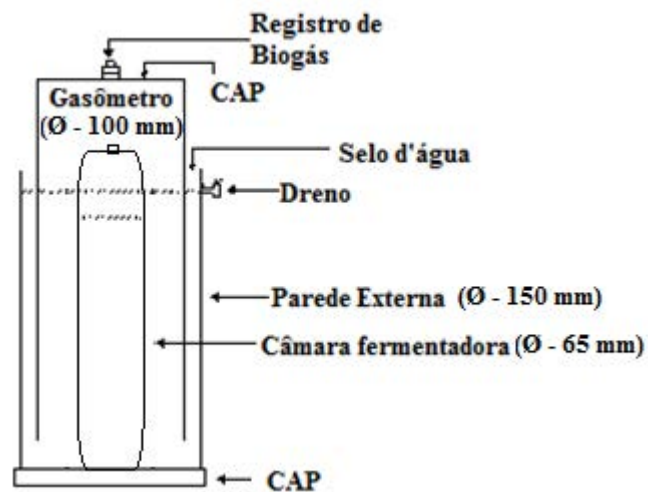


Figura 1. Representação esquemática de biodigestor batelada de bancada.

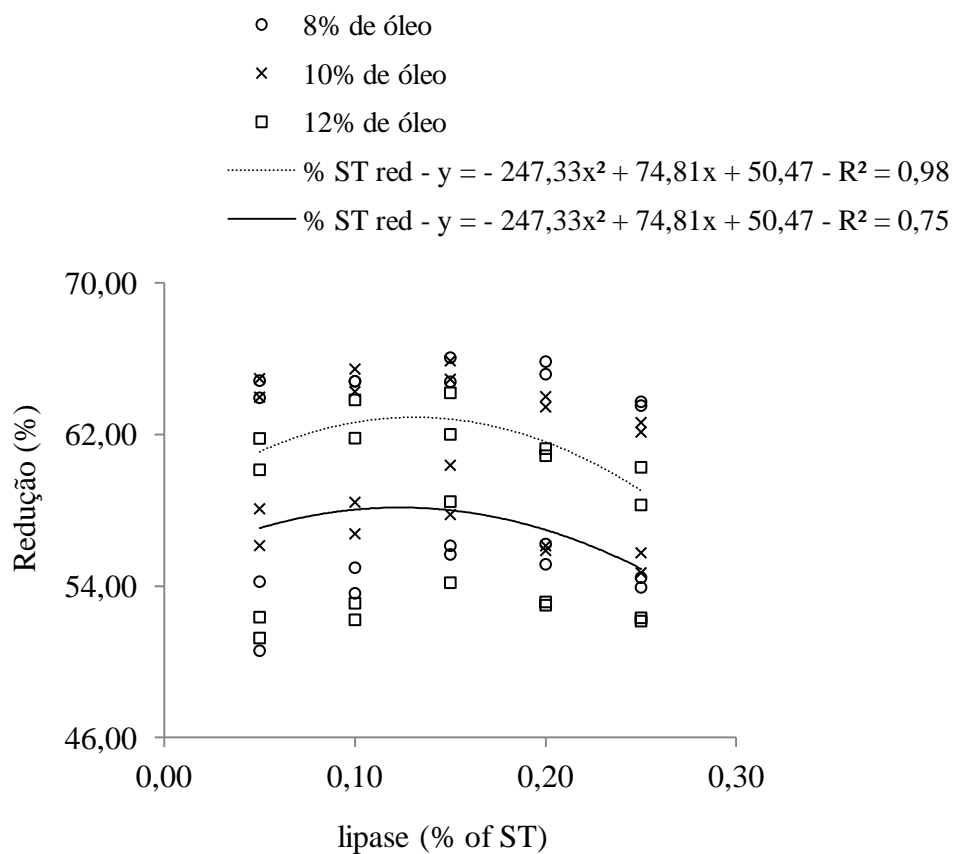


Figura 2. Reduções de ST (%) e SV (%) em substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase.

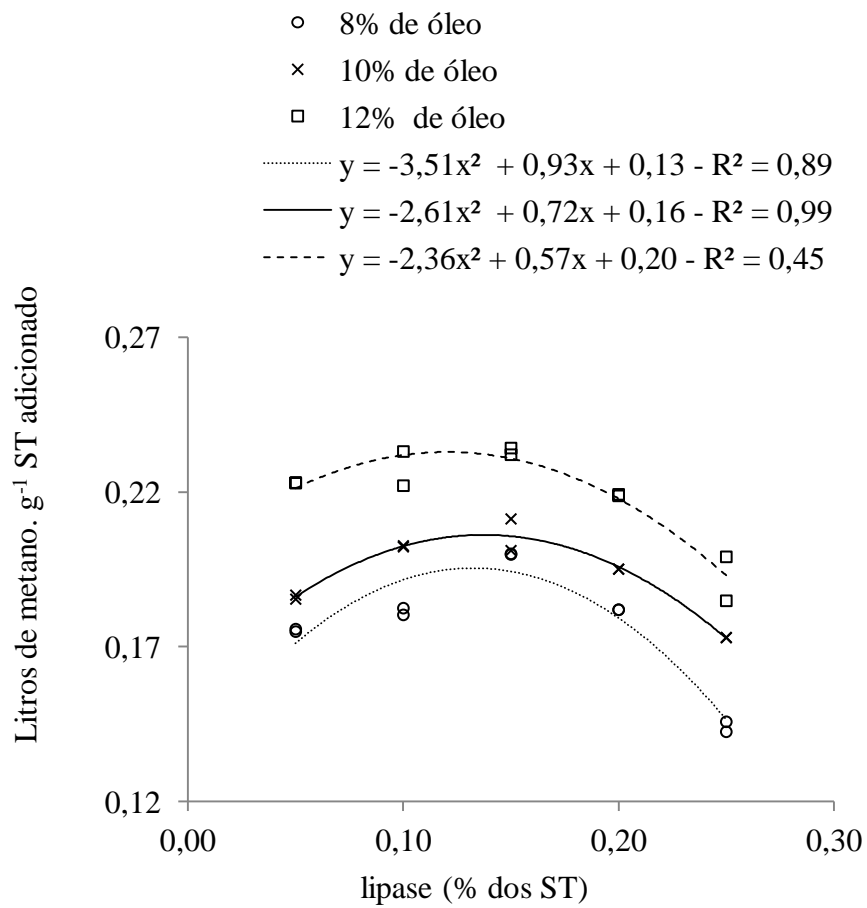


Figura 3. Potencial de produção de metano (L de metano. g⁻¹ de ST adicionado) a partir de substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase.

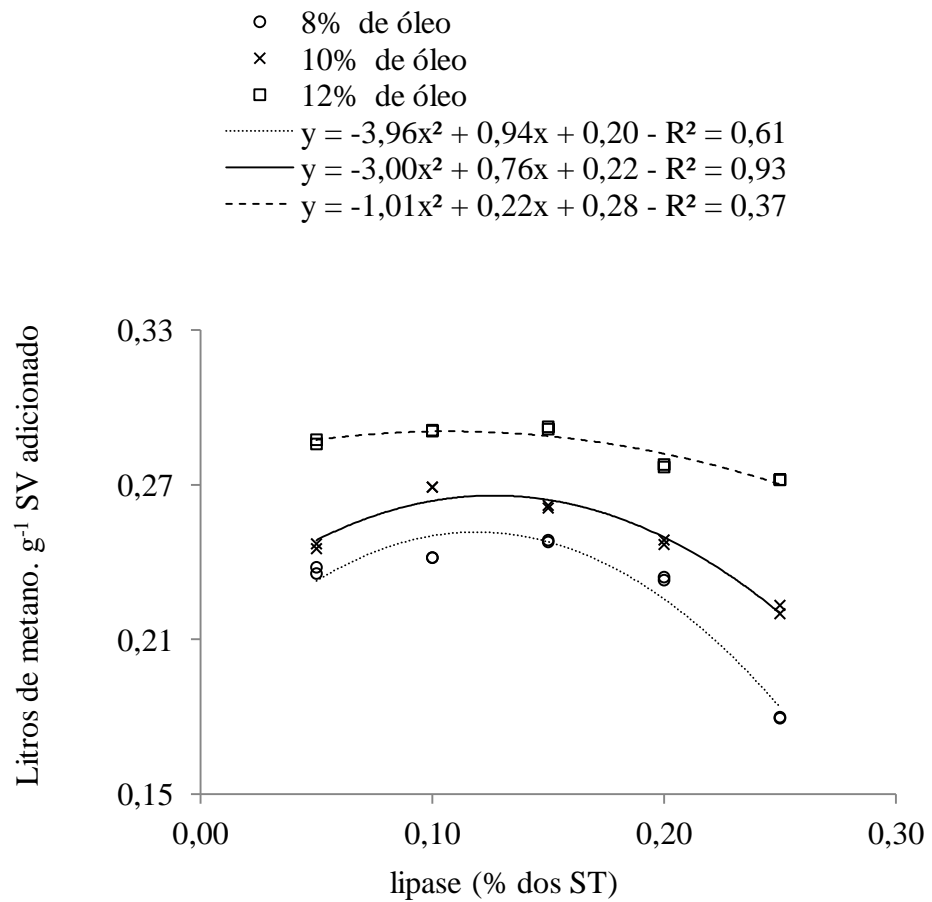


Figura 4. Potencial de produção de metano (L de metano .g⁻¹ de SV adicionado) a partir de substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase.

CAPÍTULO 4 – Co-digestão anaeróbia de dejetos de suínos, níveis de inclusão de óleo de descarte e microrganismos lipolíticos – redução do impacto ambiental

RESUMO: Objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar as produções e potenciais de produção de biogás e metano e ainda as reduções dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), fibra em detergente neutro (FDN), demanda química de oxigênio (DQO) e número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes do processo de co-digestão anaeróbia em biodigestores alimentados com dejetos de suínos acrescidos de óleo de descarte e microrganismos liofilizados. Para desenvolvimento do ensaio foram preparados substratos contendo 4% de ST, compostos por dejetos de suínos, óleo de descarte (nas proporções 8, 10 e 12% de óleo em relação aos teores de ST do substrato), microrganismos liofilizados (Biol® - nas concentrações de 10g/m³ e 15g/m³), água para diluição destes resíduos e inóculo para abastecimento de biodigestores batelada. Não houve diferença significativa com relação às reduções dos constituintes ST, SV e FDN, apresentando reduções bastante significativas, em média de 54,14; 62,79 e 49,16%, respectivamente. Com relação aos potenciais de produção de biogás, as maiores produções ocorreram nos biodigestores abastecidos com 10% de óleo e 15g/m³ de Biol®, sendo 0,43 e 0,54 L de biogás por kg de ST e SV adicionados, respectivamente, resultado semelhante foi encontrado quando avaliado o potencial de produção de metano, sendo os maiores valores obtidos (0,22 e 0,27 L de metano por kg de ST e SV adicionados, respectivamente) obtidos pelo mesmo tratamento. A inclusão de 15g/m³ de Biol® na composição de substratos contendo dejetos de suínos e 12 % de óleo melhora os rendimentos de biogás e metano.

Palavras-chave: biodigestor, Bio-2000®, resíduos agroindustriais, suinocultura

Anaerobic co-digestion of swine manure, levels including oil disposal and lipolytic microorganisms - reducing environmental impact

ABSTRACT: The objective of this work for evaluating the potential of biogas and methane productions and still and reductions in levels of total solids (TS), volatile solids (VS) and neutral detergent fiber (NDF), chemical oxygen demand (COD) and most probable number (MPN) of total and fecal coliforms of the co-digestion anaerobic digestion in digesters fed with swine manure plus disposal of oil and lyophilized microorganisms. For assay development substrates were prepared containing 4% TS, consisting of swine manure, disposal oil (the proportions 8, 10 and 12% oil content in relation to the substrate TS), lyophilized microorganisms (Biol® - concentrations of 10 g/m³ and 15 g/m³), water for dilution of this waste and inoculum for batch digesters supply. There was no significant difference with respect to reductions in TS, VS and NDF constituents, providing very significant reductions in average 54.14; 62.79 and

49.16% respectively. Regarding the potential of biogas production, the highest yields occurred in digesters supplied with 10% oil and 15 g/m³ of Biol®, being 0.43 and 0.54 L of biogas per kg of TS and VS added, respectively, similar results were found when assessed the potential for methane production, with higher values (0.22 and 0.27 L of methane per kg of TS added and VS, respectively) obtained the same treatment. The inclusion of 15 g/m³ in Biol® substrate composition containing swine manure and 12% of oil improves the yields of biogas and methane.

Keywords: digester, Biol-2000®, agro-industrial residues, swine farming

1. Introdução

Com o aumento da população humana foram expandidas as unidades produtoras de animais, bem como se intensificaram seus níveis produtivos, de forma que o desempenho animal melhorou e o tempo de vida pôde ser abreviado. Os modelos de produção de suínos empregam elevadas densidades de alojamento por área, com o intuito de melhorar a produtividade. No entanto são capazes de concentrar elevadas quantidades de resíduos em pequenas áreas, sendo que o manejo inapropriado deste material poderá ocasionar impacto ambiental e diminuição da lucratividade nas unidades produtoras.

A suinocultura é uma das atividades mais desenvolvidas no país e vem cada vez mais aumentando sua representatividade no mercado com índices bastante expressivos. Segundo levantamento da Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA, 2014) o Brasil produziu e exportou 3.370 e 600 mil toneladas em equivalente carcaça de carne suína, respectivamente, em 2013. Estes números levaram o país a 4^o posição dos maiores produtor e exportador mundial. Deve-se ainda considerar que essa grande representatividade da atividade gera consequentemente uma maior produção de dejetos.

Paralelo a estes dados de produção estão os ligados a prejuízos ambientais, a atividade é caracterizada por elevada capacidade poluente dos dejetos gerados, principalmente pelas concentrações de matéria orgânica, coliformes totais e termotolerantes e significativas quantidades de nutrientes, especialmente N e P, que conferem à suinocultura o título de uma das atividades agropecuárias que mais preocupam no que se refere aos impactos causados pelos seus resíduos no meio ambiente.

Os resíduos gerados durante o processo de produção suinícola podem ser tratados por procedimentos biológicos. Dentre as formas biológicas de tratamento, a biodigestão anaeróbia é amplamente empregada, sendo este processo responsável por tornar o produto final estável e higienizado, com o adicional de produção do biogás e biofertilizante (ORRICO JUNIOR et al., 2010; MENARDO et al., 2010). Os principais benefícios dessa forma de tratamento são a diminuição da carga poluidora do material, que poderá ser utilizado como fertilizante com menor risco ao ambiente do que se fosse lançado bruto, e a agregação de valor à atividade, por meio da comercialização de novos produtos (biogás, biofertilizante).

O uso de processos anaeróbios é amplamente aplicado no tratamento de dejetos de suínos, uma vez que microrganismos anaeróbios degradam a matéria orgânica gerando como produto final o biogás e o biofertilizante. Os rendimentos de biogás a partir da digestão anaeróbia destes dejetos podem variar principalmente em função da qualidade do resíduo adicionado ao biodigestor e grau de diluição. Outros fatores também podem contribuir para oscilações nestes rendimentos, como a adição de um substrato que complemente a composição do dejetos (HIDALGO; MARTIN-MARROQUÍN, 2014).

Esta digestão conjunta dos dejetos originados com a produção animal e resíduos que complementem a composição dos substratos permite a melhoria de meio interno dos biodigestores, promovendo maior atividade dos microrganismos e melhores taxas de conversão do material orgânico em biogás, esse processo é conhecido por co-digestão. Nesta concepção, a utilização de resíduos ricos em carbono, como o óleo, tem sido amplamente empregada pela indústria, com resultados positivos sobre a geração do biogás (ZHANG et al., 2013). No entanto a mistura de dois ou mais resíduos para a biodigestão anaeróbia tem sido efetuada com base nas suas disponibilidades e não com conhecimento sobre a composição ótima para junção dos materiais.

O levantamento apresentado por Lansing et al. (2010), a partir de resultados compilados, considerou que os dejetos da produção animal são os melhores substratos para desenvolverem a co-digestão com resíduos contendo alto nível lipídico, em virtude da elevada alcalinidade dos dejetos, que apresentam resistência para a acidificação. Somam-se ainda, segundo os

referidos autores, os elevados conteúdos de amônia dos dejetos, que representam importante condição para o crescimento microbiano. Resultados relatados pelos autores mencionam como benéfica a adição de até 5% do volume dos afluentes empregando-se óleo nas misturas, representando assim ganhos na produção de biogás e metano de até 100%, em relação às produções obtidas por substratos preparados somente com dejetos.

Em contrapartida aos efeitos benéficos gerados por meio da co-digestão dos dejetos de suínos e óleo sobre as produções de biogás, são relatados problemas operacionais como o entupimento dos biodigestores e a dificuldade de solubilidade dos substratos, o que poderia limitar a eficiência no processo de digestão (CIRNE et al., 2007). Além disso existe uma preocupação em relação às condições internas dos biodigestores, onde, pode haver acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa que se tornam tóxicos aos microrganismos (LANSING, 2010).

A utilização de microrganismos produtores de enzimas lipolíticas para o tratamento destes resíduos vem sendo estudada há algum tempo pela indústria alimentícia, sobretudo com o intuito de se obter melhorias nas etapas de higienização da linha de produção e conseqüente resposta com o aumento dos rendimentos. Tratando-se da condução destes mecanismos de pré-tratamento em sistemas anaeróbios, torna-se pouco viável a utilização de fungos, uma vez que estes são aeróbios e teriam sua atividade inibida sob condições de ausência de oxigênio. Sendo assim o consórcio de bactérias no tratamento de efluentes ricos em lipídios caracteriza uma prática que pode ser empregada em sistemas anaeróbios.

Em estudo realizado por Mongkoltharuk e Dharmstithi (2002) comprovou-se a melhoria da biodegradabilidade em reatores anaeróbios mantidos com resíduos ricos em lipídeos, resultando em eficientes reduções de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e dos conteúdos lipídicos ao inocularem no meio *Pseudomonas*, *Bacillus* e *Acinetobacter*.

Reforçando esta informação, Wakelin e Forster (1997), investigando o tratamento de resíduos oriundos de restaurantes 'fast-food' para a remoção de gorduras, óleos e graxas, verificaram que *Acinetobacter* na concentração inicial de 8g cultura/L de substrato foi a cultura mais eficiente para a remoção de gordura dentre as avaliadas, atingindo redução de 60-65%.

Conforme verificado pelos autores descritos, a inclusão de microrganismos produtores de enzimas lipolíticas traz benefícios ao processo de biodigestão anaeróbia de resíduos com elevado teor lipídico, removendo os constituintes orgânicos que seriam degradados com maior dificuldade e resultando desta maneira na possibilidade de maior produção de biogás.

Desta forma, objetivou-se com a execução deste trabalho avaliar a produção e potenciais de produção de biogás e metano e ainda as reduções dos teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e fibra em detergente neutro (FDN) do processo de co-digestão anaeróbia em biodigestores alimentados com dejetos de suíno acrescidos de óleo de descarte e microrganismos liofilizados.

2. Metodologia

O trabalho foi realizado no Laboratório de Digestão Anaeróbia do Departamento de Engenharia Rural utilizando-se os dejetos gerados no Setor de Suinocultura do Departamento de Zootecnia, ambos pertencentes à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, da Universidade Estadual Paulista/Unesp – Câmpus de Jaboticabal, SP (21°14'05" S e 48°17'09" W; altitude média de 613,68 m).

Para a coleta dos dejetos de suínos adotou-se a limpeza da baia dos animais no dia anterior e a retirada das fezes e urina excretadas até o dia seguinte, procedendo-se a raspagem do piso, sem a adição de água. Os animais estavam em fase de terminação e alimentados por dietas formuladas para atender às exigências da fase. O óleo foi obtido por doação, em pastelaria comercial, já em condições de descarte (após diversas frituras).

Para o abastecimento dos biodigestores os substratos foram preparados com os dejetos de suínos, óleo de descarte (nas proporções de 8, 10 e 12% de óleo em relação aos teores de ST- do substrato), microrganismos liofilizados – Biol® (10 e 15 g/m³), água para diluição destes resíduos e inoculo, na concentração inicial de 4% de ST. O inóculo foi preparado com os dejetos de suínos e, na concentração inicial de 2,77% de ST, sendo considerado pronto a partir de aproximadamente 90 dias de fermentação (quando atingiu concentração máxima de metano).

Para o desenvolvimento da co-digestão foram utilizados 18 biodigestores modelo batelada de bancada, com capacidade média para 1,3 litros de substrato em fermentação. Constituíam-se, basicamente, por 2 cilindros retos de PVC com diâmetros de 150 e 100 mm 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 comporta um volume de água (“selo de água”). O cilindro de 100 mm teve uma das extremidades vedadas, conservando-se apenas uma abertura para a descarga do biogás, e foi emborcado no selo de água, para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. O aparato contava ainda com uma garrafa plástica para armazenamento do material a ser fermentado. Os biodigestores foram alojados em galpão com cobertura e paredes de alvenaria, protegidos do sol e das chuvas.

Nos afluentes e efluentes foram determinadas as concentrações de ST, SV, Demanda Química de Oxigênio (DQO) e NMP de coliformes totais e termotolerantes pela metodologia descrita por APHA (2005). As determinações dos conteúdos de FDN foram realizadas conforme metodologias propostas por Detmann et al. (2012).

No dia do abastecimento dos biodigestores, o dejetto apresentou a seguinte composição: 28,9% de ST, dos quais 78,3% eram voláteis e a DQO igual a 439 g O₂.kg de dejetto⁻¹. O inoculo continha 2,77% de ST, sendo 67,4% voláteis e a DQO de 131,1g de O₂/l. Já o óleo de descarte apresentou 98% de ST e DQO igual a 2700g de O₂/l de óleo. Os NMP de coliformes totais e termotolerantes foram de 15x10¹⁵ por cada 100 gramas de dejetto. Não foram detectados coliformes totais e termotolerantes no inoculo.

Os volumes de biogás produzidos diariamente foram determinados medindo-se o deslocamento vertical dos gasômetros e multiplicando-se pela área da seção transversal interna dos mesmos. Após cada leitura os gasômetros foram zerados utilizando-se o registro de descarga do biogás. Foi efetuada a correção do volume para as condições de 1 atm e 20°C. Foram medidas as produções de biogás, sendo posteriormente realizados os cálculos dos potenciais de produção, dividindo-se os valores de produção pelas quantidades de ST e SV adicionadas e reduzidas nos biodigestores.

Para análise da composição do biogás foi utilizado o analisador de gases GA - 21 Plus, da Madur Electronics, equipado com sensores para determinação das quantidades de monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄). Os potenciais de produção de metano foram calculados por meio das produções de metano, dividindo-se os valores de produção pelas quantidades de ST e SV adicionadas e reduzidas nos biodigestores.

Para o ensaio foi adotado um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial (6 tratamentos – 3 níveis de inclusão de óleo de descarte e 2 níveis de inclusão de microrganismos liofilizados) com três repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância e comparações de médias realizadas pelo teste de Tukey a 5 % de probabilidade, sendo as análises realizadas com o auxílio do pacote computacional R.

3. Resultados e discussão

As reduções dos NMP de coliformes totais e termotolerantes permitiram a obtenção de biofertilizantes com valores máximos de até de $4,3 \times 10^4$ por mL de material, sendo estes resultados superiores aos encontrados por Orrico Junior (2010) trabalhando com a biodigestão anaeróbia de dejetos de suíno com e sem a separação da fração sólida. Apesar da elevada redução ainda não foi atingido um valor seguro, preconizado em no máximo 1.000 coliformes termotolerantes por 100 mL de efluente (CONAMA, 2005).

Quanto às reduções dos constituintes sólidos, verificou-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos. Independente das doses de inclusão de microrganismos lipolíticos utilizados e níveis de inclusão de óleo de descarte houve comportamento semelhante, embora tenham sido observados altos valores de redução (Tabela 1).

Tabela 1. Reduções percentuais de Sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e fibra em detergente neutro (FDN) durante a co-digestão de substratos preparados com dejetos de suínos, doses crescentes de óleo de descarte e microrganismos lipolíticos.

Tratamento	ST (%) red.	SV (%) red.	FDN (%) red.
8% dos ST de óleo e 10g/m ³ Biol®	58,20 a	65,91 a	55,37 a
8% dos ST de óleo e 15g/m ³ Biol®	53,63 a	62,85 a	51,53 a
10% dos ST de óleo e 10g/m ³ Biol®	53,16 a	61,10 a	42,09 a
10% dos ST de óleo e 15g/m ³ Biol®	52,95 a	62,38 a	52,63 a
12% dos ST de óleo e 10g/m ³ Biol®	53,29 a	62,40 a	50,47 a
12% dos ST de óleo e 15g/m ³ Biol®	53,62 a	62,12 a	42,87 a
CV (%)	4,75	2,96	16,04

CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey (P<0,05).

Os resultados referentes aos potenciais de produção de biogás por g ST e SV adicionados (Tabela 2) mostraram que a maior adição de microrganismos no meio favoreceu a produção de biogás ($p < 0,05$). O maior valor de potencial de produção de biogás por g ST adicionado registrado (0,43 l) foi atingido por substratos contendo inclusões de 10% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol®, valores esses que não diferiram significativamente dos substratos contendo inclusões de 10% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol® (0,38 l) e 8% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol® (0,38 l). Esses valores ainda não diferiram dos menores potenciais registrados (0,37 l) pelas inclusões de 8% de óleo e 10 g/m³ de Biol®, 12% de óleo e 10 g/m³ de Biol® e 12% de óleo e 15 g/m³ de Biol®.

Com relação aos potenciais de produção de biogás por grama de SV adicionado observa-se comportamento semelhante, sendo a maior produção alcançada (0,54 l) por substratos contendo 10% de óleo e 15 g/m³ de Biol® seguido pelos demais substratos. Esse comportamento indica que a adição de determinadas concentrações de óleo de descarte, mesmo havendo microrganismos selecionados para a degradação de resíduos com alto teor lipídico, há queda na degradação, pois ácidos graxos de cadeia longa tem ação tóxica aos mesmos, onde estes compostos são adsorvidos na membrana da célula microbiana interferindo com a transferência de massa, afetando assim a metanogênese (PASTOR et al., 2013).

O comportamento dos resultados referentes aos potenciais de produção de metano por g ST e SV adicionados (Tabela 2) foram semelhantes aos observados no parâmetro de produção de biogás. A maior produção de metano foi registrada em substratos que receberam a maior adição de microrganismos

no meio, o que favoreceu a produção de uma maneira geral ($p < 0,05$). O maior valor de potencial de produção de metano por g ST adicionado registrado (0,22 l) foi atingido por substratos contendo inclusões de 10% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol®, seguido por biodigestores abastecidos com 12% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol®, seguido pelos tratamentos abastecidos com 8% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol®, seguido pelos tratamentos abastecidos com 10% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol® e 8% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol®. A produção de metano mais baixa foi registrada por biodigestores abastecidos com 12% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol®.

Tabela 2. Potenciais de produção de biogás e metano (L.g⁻¹) para, Sólidos Totais (ST) e Sólidos Voláteis (SV) adicionados aos biodigestores abastecidos com substratos preparados com dejetos de suínos, doses crescentes de óleo de descarte e microrganismos lipolíticos.

Potenciais de produção (litros/ kg)	8% de óleo		10% de óleo		12% de óleo		CV (%)
	10g/m ³ Biol®	15g/m ³ Biol®	10g/m ³ Biol®	15g/m ³ Biol®	10g/m ³ Biol®	15g/m ³ Biol®	
Biogás/ST adicionado	0,37 c	0,38 abc	0,38 abc	0,43 a	0,37 c	0,37 c	7,3
Biogás/SV adicionado	0,46 b	0,47 b	0,47 b	0,54 a	0,46 b	0,52 b	6,54
Metano/ST adicionado	0,18 c	0,19 bc	0,18bcd	0,22 a	0,16 d	0,21 ab	10,44
Metano/SV adicionado	0,22 c	0,24 b	0,23 b	0,27 a	0,20 c	0,26 a	9,91

CV%: coeficiente de variação; Médias seguidas de letras distintas diferem entre si, pelo teste de Tukey ($P < 0,05$).

Os potenciais de produção de metano por grama de SV adicionado seguiram a mesma tendência dos resultados anteriormente citados, sendo a maior produção registrada por biodigestores abastecido com 10% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol® (0,27 L) e abastecido com 12% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol® (0,26 L), seguidos pelos tratamentos contendo 10% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol® e 8% de óleo de descarte e 15 g/m³ de Biol®. As produções mais baixas foram registradas pelos biodigestores abastecidos com 8% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol® (0,22 L) e 12% de óleo de descarte e 10 g/m³ de Biol®. De maneira semelhante, Valladão et al.

(2011) verificaram os benefícios da inclusão de agentes lipolíticos na biodigestão de efluente de abatedouro avícola acrescido ou não de enzima lipolítica - lipase na inclusão de 1,0% do volume, observando a melhoria das produções de metano (0,393 L CH₄/g DQO reduzida).

O componente SV melhor caracteriza os resíduos utilizados, pois é facilmente degradado pelos microrganismos possibilitando maiores produções de biogás e metano. Considerando-se ainda que o descarte de óleo residual tornasse um problema, pode-se propor que a maior utilização do mesmo nos sistemas de tratamento pode melhorar os rendimentos de produção de metano e minimizar os impactos ao meio ambiente.

Os maiores potenciais registrados durante a condução deste ensaio de co-digestão foram atingidos por biodigestores abastecidos por uma maior concentração de microrganismos liofilizados, pois de modo semelhante aos verificados pelos autores citados acima, a adição de microrganismos produtores de enzimas lipolíticas resultariam em maiores produções de biogás e metano.

Em contrapartida as menores produções de biogás e metano podem refletir comportamentos decorrentes à ação tóxica exercida pela adição de óleo aos substratos, sendo estes resultados embasados por Mata-Alvarez et al. (2014), que menciona a ação tóxica das altas concentrações de ácidos graxos de cadeia longa na membrana da célula microbiana.

4. Conclusões

As produções de biogás e metano foram incrementadas pela adição de 15 g/m³ de Biol® em substratos contendo dejetos de suíno e 12% de óleo de descarte.

5. Agradecimentos

A Fundação de Amparo e Pesquisa do Estado de São Paulo pela concessão da bolsa de estudos e apoio financeiro ao projeto de pesquisa número 2012/12710-0.

6. Referências bibliográficas

APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Water Works Association, 2005. 1.368 p.

CIRNE, D.G.; PALOUMET, X.; BJÖRNSSON, L.; ALVES, M.M; MATTIASSON, B. Anaerobic digestion of lipid-rich waste – Effects of lipid concentration. **Renewable Energy**, v.32, n.6, p.965-975, 2007.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE – CONAMA. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005**. Disponível em: < www.mma.gov.br/port/conama >. Acessado em: 14/01/10.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. 2012. **Métodos para análise de alimentos**. INCT - Ciência Animal. 1 ed: 214p. Visconde do Rio Branco, MG, BR.

HIDALGO, D.; MARTÍN-MARROQUÍN, J.M. Effects of inoculum source and co-digestion strategies on anaerobic digestion of residues generated in the treatment of waste vegetable oils. **Journal of Environmental Management**, v. 142, p. 17-22, 2014. 2014.

LANSING, S.; MARTIN, J. F.; BOTERO, R. B.; SILVA, T. N.; SILVA, E. D. Methane production in low-cost, unheated, plug-flow digesters treating swine manure and used cooking grease. **Bioresource Technology**, v.101, p.4362-4370, 2010.

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**, v. 36, p. 412-27, 2014.

MENARDO, S.; BALSARI, P.; DINUCCIO, E.; GIOELLI, F. Thermal pre-treatment of solid fraction from mechanically-separated raw and digested slurry to increase methane yield. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 2, p. 2026-2032, 2011.

MONGKOLTHANARUK, W.; DHARMSTHITI, S. Biodegradation of lipid-rich wastewater by a mixed bacterial consortium. **Biodeterioration & Biodegradation**, v. 50, p. 101 – 105, 2002.

ORRICO JÚNIOR, M.A.P.; ORRICO A.C.A.; LUCAS JÚNIOR, J. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.30, n.4, p.600-607, 2010.

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. 438-45, 2013.

UNIÃO BRASILEIRA DE BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL – ABPA. **Relatório Anual 2014**. São Paulo, SP, 2014. 55p. Disponível em: < <http://www.ubabef.com.br/> >. Acessado em: 24/07/14.

VALLADÃO, A.B.G.; TORRES, A.G.; FREIRE, D.M.G.; CAMMAROTA, M.C. Profiles of fatty acids and triacylglycerols and their influence on the anaerobic biodegradability of effluents from poultry slaughterhouse. **Bioresource Technology**. v. 102, p. 7043–7050, 2011.

WAKELIN, N.G.; FORSTER, C.F. An investigation into microbial removal of fats, oils and greases. **Bioresource Technology**, v.59, p.37-43, 1997.

ZHANG,C.; XIAO, G.; PENG, L.; SU, H.; TAN, T. The anaerobic co-digestion of food waste and cattle manure. **Bioresource Technology**, v.129, p. 170-176, 2013.

Capítulo 5 - Considerações finais

- Co-digestão anaeróbia de dejetos de suíno e níveis crescentes de óleo de descarte

Com relação aos resultados obtidos no primeiro ensaio de co-digestão anaeróbia pôde-se constatar significativa dificuldade na condução do mesmo, uma vez que o substrato óleo de descarte era difícil de ser homogeneizado. Desta maneira foram formadas camadas de sobrenadante na superfície dos biodigestores constituídas de óleo, fazendo com que a digestão ocorresse de modo desigual e ainda tornando difícil a amostragem para análises laboratoriais.

- Co-digestão anaeróbia de dejetos suíno, óleo de descarte e enzima lipolítica – Lipase

Neste ensaio verificou-se dificuldade em homogeneizar os componentes óleo de descarte e dejetos de suíno com a lipase, em virtude da característica dos componentes e ainda a pequena quantidade de enzima utilizada, uma vez que essa foi adicionada em concentração máxima de 0,25% em relação aos ST do substrato.

Sugere-se que em projetos futuros de biodigestão anaeróbia utilizando a enzima lipase como agente lipolítico, esta seja pré-hidratada, para favorecer a solubilização e melhor homogeneização ou ainda que se trabalhe com modelos de biodigestores diferentes que empreguem agitação ou que forneçam uma maior temperatura aos substratos podendo otimizar a digestão do constituinte óleo.

- Co-digestão anaeróbia de dejetos suíno, óleo de descarte e microrganismos lipolíticos – redução do impacto ambiental

Assim como observado nos ensaios anteriores, houve dificuldade na condução do processo de biodigestão, em virtude da difícil homogeneização

dos substratos o que provavelmente resultou em digestão distinta segundo as diferentes frações decorrentes da sedimentação do material.

Sendo assim sugere-se que em projetos futuros de biodigestão anaeróbia utilizando microrganismos lipolíticos em pó para favorecer o processo de degradação de substratos com elevado teor lipídico se trabalhe com modelos de biodigestores diferentes, sendo que estes forneçam formas de agitação dos substratos para melhor degradação do material.

APÊNDICES

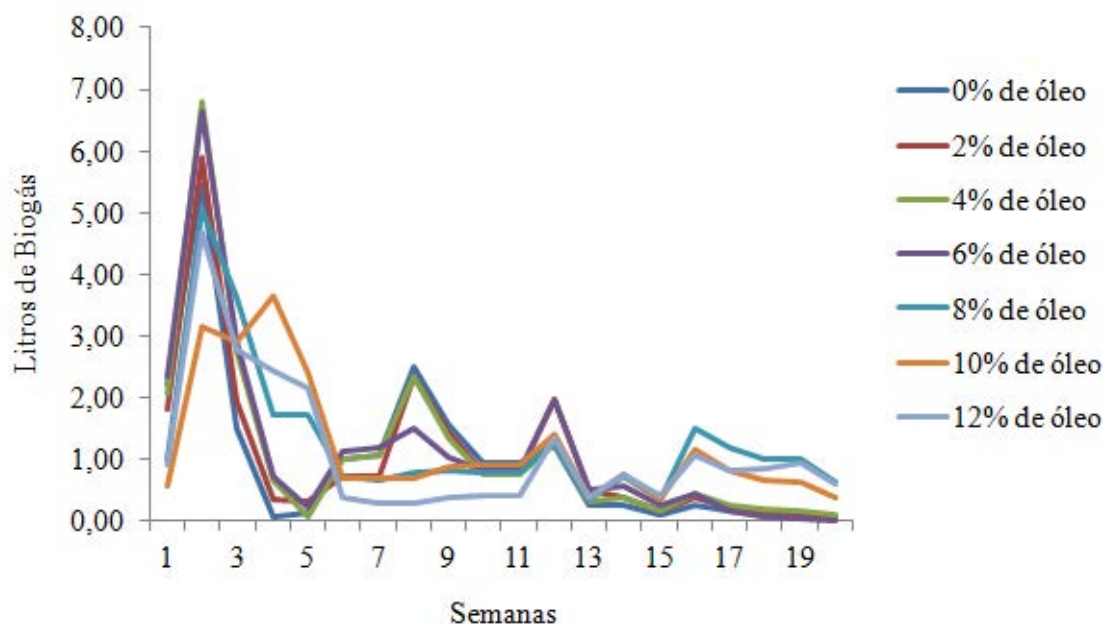


Figura 1. Produção de biogás em litros em biodigestores abastecidos com substratos preparados com os dejetos de suínos e doses de óleo de descarte (Capítulo 2).

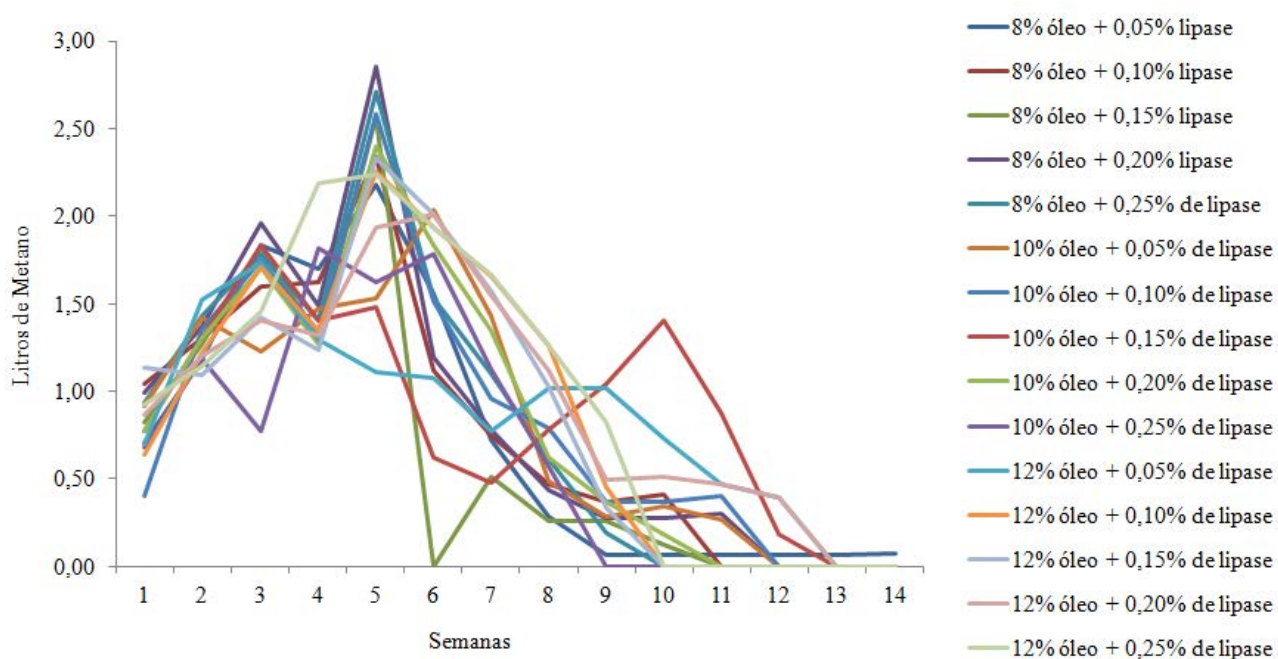


Figura 2. Produção de metano em litros em biodigestores abastecidos com substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e lipase (Capítulo 3).

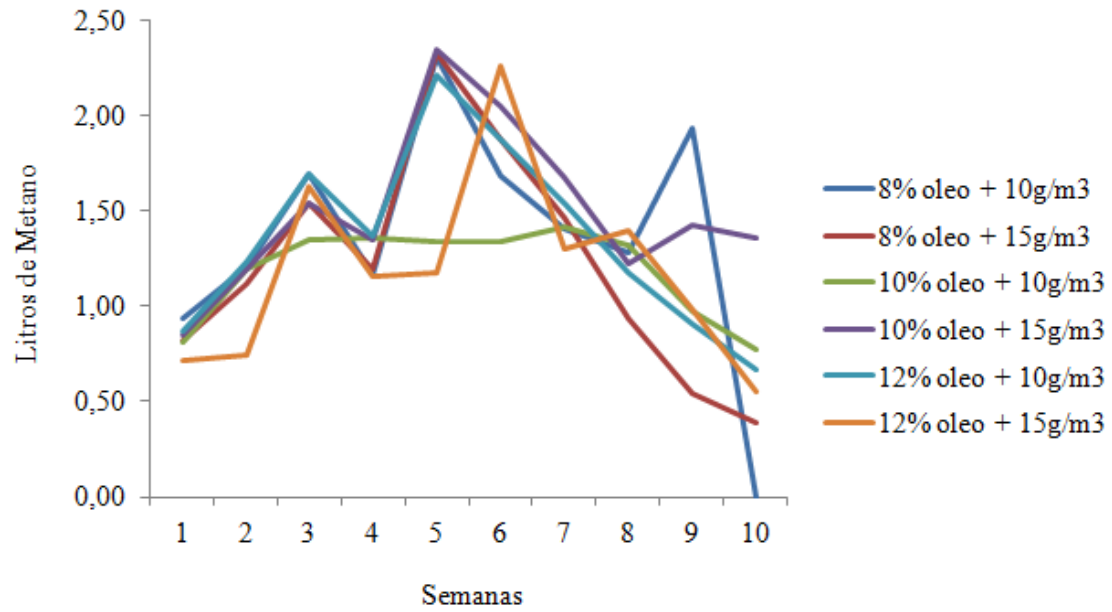


Figura 3. Produção de metano em litros em biodigestores abastecidos com substratos preparados com os dejetos de suínos, doses de óleo de descarte e Biol-2000® (Capítulo 4).



Figura 4. Biodigestor modelo batelada de bancada (Capítulo 2).



Figura 5. Biodigestor modelo batelada de bancada (Capítulo 3 e 4).