



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DOS DEJETOS DE OVINOS COM
DIFERENTES INCLUSÕES DE RESÍDUO LÍQUIDO DE
INCUBATÓRIO**

**THIAGO THARLES BRAW ANDRÉ FURLAN ROMUALDO ANGELO ABRAÃO
LINCON PICCIUTO MACIEL**

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de Concentração em Produção Animal

Dourados-MS

Fevereiro de 2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DOS DEJETOS DE OVINOS COM
DIFERENTES NÍVEIS DE INCLUSÃO DE RESÍDUO LÍQUIDO DE
INCUBATÓRIO**

THIAGO THARLES BRAW ANDRÉ FURLAN ROMUALDO ANGELO ABRAÃO
LINCON PICCIUTO MACIEL

Tecnólogo em Agroecologia

Orientadora: Prof^ª Dr^ª Ana Carolina Amorim Orrico

Coorientadora: Prof^ª Dr^ª Natália da Silva Sunada

Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia. Área de Concentração em Produção Animal

Dourados-MS

Fevereiro de 2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

M152c Maciel, Thiago Thiarles Braw André Furlan Romualdo Angelo Abraão Lincon Picciuto
Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos com diferentes níveis de inclusão de resíduo líquido de incubatório / Thiago Thiarles Braw André Furlan Romualdo Angelo Abraão Lincon Picciuto Maciel -- Dourados: UFGD, 2018.
46f. : il. ; 30 cm.

Orientadora: Ana Carolina Amorim Orrico
Co-orientadora: Natália da Silva Sunada

Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados.
Inclui bibliografia

1. Biogás. 2. Metano. 3. Reduções. 4. Sólidos. 5. Tempo de retenção hidráulica. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

©Direitos reservados. Permitido a reprodução parcial desde que citada a fonte.

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS DE OVINOS COM DIFERENTES
INCLUSÕES DE RESÍDUO DE INCUBATÓRIO

por

THIAGO THARLES BRAW ANDRÉ FURLAN ROMUALDO ANGELO ABRAÃO
LINCON PICCIUTO MACIEL

Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título
de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovada em: 26/02/2018



Dra. Ana Carolina Amorim Orrico
Orientadora – UFGD/FCA



Dr. Marco Antonio Previdelli Orrico Junior
UFGD/FCA



Dra. Alice Watto Schwingel
UFGD/FCA



Dra. Tânia Mara Baptista dos Santos
UEMS/ZOO

BIOGRAFIA DO AUTOR

Thiago Thiarles Braw André Furlan Romualdo Angelo Abraão Lincon Picciuto Maciel, natural do município de Iguatemi-MS, nascido no dia 6 de outubro de 1990, filho de José Jorge Maciel e Rosa de Fátima Picciuto Maciel. Com 12 anos de idade mudou-se com a família para um sítio no Assentamento Tamakavi, município de Itaquiraí-MS, onde mora até os dias atuais. Em 2007 ingressou no Ensino Médio e curso Técnico em Agropecuária da Escola Família Agrícola de Itaquiraí, tendo concluído em 2009. No ano de 2012 graduou-se em Tecnologia em Agroecologia pela Universidade Estadual do Mato Grosso do Sul, campus na cidade de Glória de Dourados. Em 2015 terminou uma especialização em Agroecologia, Produção e Extensão Rural pela Universidade Federal da Grande Dourados. No ano de 2016 deu início às atividades como aluno de mestrado matriculado regularmente no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, área de concentração Produção Animal, sendo bolsista da Capes.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho, primeiramente, aos meus pais, José Jorge Maciel e Rosa de Fátima Picciuto Maciel, que sempre me apoiaram na caminhada. Também aos meus irmãos, Jorge Guerreiro Picciuto Maciel e Anderson Romualdo Picciuto Maciel, pelo apoio que sempre destinaram a mim.

Gostaria de dedicar este trabalho, em especial, as pessoas integrantes do grupo de pesquisas em Manejo de Forragens e Resíduos agropecuários, coordenada pela professora Dr^a Ana Carolina e o professor Dr. Marco Antônio, que fizeram parte de minha formação profissional durante o curso.

A todos os amigos e amigas do curso de mestrado em Zootecnia, bem como aos alunos da graduação do curso de Zootecnia pela convivência que tivemos ao longo destes anos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em especial, à professora Dr^a Ana Carolina pela paciência em desenvolver esta pesquisa comigo, por meio de orientações, conselhos, sugestões, críticas, que certamente contribuíram e contribuirão para minha formação profissional e pessoal.

Os meus agradecimentos a todos os professores e professoras da Pós-Graduação em zootecnia que auxiliaram na minha formação profissional e pessoal.

A todos do grupo de pesquisas Manejo de Resíduos, em especial, à Dr^a Alice e Dr^a Natália pela efetiva contribuição na realização da pesquisa com suas importantes orientações.

Quero agradecer também aos técnicos de laboratório Thiago e Elda pela sua disponibilidade em auxiliar as atividades laboratoriais que foram de fundamental importância para a realização da pesquisa. Também ao administrativo Ronaldo, o meu muito obrigado pela ajuda e informações prestadas.

De forma especial também agradeço aos funcionários terceirizados da universidade que prestaram serviço de forma concreta e eficaz.

Agradeço à empresa BRF pela doação do resíduo de incubatório para realização da pesquisa.

À Coordenação de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa de estudos.

No mais o meu muito obrigado a todos.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE TABELAS.....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
RESUMO.....	1
ABSTRACT.....	2
CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	3
CAPÍTULO 1- REVISÃO DE LITERATURA.....	5
1.1. Resíduo de incubatório.....	5
1.2. Co-digestão anaeróbia com dejetos de ovino e resíduo de incubatório.....	7
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	10
CAPÍTULO 2- Co-digestão anaeróbia de dejetos de ovinos com diferentes níveis de inclusão de resíduo líquido de incubatório.....	13
RESUMO.....	14
ABSTRACT.....	15
INTRODUÇÃO.....	16
MATERIAL E MÉTODOS.....	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
CONCLUSÕES.....	33
REFERÊNCIAS.....	33
IMPLICAÇÕES.....	36

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Composição química dos resíduos utilizados no preparo dos substratos.....	18
Tabela 2. Valores de abastecimento com dejetos de ovinos e resíduo de incubatório, de acordo com os TRH (12, 17 e 22 dias) e os níveis de inclusão (0, 10, 20 e 30%).....	19
Tabela 3. Médias dos fatores resíduo líquido de incubatório (RLI) e tempos de retenção hidráulica (TRH), desvio padrão amostral (DP), significância e coeficiente de variação (CV) encontrados durante co-digestão dos dejetos de ovinos com RLI.....	22

LISTA DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Superfície de resposta da redução de sólidos totais (TSR), em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e das inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).....	23
Figura 2. Correlações de Pearson entre os parâmetros de redução de sólidos totais (TSR), redução de sólidos voláteis (VSR), reduções de fibra em detergente neutro (NDF), potencial hidrogeniônico do afluente (pHa) e efluente (pHe), redução da demanda química de oxigênio (CODR), produção de biogás por sólidos totais (BTS) e por sólidos voláteis (BVS), produção de metano por sólidos totais (MTS) e por sólidos voláteis (MVS).....	24
Figura 3. Superfície de resposta da redução de sólidos voláteis (VSR) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HTR) e das inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).....	25
Figura 4. Superfície de resposta da redução da demanda química de oxigênio (CODR) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e das inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).....	28
Figura 5. Superfície de resposta da produção de biogás por sólidos totais (BTS) e por sólidos voláteis (BVS) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e das inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).....	29
Figura 6. Superfície de resposta da produção de metano por sólidos totais (MTS) e por sólidos voláteis (MVS) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e das inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).....	30

Co-digestão anaeróbia dos dejetos de ovinos com diferentes inclusões de resíduo líquido de incubatório

Resumo: O objetivo deste trabalho foi determinar níveis ótimos de inclusão de resíduo líquido de incubatório (RLI) nos dejetos de ovinos no processo de co-digestão anaeróbia, em diferentes tempos de retenção hidráulica- TRH. Os parâmetros avaliados foram: produções totais e específicas de biogás e metano, reduções de sólidos totais, sólidos voláteis, reduções de demanda química de oxigênio, fibra detergente neutro, teores de nitrogênio, extrato etéreo e pH. As maiores reduções de ST observadas foram de 66,66; 69,75 e 73,82%, com a inclusão de 12,03; 13,04 e 12,76% de RLI nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. As inclusões de 14,78; 14,43 e 12,65% de RLI proporcionaram as maiores reduções de DQO, que foram de 55,71; 58,00 e 60,59% nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. Houve efeito significativo entre as reduções de FDN e o TRH, com reduções de 45,73% e 44,36% nos TRH de 22 e 17 dias, respectivamente. O TRH de 22 dias apresentou as maiores produções específicas de biogás de 507,20 L Kg⁻¹ ST com a dose 9,81% de RLI e 652,47 L Kg⁻¹ SV com a inclusão de 9,71% de RLI. As máximas produções específicas de metano por ST foram de 195,18; 263,68 e 271,31 L Kg⁻¹, com as inclusões de RLI de 9,80; 10,92 e 10,55% nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. A co-digestão de dejetos de ovinos com diferentes inclusões de RLI promoveram redução constituintes sólidos e fibrosos, aumentando a produção de biogás e metano.

Palavras-chave: biogás, metano, reduções, sólidos e tempo de retenção hidráulica.

Anaerobic co-digestion of sheep manure with different inclusions of liquid hatchery residue

Abstract: The objective this work was to determine optimal levels of inclusion of liquid hatchery (HR) in sheep manure in the process of anaerobic co-digestion, in different hydraulic retention times- HRT. The parameters evaluated were: total and specific productions of biogas and methane, reductions of total solids, volatile solids, reduction of chemical oxygen demand, neutral detergent fiber, nitrogen contents, ethereal extract and pH. The largest TS reductions observed were 66.66; 69.75 and 73.82%, with inclusion of 12.03; 13.04 and 12.76% of HR in HRT of 12, 17 and 22 days, respectively. The inclusion of the doses of 14.78; 14.43 and 12.65% HR provided the greatest COD reductions, which were 55.71; 58.00 and 60.59% in HRT of 12, 17 and 22 days, respectively. There was a significant effect between reductions of NDF and HRT, with reductions of 45.73% and 44.36% with HRT of 22 and 17 days, respectively. The 22 day HRT presented the highest specific biogas production of 507.20 L Kg⁻¹ TS with the inclusion 9,81% HR and 652.47 L Kg⁻¹ VS with the inclusion of 9.71% HR. The maximum specific methane yields by TS were 195.18; 263.68 and 271.31 L Kg⁻¹, with HR inclusions of 9.80; 10.92 and 10.55% in HRT of 12, 17 and 22 days. The co-digestion of sheep manure with different HR inclusions promoted reduction of solid and fibrous constituents, increasing the production of biogas and methane.

Keywords: biogas, methane, reductions, solids and hydraulic retention time.

CONSIDERAÇÕES INICIAIS

De acordo com a Associação Brasileira de Proteína Animal- ABPA (2016), o Brasil é um grande produtor mundial de carne de frango. O sistema de produção de frangos de corte inicia-se pela criação de pintainhos, que é realizado nos incubatórios. No incubatório é gerado uma quantidade considerável de resíduo que precisa ser tratado rapidamente, haja vista que possui teores elevados de proteínas e lipídios. O resíduo gerado é processado e reutilizado na alimentação dos frangos, como fonte de proteína, no entanto, também são encaminhados para lixões, que na prática é menos onerosa do ponto de vista econômico, porém, pode causar impactos ambientais (RISTOW, 2006).

O resíduo de incubatório é um material composto por uma fração sólida que contém cascas de ovos, pintainhos malformados, ovos inférteis, e a fração líquida, que são gemas dos ovos, constituindo-se uma fonte de energia renovável. Uma das formas de tratamento viável e segura para o resíduo de incubatório é a técnica da biodigestão anaeróbia, haja vista que este resíduo disposto no meio ambiente sem prévio tratamento pode causar sérios impactos ambientais, como a contaminação do solo e do lençol freático (MATTER et al., 2017).

A utilização do resíduo de incubatório para produção de biogás, por meio da técnica da biodigestão anaeróbia, pode tornar-se uma fonte de geração de energia nos incubatórios que produzem diariamente este tipo de resíduo, aumentando a eficiência do sistema.

O uso do resíduo líquido de incubatório em meio ao processo de co-digestão anaeróbia com dejetos de ovinos tende a favorecer a degradabilidade dos substratos, por meio do fornecimento de nutrientes para o desenvolvimento microbiano, melhorando o processo fermentativo, bem como eleva a carga orgânica nos biodigestores, permitindo diluir o excesso de proteína e lipídios, estabilizando o processo, resultando no aumento da produção de biogás e melhoria da qualidade do biofertilizante. Além disso, o uso do resíduo líquido de incubatório no processo de digestão evita a formação e sedimentação de materiais sólidos, como cascas de ovos, o que poderia comprometer a movimentação dos substratos no interior dos biodigestores.

Existem trabalhos na literatura científica apontando a biodigestão anaeróbia como uma alternativa eficiente no tratamento dos dejetos de ovinos, no entanto resulta em baixas

produções de biogás e metano, em virtude da quantidade elevada de FDN (45,9%) e deficiência em N (1,73%) (CESTONARO et al., 2015).

A co-digestão com dejetos de bovinos e resíduo líquido de incubatório foi estudada por Lopes et al. (2016) em biodigestores batelada mantidos em fermentação por 105 dias promoveu a degradação de componentes sólidos e constituintes fibrosos, como também aumentou a produção de biogás e metano. A utilização de biodigestores semicontínuos na co-digestão de dejetos de ovinos com resíduo líquido de incubatório tem condições de potencializar a produção de biogás e metano e simularia condições de tratamento diário dos resíduos que são gerados constantemente por indústrias, permitindo adotar modelos de biodigestores viáveis.

Nesse sentido a adoção de diferentes TRH no processo de co-digestão com dejetos de ovinos e resíduo líquido de incubatório visa avaliar o tempo de degradabilidade dos substratos nos biodigestores. Alguns resíduos exigem, por causa da composição, um TRH maior para degradação, sendo que outros materiais necessitam de TRH menores, o que aumenta a capacidade de tratamento, permitindo fluxo constante de resíduos nos biodigestores.

Este estudo foi conduzido com o objetivo de determinar níveis ótimos de inclusão de resíduo líquido de incubatório nos dejetos de ovinos no processo da co-digestão anaeróbia em biodigestores semicontínuos, adotando-se diferentes THR, objetivando avaliar a redução de constituintes sólidos e fibrosos, bem como a produção de biogás e metano.

A presente dissertação é composta por 2 capítulos. O primeiro capítulo contém uma revisão de literatura escrita conforme as normas vigentes do Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados- UFGD. O segundo capítulo foi redigido mediante as normas de publicação da Revista Ciência Agronômica, encontrada no seguinte endereço eletrônico: www.ccarevista.ufc.br.

CAPÍTULO 1- REVISÃO DE LITERATURA

1.1. Resíduo de incubatório

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017), a produção de ovos de galinha no Brasil, no 1º trimestre de 2017, foi de 788,26 milhões de dúzias, sendo que Mato Grosso do Sul teve participação de 1,25% sobre a produção brasileira. O IBGE também indicou que 44,8% dos estabelecimentos que produzem ovos de galinha no Brasil são destinadas a incubação, sendo que as granjas restantes produzem ovos para o consumo humano. Os ovos destinados à produção de frangos de corte são encaminhados, após a postura, para os incubatórios. Nestes locais, os ovos são abrigados em incubadoras, que controlam temperatura e umidade, simulando as condições naturais oferecidas pelas galinhas (MATTER et al., 2017).

Nos incubatórios serão produzidos pintainhos e resíduos, sendo este último gerado em grande proporção. Numa estimativa feita por Kobashigawa et al. (2008) avaliando a geração de resíduo em granjas destinadas a incubação de ovos no estado de São Paulo foi constatado que 23% dos ovos incubados são convertidos em resíduo. De acordo com Araújo e Albino (2011) estima-se que a cada 68 mil ovos incubados na produção de frangos de corte gera-se 1 tonelada de resíduo de incubatório. Deste modo, se um ovo tem peso médio de 50g e que a cada 68 mil ovos incubados tem-se 3,4 toneladas de ovos, 30% deste total se transformarão em resíduo.

Os resíduos de incubatório podem ser caracterizados por uma fração sólida, que são ovos que não eclodiram durante a incubação, pintainhos mortos na fase inicial, cascas de ovos e animais refugos, já a fração líquida compreende a gema dos ovos (KOBASHIGAWA et al., 2008; LOPES et al., 2016).

A caracterização do resíduo de incubatório pode sofrer variações dependendo do incubatório utilizados, como apresentado por Glatz et al. (2011) em trabalho de revisão de literatura encontraram elevados conteúdos de umidade (43 a 71%), sendo o conteúdo de PB, EE, FB e MM, correspondendo respectivamente aos valores de 33,1; 29,0; 12,1 e 21,5% da MS.

Um dos destinos para este resíduo é a confecção de farinha, que ocorre com base na desidratação do resíduo, por meio do calor, sendo sua composição química variável em razão

da eclodibilidade dos ovos no incubatório.

A disposição inadequada do resíduo de incubatório pode favorecer o desenvolvimento de organismos oportunistas, como bactérias, parasitas e vírus, que pode transmitir doenças para os seres humanos e outros animais, como também contaminar o solo e a água, por causa dos teores elevados de N que podem lixiviar e atingir o lençol freático. Para ser utilizado este resíduo necessita ser tratado adequadamente, seja por meio da biodigestão anaeróbia ou compostagem, diminuindo os riscos de contaminação por microrganismos patogênicos (EMMOTH et al., 2011).

Segundo Glatz et al. (2011) a co-digestão é a técnica mais indicada para o tratamento do resíduo de incubatório que pode ser associado a outros resíduos orgânicos, pois apresenta características importantes, como altos teores de proteína e lipídio, fornece elevada carga orgânica biodegradável, melhorando as condições do meio de digestão para atuação dos microrganismos na degradação e estabilização da matéria orgânica.

Alguns trabalhos já foram feitos no Brasil utilizando o resíduo de incubatório para produção de biogás e biofertilizante em co-digestão anaeróbia com dejetos de animais ou resíduos de agroindústrias, como os desenvolvidos por Matter et al. (2017) e Lopes et. al. (2016).

Desta maneira, em virtude da elevada produção dos resíduos de incubatório e sua constituição química, principalmente no que se refere aos compostos nitrogenados altamente perecíveis se torna indispensável um tratamento adequado o mais rápido possível, evitando focos de contaminação dentro dos incubatórios (RISTOW, 2006) e a aplicação da técnica da biodigestão anaeróbia se mostra uma prática promissora.

De acordo com o levantamento de dados da produção pecuária municipal no Brasil realizado pelo IBGE, no ano de 2016, o efetivo de ovinos no país foi de 18,43 milhões de animais. O rebanho ovino nacional vem crescendo ano a ano, sendo a região Nordeste a que concentra o maior número de animais, respondendo por 63,0% do rebanho nacional. A região Sul vem logo em seguida, com 23,9%, acompanhadas pelas Regiões Centro-Oeste (5,7%), Sudeste (3,7%) e Norte (3,7%).

Estes animais produzem quantidades consideráveis de dejetos que podem ser aproveitados no processo de co-digestão anaeróbia, uma vez que quanto maior for o número de animais maior será a geração de dejetos. Segundo Orrico Junior e Orrico (2015) ovinos com média de peso vivo de 20 kg produziram 0,45 kg de dejetos/animal/dia, com teores de 55%

de sólidos totais (ST) e 89% de sólidos voláteis (SV). O dejetos de ovino possui características favoráveis ao bom desenvolvimento da digestão anaeróbia, no entanto, com produções medianas de biogás, sobretudo por causa dos constituintes fibrosos.

Makan (2015) avaliou a composição química dos dejetos de ovinos que foram utilizados no processo de compostagem com resíduos naturais e foi constatado valores de: umidade (68%), carbono orgânico total (48,66%), nitrogênio total (3,75%), relação C:N (12,97), fósforo total (1,87%) e pH (6,14).

A produção de biogás com o uso do dejetos de ovino vem sendo estudada ao longo dos anos. Jain et al. (1981) ao avaliar a biodigestão anaeróbia do dejetos de ovino em biodigestores batelada observaram produções de 40 a 50L de biogás/kg de dejetos. Em experimento conduzido em biodigestores batelada por Kanwar e Kalia (1993) empregando dejetos de ovinos encontraram produções de 93L de biogás/kg de dejetos. Já Quadros et al. (2010) utilizando dejetos de caprinos e ovinos no processo de biodigestão anaeróbia constataram produção de 61L de biogás/kg de dejetos, com composição média do biogás de 58% de metano e 34% de gás carbônico.

1.2. Co-digestão anaeróbia com dejetos de ovino e resíduo de incubatório

Ao fazer uma revisão crítica sobre a co-digestão anaeróbia entre os anos de 2010 a 2013 Mata-Alvarez et al. (2014) identificaram vários pontos importantes sobre o assunto. De acordo com o estudo, os principais substratos utilizados no processo de co-digestão anaeróbia são dejetos de animais (54%), que inclui dejetos de bovinos, suínos, aves e ovinos, seguido por lodo de esgoto (22%) e fração orgânica de resíduos sólidos municipais (11%).

O estudo acima também apontou que os co-substratos mais empregados são resíduos de indústrias (41%), resíduos de agricultura (23%) e fração orgânica de resíduos sólidos municipais (20%). No período da revisão houve um crescimento de 75% no número de artigos publicados com o tema da co-digestão anaeróbia, mostrando que o interesse em novos estudos na área está aumentando entre os pesquisadores.

A técnica da co-digestão anaeróbia pode ser utilizada no tratamento de resíduos de agroindústrias, já que consiste na união de dois ou mais substratos que se complementam durante a digestão, potencializando desta maneira a reciclagem de resíduos com alto conteúdo

de proteínas e gorduras, como resíduo líquido de incubatório (LOPES et al., 2016).

Segundo Martínez et al. (2016) resíduos ricos em gorduras são abundantes em industriais processadoras de alimentos. Quando estes resíduos são colocados no processo de co-digestão com dejetos de animais isso reflete na melhoria da degradação da matéria orgânica, melhorando a estabilidade da digestão, bem como diluindo compostos inibitórios que podem afetar o desenvolvimento microbiano.

De acordo com Hunter Long et al. (2012) o processo de degradação anaeróbia dos resíduos que contém gorduras tem início com a formação dos Ácidos Graxos Voláteis de Cadeia Longa (LCFAs) que são os primeiros compostos a serem degradados anaerobicamente, através da atuação das bactérias acetanogênicas, pelo caminho da β -oxidação, transformando-os em acetato e H_2 , em seguida, por meio da ação das bactérias metanogênicas são convertidos em metano. Assim, os mecanismos de inibição causados pelos LCFAs no processo de biodigestão anaeróbia já vem sendo estudado há décadas (HANAKI et al., 1981). Para Cirne et al. (2007) o conhecimento do processo de formação dos LCFAs é um fator chave para potencializar a degradação dos lipídios.

A inclusão de 10 a 30% de lipídio no processo de co-digestão pode aumentar a produção de biogás de 30 a 80% (HUNTER LONG et al., 2012). No ambiente anaeróbio, os lipídios são os primeiros a serem hidrolisados para glicerol e LCFAs, sendo que este processo é catalisado por lípases extracelulares que são excretadas pela bactéria acidogênica, em que o glicerol é convertido em acetato pela acidogênese, enquanto que LCFAs é convertido em acetato e hidrogênio, através do caminho da β -oxidação, no qual passa a atuar as bactérias metanogênicas (CIRNE et al., 2007).

Segundo Lopes et al. (2016) o resíduo líquido de incubatório possui teores de 37,60 e 7,90% de EE e N, respectivamente. A utilização deste resíduo de forma isolada no processo de biodigestão anaeróbia poderia acarretar conseqüências negativas, em razão do efeito tóxico do acúmulo de LCFAs, o que diminui a tensão superficial da parede celular das bactérias acetanogênica e metanogênicas, afetando a função de transporte e protetiva da parede bacteriana, formando uma camada hidrofóbica de LCFAs em torno da biomassa que impede a comunicação do meio com a bactéria, resultando em baixa degradabilidade.

A utilização de resíduos de indústrias com teores elevados de gordura no processo de co-digestão anaeróbia com dejetos de animais em larga escala foi realizada por Ferreira et al. (2012) que ao empregarem dejetos suínos e resíduo de gordura de peixe na proporção de 5%,

em biodigestores contínuos, obtiveram produções de biogás de $7 \text{ m}^3/\text{m}^3$ de substrato. De acordo com os autores da pesquisa, a fração lipídica presente na gordura de peixe não alterou a qualidade do biogás.

Em trabalho realizado por Lopes et al. (2016) utilizando níveis crescentes de resíduo líquido de incubatório ao dejetos de bovinos leiteiros que possuem constituição semelhante ao dejetos de ovinos, verificaram que a adição de até 17% de inclusão de resíduo líquido de incubatório resultou nas maiores produções específicas de biogás que foram de 181,7 e 229,5 $\text{L Kg}^{-1}\text{ST}$ e SV, respectivamente. Com o mesmo nível de inclusão de resíduo líquido de incubatório, as maiores produções de metano foram de 120,1 e 151,8 $\text{L CH}_4 \text{ Kg}^{-1} \text{ ST}$ e SV, respectivamente.

A interferência da composição dos ST do resíduo de incubatório, contendo cascas de ovos foi observada por Matter et al. (2017) que trabalhando com misturas de resíduo de incubatório fresco e diferentes águas residuais, encontraram reduções de ST altas (75 a 84%), utilizando biodigestores batelada mantidos em fermentação por 176 dias, porém, apesar deste tipo de biodigestor realmente proporcionar condições favoráveis à maior degradação dos substratos, os autores ressaltaram a dificuldade na interpretação dos resultados de reduções de sólidos, pelo possível efeito de superestimação de perdas, em razão da sedimentação das cascas, indicando a necessidade de outros estudos utilizando constituição de resíduos de incubatório diferentes e outros modelos de biodigestores.

No entanto mais pesquisas ainda são necessárias para melhorar a compreensão dos resíduos com a utilização dos biodigestores semicontínuos, adotando-se diferentes TRH, objetivando melhor ajustar o tempo de digestão, como técnica viável no tratamento de resíduos das indústrias, proporcionando condições para geração de energia.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o desempenho da co-digestão anaeróbia com dejetos de ovinos e resíduo líquido de incubatório para produção de biogás e metano em biodigestores semicontínuos, em diferentes tempos de retenção hidráulica.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, W. A. G.; ALBINO, L. F. T. COMERCIAL INCUBATION (INCUBAÇÃO COMERCIAL). Publicado pela **Trans Word Research Network**, UFV- MG, p. 171, 2011. Disponível em: <https://issuu.com/researchsignpost/docs/araujo_e-book>. Acessado em: 15 Set. 2017.

Associação Brasileira de Proteína Animal (ABPA), 2016. Disponível em: <<http://abpa-br.com.br/noticia/producao-de-ovos-do-brasil-crece-61-e-chega-a-395-bilhoes-de-unidades-1550>>. Acesso em: 27 de junho de 2017.

CESTONARO, T.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; ROZATTI, M. A. T.; PEREIRA, D. C.; LORIN, H. E. F.; CARNEIRO, L. J. The anaerobic co-digestion of sheep bedding and 50% cattle manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. **Waste Management**, v.46, p.612-618, 2015.

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, p.965-975, 2007.

EMMOTH, E.; OTTOSON, J.; ALBIHN, A.; BELÁK, S.; VINNERAS, B. Ammonia Disinfection of Hatchery Waste for Elimination of Single-Stranded RNA Viruses. **Applied and Environmental Microbiology**, v. 77, n. 12, p. 3960–3966, 2011.

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.

GLATZ, P.; MIAO, Z.; RODDA, B. Handling and Treatment of Poultry Hatchery Waste: A Review. **Sustainability**, v.3, p. 216-237, 2011.

HUNTER LONG, J.; AZIZ, T. N.; REYES III, F. L.; DUCOSTE, J. J. Anaerobic co-digestion of fat, oil, and grease (FOG): A review of gas production and process limitations. **Process Safety and Environmental Protection**, v.90, p.231-245, 2012.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal**, v. 44, p. 1-51, 2016.

Indicadores IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). **Estatística da Produção Pecuária**. 2017. Disponível em:

<ftp://ftp.ibge.gov.br/Producao_Pecuaria/Fasciculo_Indicadores_IBGE/2016/abate-leite-couro-ovos_201604caderno.pdf>. Acesso em: 10 Ago. 2017.

JAIN, M. K.; SINGH, R.; TAURO, P. Anaerobic digestion of cattle and sheep wastes. **Agricultural Wastes**, v.23 (7), p.1591-1610, 1981.

K, HANAKI.; MATSUO, T.; NAGASE, M. Mechanism of inhibition caused by long chain fatty acids in anaerobic digestion process. **Biotechnology and Bioengineering**. v. 23(7), p.1591-1610, 1981.

KANWAR, S. S.; KALIA, A. K. Anaerobic fermentation of sheep droppings for biogas production. **World Journal of Microbiology e Biotechnology**, v.9, p.174-175, 1993.

KOBASHIGAWA, E.; MURAROLLI, F. A.; GAMEIRO, A. H. Destino de resíduos de incubatórios da avicultura no estado de São Paulo: adequação à legislação e possibilidade de uso econômico. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Pirassununga-SP, USP. In: XLVI Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, AC, **Anais**, 2008.

LOPES, W. R. T.; ORRICO, A. C. A.; GARCIA, R. G.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; MANARELLI, D. M.; FAVA, A. F.; NÄÄS, I. A. The Addition of Hatchery Liquid Waste to Dairy Manure Improves Anaerobic Digestion. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 2, p. 65-70, 2016.

MAKAN, A. Windrow co-composting of natural casings waste with sheep manure and dead leaves. **Waste Management**, v. 42, p.17-22, 2015.

MARTÍNEZ, E. J.; GIL, M. V.; FERNANDEZ, C.; ROSAS, J. G.; GÓMEZ, X. Anaerobic Co-digestion of Sludge: Addition of Butcher's Fat Waste as a Co-substrate for Increasing Biogas Production. **Plos One**, 11(4), 2016.

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**, n.36, p.412–427, 2014.

MATTER, J. M.; COSTA, M. S. S. M.; COSTA, L. A. M.; PEREIRA, D. C.; VARENNES, A.; TESSARO, D. Anaerobic co-digestion of hatchery waste and wastewater to produce energy and biofertilizer - Batch phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.21, n.9, p.651-656, 2017.

ORRICO JUNIOR, M. A.; ORRICO, A. C. A. Quantification, Characterization, and Anaerobic Digestion of Sheep Manure: The Influence of Diet and Addition of Crude Glycerin. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v.34 (4), p.1038-1043, 2015.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14 (3), p.326-332, 2010.

RISTOW, L. E. Incubatórios: monitoramento sanitário. **Avicultura: Artigos Técnicos**, 2006. Disponível em: <<https://pt.engormix.com/avicultura/artigos/incubatorios-monitoramento-sanitario-t36694.htm>>. Acesso em: 27 jul. 2017.

CAPÍTULO 2- Co-digestão anaeróbia de dejetos de ovinos com diferentes níveis de inclusão de resíduo líquido de incubatório

Capítulo redigido conforme as normas da Revista Ciência Agronômica

1 **Co-digestão anaeróbia de dejetos de ovinos com diferentes níveis de inclusão de resíduo**
2 **líquido de incubatório**

3 **RESUMO** - O objetivo deste trabalho foi determinar níveis ótimos de inclusão de resíduo
4 líquido de incubatório (RLI) nos dejetos de ovinos no processo de co-digestão anaeróbia, em
5 diferentes tempos de retenção hidráulica- TRH. Os parâmetros avaliados foram: produções
6 totais e específicas de biogás e metano, reduções de sólidos totais, sólidos voláteis, reduções
7 de demanda química de oxigênio, fibra detergente neutro, teores de nitrogênio, extrato etéreo
8 e pH. As maiores reduções de ST observadas foram de 66,66; 69,75 e 73,82%, com a inclusão
9 de 12,03; 13,04 e 12,76% de RLI nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. As inclusões
10 de 14,78; 14,43 e 12,65% de RLI proporcionaram as maiores reduções de DQO, que foram de
11 55,71; 58,00 e 60,59% nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. Houve efeito significativo
12 entre as reduções de FDN e o TRH, com reduções de 45,73% e 44,36% nos TRH de 22 e 17
13 dias, respectivamente. O TRH de 22 dias apresentou as maiores produções específicas de
14 biogás de 507,20 L Kg⁻¹ ST com a dose 9,81% de RLI e 652,47 L Kg⁻¹ SV com a inclusão de
15 9,71% de RLI. As máximas produções específicas de metano por ST foram de 195,18; 263,68
16 e 271,31 L Kg⁻¹, com as inclusões de RLI de 9,80; 10,92 e 10,55% nos TRH de 12, 17 e 22
17 dias, respectivamente. A co-digestão de dejetos de ovinos com diferentes inclusões de RLI
18 promoveram redução constituintes sólidos e fibrosos, aumentando a produção de biogás e
19 metano.

20 **Palavras-chave:** biogás, metano, reduções, sólidos e tempo de retenção hidráulica.

21 Anaerobic co-digestion of sheep manure with different inclusions of liquid hatchery residue

22 **ABSTRACT** - The objective this work was to determine optimal levels of inclusion of liquid
23 hatchery (HR) in sheep manure in the process of anaerobic co-digestion, in different hydraulic
24 retention times- HRT. The parameters evaluated were: total and specific productions of
25 biogas and methane, reductions of total solids, volatile solids, reduction of chemical oxygen
26 demand, neutral detergent fiber, nitrogen contents, ethereal extract and pH. The largest TS
27 reductions observed were 66.66; 69.75 and 73.82%, with inclusion of 12.03; 13.04 and
28 12.76% of HR in HRT of 12, 17 and 22 days, respectively. The inclusion of the doses of
29 14.78; 14.43 and 12.65% HR provided the greatest COD reductions, which were 55.71; 58.00
30 and 60.59% in HRT of 12, 17 and 22 days, respectively. There was a significant effect
31 between reductions of NDF and HRT, with reductions of 45.73% and 44.36% with HRT of 22
32 and 17 days, respectively. The 22 day HRT presented the highest specific biogas production
33 of 507.20 L Kg⁻¹ TS with the inclusion 9,81% HR and 652.47 L Kg⁻¹VS with the inclusion of
34 9.71% HR. The maximum specific methane yields by TS were 195.18; 263.68 and 271.31 L
35 Kg⁻¹, with HR inclusions of 9.80; 10.92 and 10.55% in HRT of 12, 17 and 22 days. The co-
36 digestion of sheep manure with different HR inclusions promoted reduction of solid and
37 fibrous constituents, increasing the production of biogas and methane.

38 **Keywords:** biogas, methane, reductions, solids and hydraulic retention time.

INTRODUÇÃO

39

40 O resíduo líquido de incubatório é um material com teores elevados de proteínas e
41 lipídios, que se disposto no ambiente sem tratamento pode favorecer a proliferação de
42 microrganismos causadores de doenças e causar graves impactos ambientais, como a
43 contaminação do solo e da água. A técnica da co-digestão anaeróbia se mostra eficiente no
44 tratamento deste tipo de resíduo, uma vez que une outros materiais, com o objetivo de
45 equilibrar o meio de digestão com diferentes nutrientes, melhorando a fermentação,
46 resultando no aumento da produção de biogás e biofertilizante.

47 O resíduo de incubatório possui elevadas quantidades de matéria orgânica
48 biodegradável, baixa capacidade tamponante e uma relação C:N alta, se for utilizado com o
49 dejetos de ovino, que apresenta elevada capacidade tamponante, baixa relação C:N, tende a
50 favorecer um equilíbrio de macro e micronutrientes no meio, viabilizando o processo da
51 digestão anaeróbia.

52 Indústrias processadoras de alimentos geram resíduos ricos em lipídios com potencial
53 para produção de biogás, pois possuem características que melhoram a estabilidade da
54 digestão e aumentam a carga orgânica nos biodigestores (MARTÍNEZ et al., 2016).

55 Matter et al. (2017) testaram misturas de resíduo de incubatório com águas residuárias
56 em biodigestores semicontínuos, operados com afluente contendo 2% de ST e TRH de 60
57 dias, destacaram a falta de confiabilidade nos resultados de reduções de sólidos, indicando a
58 necessidade de uma separação das frações sólida e líquida antes de colocar o material nos
59 biodigestores, pois as cascas não foram dissolvidas, ocasionando sedimentos que, ao longo do
60 período, acarretou no entupimento e diminuição do espaço útil dos biodigestores. Com base
61 no estudo acima se verifica a necessidade de novos estudos serem realizados sem a fração
62 sólida do resíduo de incubatório no processo de co-digestão anaeróbia.

85 O resíduo líquido de incubatório foi adquirido numa empresa avícola instalada no
 86 município de Dourados, gerada no último lote da incubação, no dia 18, formado por uma
 87 fração sólida (cascas de ovos, pintinhos refugos) e líquida (gema dos ovos), sendo a parte
 88 líquida utilizada no presente experimento. As composições do dejetos de ovino e resíduo
 89 líquido de incubatório estão descritas na tabela 1.

90 Tabela 1. Composição física e química dos resíduos utilizados no preparo dos substratos.

Componentes	Dejeto de ovino	Resíduo Líquido de Incubatório (RLI)
ST (%)	19,00	26,70
SV (% dos ST)	79,23	96,20
EE(% dos ST)	2,00	37,60
N (% dos ST)	2,25	7,90
C (% dos ST)	23,40	40,27
FDN (% dos ST)	58,93	ND*

91 *ND: não detectado

92 Foram utilizados 12 biodigestores semicontínuos, conforme descrito por Simm et al.
 93 (2017), abastecidos diariamente com dejetos de ovino e resíduo líquido de incubatório. Os
 94 substratos foram formulados com dejetos de ovinos + água + RLI (conforme níveis de
 95 inclusão) e calculados para obterem 2% de ST. Na tabela 2 estão apresentadas as quantidades
 96 de resíduos utilizados nos abastecimentos.

97 Tabela 2. Composição dos substratos a base dos dejetos de ovinos para abastecimento dos
 98 biodigestores, de acordo com os níveis de inclusão de RLI e com o TRH.

RLI* (% de inclusão com base nos ST)	TRH** (dias)	RLI (g)	Dejeto de Ovino (g)	Água (g)	Carga Total Diária (g)
0	12	0	223,16	1896,84	2120,00
0	17	0	167,37	1422,63	1590,00
0	22	0	120,00	1020,00	1140,00
10	12	15,50	191,36	1813,14	2020,00
10	17	10,58	130,74	1238,68	1380,00
10	22	8,13	100,42	951,45	1060,00
20	12	31,45	172,63	1845,92	2050,00
20	17	23,93	131,37	1405,00	1560,00
20	22	18,72	102,74	1098,54	1220,00
30	12	43,96	140,74	1725,30	1910,00
30	17	33,83	108,31	1327,86	1470,00
30	22	24,63	78,84	966,53	1070,00

99 *RLI: resíduo líquido de incubatório

100 **TRH: tempo de retenção hidráulica

101 Após o período de estabilização da produção de biogás teve início o período
 102 experimental, que foi de 5 semanas de acompanhamento, com mensurações diárias do volume
 103 de biogás produzido, de acordo com deslocamento vertical dos gasômetros, e multiplicando-
 104 se este valor pela área da secção transversal interna dos gasômetros obteve-se o valor em
 105 volume de biogás produzido.

106 Em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), em 1 atm e 20°C foi feita a
107 correção do volume de biogás, baseando-se no trabalho de Caetano (1985). A composição do
108 biogás foi avaliada com determinador de gás (GA-21 Plus), constituído com sensor
109 infravermelho para detectar os teores de CO₂ e CH₄. Os potenciais de produção de biogás em
110 L/kg foram obtidos ao dividir os valores de produção pela quantidade de ST, SV e DQO
111 adicionados.

112 O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial
113 4x3 (quatro níveis de inclusão de resíduo líquido de incubatório - 0, 10, 20, 30% sobre os
114 teores de ST no afluente e três diferentes tempos de retenção hidráulica- TRH- 12, 17 e 22
115 dias) em parcelas subdivididas (que representaram as cinco semanas do processo).

116 As análises de ST, SV e DQO foram realizadas conforme APHA (2012). Os teores de N
117 e EE foram avaliados de acordo com Silva e Queiroz (2006). O conteúdo de FDN foi
118 estimado seguindo metodologia de Detmann et al. (2012). O teor de C estimado de acordo
119 com Kiehl (1985). Os resultados foram submetidos à análise de variância, empregando o teste
120 F e os efeitos das inclusões de resíduo líquido de incubatório e TRH foram analisados por
121 meio da regressão, utilizando o Software R (para Windows versão 3.1.0).

122 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

123 A inclusão de diferentes proporções de RLI e dejetos de ovinos nos biodigestores
124 indicaram interação com os TRH testados na maioria dos parâmetros avaliados, conforme
125 apresentado na Tabela 3.

126 Com o TRH de 12 dias foram encontrados os menores resultados de remoção de
127 sólidos, FDN e DQO, como consequência menor produção de biogás e metano. De acordo
128 com os modelos de predição, as maiores reduções de ST observadas foram de 66,66; 69,75 e

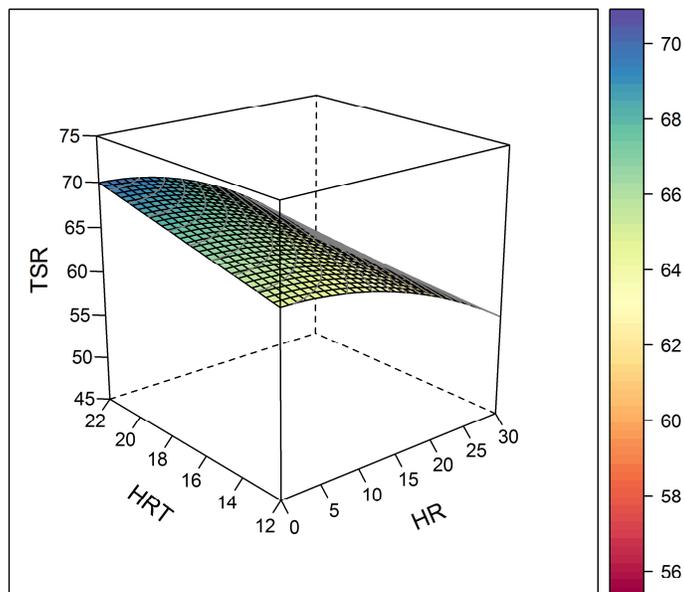
129 73,82%, com a inclusão de 12,03; 13,04 e 12,76% de RLI nos TRH 12, 17 e 22 dias,
130 respectivamente. Ao comparar estes valores máximos de redução com os obtidos sem o uso
131 do RLI, é possível observar um acréscimo nas remoções dos ST de 9,37% aos 12 dias de
132 retenção hidráulica, 11,00% com 17 dias e 16,90% com a permanência de 22 dias dentro dos
133 biodigestores, conforme evidencia a superfície resposta da Figura 1.

134 **Tabela 3.** Valores médios das variáveis de desempenho do processo da co-digestão anaeróbia de dejetos ovinos, de acordo com os
 135 níveis de inclusão de RLI e dos TRH.

Parâmetro	Médias das inclusões de RLI				Médias dos TRH			Valor de p		CV (%)	
	0%	10%	20%	30%	12	17	22	Inclusões TRH	Inclusões x TRH		
pH efluente	9,05	9,12	9,10	9,06	9,08	9,08	9,08	0,57	1,00	1,00	1,91
pH afluente	7,17	7,16	7,01	7,01	7,04	7,09	7,13	<0,01	<0,01	<0,01	0,76
Redução de ST (%)	62,31	68,08	68,87	53,89	61,16	63,99	64,72	<0,01	<0,01	0,02	4,43
Redução de SV (%)	67,11	72,84	74,34	60,87	65,41	69,51	71,44	<0,01	<0,01	<0,01	3,47
Redução de FDN (%)	43,90	44,60	44,81	44,42	43,20	44,36	45,73	0,65	<0,01	0,98	4,59
Redução da DQO (%)	52,61	58,87	55,86	51,41	52,93	55,04	56,09	<0,01	<0,01	0,03	3,38
Biogas ST ⁻¹ (L/kg)	397,76	430,61	405,82	268,41	321,46	393,03	412,46	<0,01	<0,01	<0,01	5,03
Biogas SV ⁻¹ (L/kg)	514,80	555,62	520,62	333,98	410,05	507,23	526,49	<0,01	<0,01	<0,01	5,4
Metano ST ⁻¹ (L/kg)	216,35	246,23	221,62	148,90	176,29	221,26	227,28	<0,01	<0,01	<0,01	5,31
Metano SV ⁻¹ (L/kg)	280,16	317,72	284,29	185,25	224,84	285,69	290,03	<0,01	<0,01	<0,01	5,62

136 ST: sólidos totais, SV: sólidos voláteis, FDN: fibra em detergente neutro, DQO: demanda química de oxigênio.

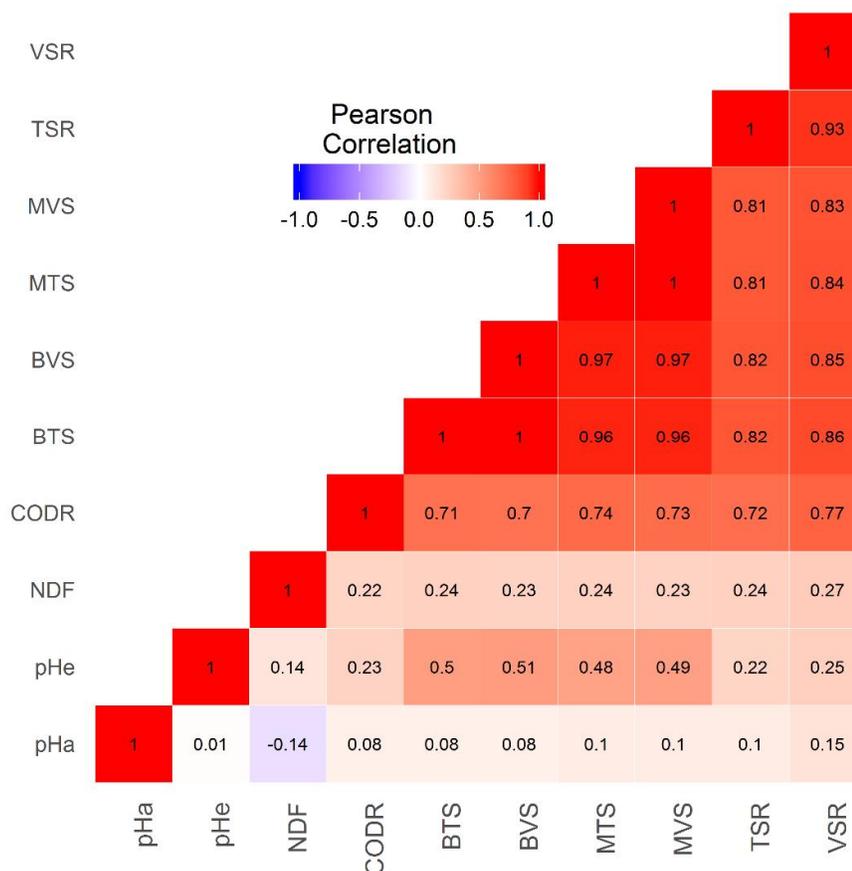
137 **Figura 1** - Superfície de resposta da redução de sólidos totais (TSR), em razão dos tempos de
138 retenção hidráulica (HRT) e das inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).



139 As altas reduções de DQO, ST e SV encontradas neste trabalho podem estar
140 relacionadas ao benefício da utilização de um resíduo líquido, na co-digestão semicontínua
141 com dejetos animais, melhorando a qualidade dos sólidos e contribuindo para maiores
142 produções de biogás e metano, conforme corroborado pelas altas correlações ($>0,72$) entre os
143 parâmetros de CODR, TSR, VSR e os potenciais de produção (BTS, BVS, MTS e MVS),
144 apresentadas na Figura 2.

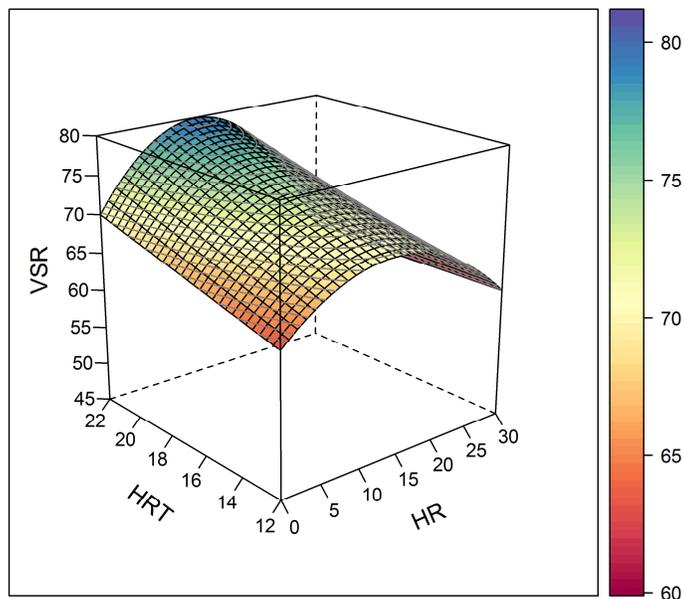
145 O comportamento crescente na degradação de ST, conforme se aumenta o TRH no
146 biodigestor era esperado, já que ocorre por causa do prolongamento do tempo de exposição
147 do substrato à ação dos microrganismos, o que também foi observado por Schwingel et al.
148 (2016) e Orrico Junior e Orrico (2015).

Figura 2 - Correlações de Pearson entre os parâmetros de redução de sólidos totais (TSR), redução de sólidos voláteis (VSR), reduções de fibra em detergente neutro (NDF), potencial hidrogeniônico do afluente (pHa) e efluente (pHe), redução da demanda química de oxigênio (CODR), produção de biogás por sólidos totais (BTS) e por sólidos voláteis (BVS), produção de metano por sólidos totais (MTS) e por sólidos voláteis (MVS).



149 Com a permanência do substrato por 22 dias nos biodigestores também houve
 150 superioridade na degradação de SV com uso de 0, 10 e 20% de RLI, já com 30% de RLI,
 151 apesar da menor redução observada, não houve diferença significativa entre os TRH. As
 152 reduções de SV demonstraram altas correlações ($>0,8$) com as produções de biogás e metano
 153 (Figura 2) e foram favorecidas com a inclusão do RLI, sendo as inclusões ideais de 13,96;
 154 13,63 e 12,46% as que proporcionaram as maiores reduções de 69,53; 75,91 e 79,44% nos
 155 TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente, conforme interação demonstrada pela superfície
 156 resposta desta variável na Figura 3.

Figura 3 - Superfície de resposta da redução de sólidos voláteis (VSR) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).



157 Em comparação com a digestão isolada dos dejetos de ovinos, as inclusões de RLI
158 proporcionaram incremento de 9,63% com 12 dias, 13,38% com 17 dias e 11,97% com TRH
159 de 22 dias, o que pode ser atribuído a melhoria da composição proporcionada pela inclusão de
160 um resíduo com fração orgânica degradável elevada (96,2% de SV). No estudo de Simm et al.
161 (2017), os autores também incrementaram a carga orgânica dos afluentes e obtiveram
162 melhoria da redução de SV com a adição do resíduo glicerina bruta, rica em SV, juntando-a à
163 dejetos bovinos em biodigestores semicontínuos com TRH de 10, 17 e 24 dias. Estes
164 resultados positivos nas duas pesquisas foram alcançados com TRH parecidos (22 e 24 dias) e
165 o processo evidenciou limitação de inclusão mesmo nestes maiores períodos de permanência,
166 o que segundo Simm et al. (2017), evidencia a importância de manter o substrato por um
167 período que permita a adaptação do meio à sua composição, especialmente quando a carga
168 orgânica possui compostos mais complexos.

169 A determinação de frações fibrosas, como a FDN, é importante parâmetro de avaliação
170 de constituintes fibrosos, pois teores elevados no material de digestão podem diminuir a ação
171 microbiana, redução e degradabilidade do resíduo, conseqüentemente afetar o processo de
172 biodigestão e reduzir a produção de biogás.

173 O RLI aumentou carga orgânica dos afluentes, por causa dos altos conteúdos de extrato
174 etéreo (37,6%) deste resíduo. No entanto, o RLI não incrementou o aumento das frações
175 fibrosas, o que resultou na diminuição dos teores de FDN. O processo não proporcionou
176 reduções de FDN acima de 47% e não houve efeito significativo do RLI, sendo encontrado
177 somente efeito dos TRH, com reduções de 45,73% e 44,36% com TRH de 22 e 17 dias,
178 respectivamente, ambos superiores estatisticamente em relação à redução de 43,20% com uso
179 do TRH de 12 dias.

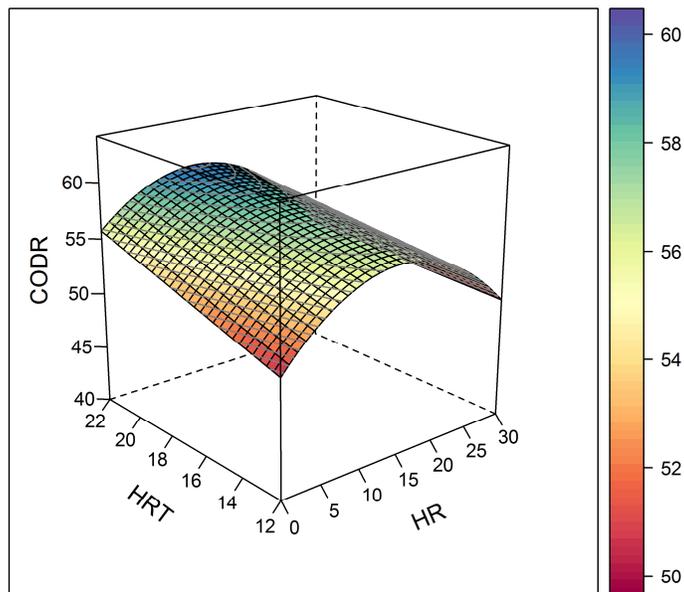
180 Lopes et al. (2016) encontraram maiores remoções de FDN e obtiveram efeito do RLI
181 em conjunto com dejetos de bovinos em biodigestores bateladas, com redução de até 53,2%
182 de FDN ao incluir 22,3% de RLI, sugerindo como causa a degradação da fração hemicelulose,
183 por ser o composto mais disponível em FDN. Simm et al. (2017) também obtiveram reduções
184 de 47,86 e 52,48% de FDN nos tempos de 17 e 24 dias com inclusões de 5,03 a 3,85% de
185 glicerina bruta, respectivamente.

186 Para Glatz et al. (2011), os resíduos de ruminantes contêm materiais fibrosos que,
187 frequentemente, podem interferir negativamente no processo, causando bloqueios, por
188 exemplo, que então poderiam ser minimizados com a agitação dos substratos em digestão.
189 Porém, os dejetos de ovinos possuíam 58,93% de FDN, mesmo teor de Lopes et al. (2016) e
190 teor próximo aos dos dejetos de bovinos utilizados por Simm et al. (2017) e em nenhum dos
191 experimentos foi relatado este entrave dos materiais fibrosos.

192 Ainda comparando os valores e comportamentos de remoção de FDN dos trabalhos
193 acima mencionados, vale ressaltar a baixa correlação ($<0,3$) deste parâmetro com todos os
194 demais avaliados neste trabalho, com destaque para a menor correlação (0,14) com o pH de
195 saída dos biodigestores (Figura 2). Simm et al. (2017) afirmam que a hemicelulose é um
196 componente importante da fração fibrosa total e apresenta uma rápida dissolução no pH ácido,
197 e, ainda, apresentam maiores remoções da hemicelulose quando observados valores inferiores
198 a 6,30. Já as mensurações dos pH dos efluentes dos biodigestores apresentaram valores muito
199 mais próximos da neutralidade, entre 6,85 e 7,27, o que não favorece a dissolução da
200 hemicelulose e remoção de parte da FDN.

201 A inclusão RLI eleva os teores de DQO dos afluentes, apresentando 184,64 gO₂/litro
202 com 0%; 268,72 gO₂/litro com 10%; 284,59 gO₂/litro com 20% e 302,86 gO₂/litro com adição
203 de 30% de RLI. De acordo com Cirne et al. (2007) e Simm et al. (2017), concentrações
204 superiores a 670 g O₂/litro de afluente podem causar um acúmulo de ácidos graxos,
205 consequente redução do pH e influência adversa à atividade metanogênica, o que não foi
206 observado nesta pesquisa, já que as concentrações foram bem inferiores ao limitante e o pH
207 também não sofreu queda para evidenciar acidificação. Esta redução de DQO foi favorecida
208 pela interação entre o maior TRH e inclusões inferiores a 15% de RLI, como confirma o
209 comportamento da superfície resposta da Figura 4.

210 **Figura 4** - Superfície de resposta da redução da demanda química de oxigênio (CODR) em
 211 razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e inclusões de resíduo líquido de
 212 incubatório (HR).

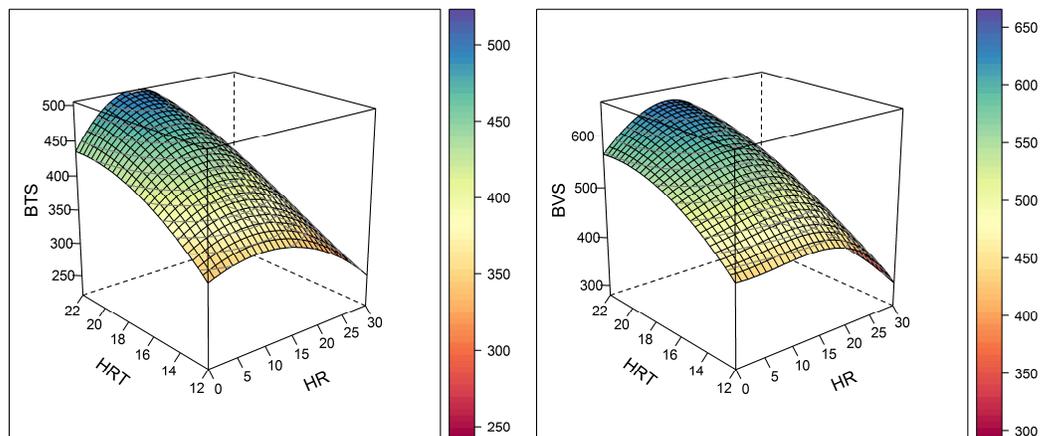


213 As inclusões de 14,78; 14,43 e 12,65% de RLI proporcionaram as maiores reduções da
 214 DQO, que foram de 55,71; 58,00 e 60,59% nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente.
 215 Utilizando biodigestores batelada, Orrico Junior e Orrico (2015) alcançaram remoção de
 216 DQO próxima a estes valores, variando de 45,74 a 61,79% na co-digestão de dejetos de
 217 carneiros com a adição de 15% de glicerina, que também contribuiu para elevar esta demanda
 218 por oxigênio dos afluentes.

219 Nas produções específicas de biogás, as inclusões de 6,35 e 6,44% de RI
 220 proporcionaram 355,21 L.kg⁻¹ ST e 457,59 L.kg⁻¹ SV, respectivamente, com o TRH de 12
 221 dias. Com o TRH de 17 dias as inclusões de 11,90 e 11,49% resultaram nas produções de
 222 458,20 L.kg⁻¹ ST e 595,44 L.kg⁻¹ SV, respectivamente. O maior período de permanência em
 223 digestão apresentou as maiores produções de biogás de 507,20 L.kg⁻¹ ST com a inclusão de

224 9,81% de RLI, e 652,47 L.kg⁻¹ SV com inclusão ideal de 9,71% do RLI. A superfície da
 225 reposta das produções de biogás são apresentadas na Figura 5.

226 **Figura 5** - Superfície de resposta da produção de biogás por sólidos totais (BTS) e por sólidos
 227 voláteis (BVS) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e das inclusões
 228 de resíduo líquido de incubatório (HR).

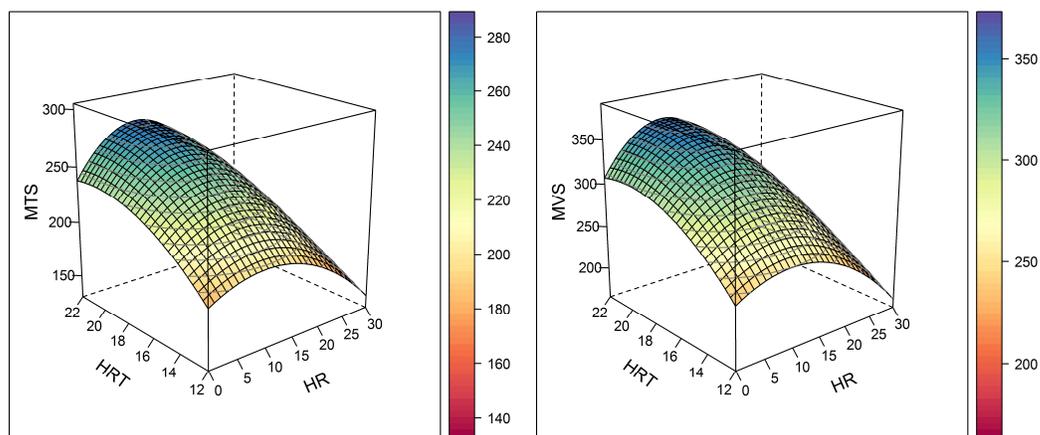


229 Os valores alcançados aqui foram inferiores aos observados por Simm et al. (2017),
 230 quando testaram inclusões de glicerina com dejetos bovinos em biodigestores semicontínuos,
 231 pois utilizando TRH de 10, 17 e 24 dias com as inclusões de 0,91; 2,7 e 3,6% de glicerina
 232 alcançaram 910; 1720 e 2420 L.kg⁻¹ ST, respectivamente, e sobre os SV adicionados a
 233 produção foi de 1270; 2370 e 3310 L.kg⁻¹ SV, respectivamente. A distinção de valores com os
 234 destes autores podem ter relação com o efeito dos diferentes resíduos em relação ao aumento
 235 da DQO da glicerina, indicando o aumento de compostos mais complexos nos substratos, que
 236 mesmo reduzindo pH, não prejudicou a atividade dos microrganismos e melhorou produção
 237 de biogás.

238 As máximas produções específicas de metano por ST foram de 195,18; 263,68 e 277,31
 239 L.kg⁻¹, possibilitadas pelas inclusões ideais de RLI de 9,80; 10,92 e 10,55% nos TRH de 12,
 240 17 e 22 dias, respectivamente. Conforme os modelos de predição, as inclusões de 9,60% no

241 TRH 12, 10,56% no TRH 17 e 10,43% de RI no TRH 22 foram capazes de gerar 251,28;
 242 342,78 e 356,90 L.kg⁻¹ SV, respectivamente, como apresentado no comportamento das
 243 superfícies resposta dos gráficos da Figura 6.

244 **Figura 6** - Superfície de resposta da produção de metano por sólidos totais (MTS) e por
 245 sólidos voláteis (MVS) em razão dos tempos de retenção hidráulica (HRT) e das
 246 inclusões de resíduo líquido de incubatório (HR).



247 O teor de metano presente no biogás é um parâmetro importante que deve ser
 248 considerado nas análises, em razão do potencial do gás em gerar energia. No presente estudo,
 249 os teores máximos de metano obtidos com níveis ótimos de inclusões foram de 54, 57 e 54%
 250 nos TRH de 12, 17 e 22 dias, respectivamente. Os resultados obtidos por Lopes et al. (2016)
 251 foram de 66% de metano, valor superior ao presente estudo, evidenciando que os substratos
 252 utilizados no experimento proporcionaram melhores condições de fermentação.

253 Em pesquisa realizada por Wan et al. (2011) na co-digestão em biodigestores
 254 semicontínuos, empregando 36% de águas residuais e 64% de resíduos lipídios com TRH de
 255 15 dias, obtiveram produções específicas de metano de 598 L Kg⁻¹ SV adicionados, produção
 256 superior em 137% em relação a digestão isolada de águas residuais, em que a composição
 257 média do biogás estabilizou-se em 66,8% de CH₄ e 29,5% de CO₂. De acordo com o estudo, a

258 conversão adicional do Ácidos Graxos Voláteis (AGVs) e CO₂ para metano conduziu o
259 conteúdo de CO₂ abaixo de 30% e a concentração de AGVs abaixo de 2000 mg/L nos
260 biodigestores durante o período experimental, resultando na manutenção do conteúdo de
261 metano em 66%. A pesquisa também indicou queda na produção de biogás, a partir da adição
262 de 74% de resíduos lipídicos.

263 Os resultados do presente trabalho mostram que inclusões de resíduo líquido de
264 incubatório superiores a 12% resultaram numa diminuição da produção de biogás e metano.
265 Essa diminuição da produção de biogás a partir de inclusões superiores a 12% de resíduo
266 líquido de incubatório pode estar relacionada à acumulação de ácidos graxos voláteis de
267 cadeia longa (LCFAs), em razão dos altos teores de lipídios (37,60% EE), que inibiu a
268 atuação das bactérias metanogênicas, resultando em baixa degradabilidade do resíduo e
269 produção de biogás.

270 Em trabalho desenvolvido por Alqarelleh et al. (2016), avaliando a co-digestão
271 anaeróbia de águas residuais e diferentes misturas de resíduos com teores elevados de lipídios
272 (até 80% com base nos SV total), em dois estágios de digestão: termofílico (55°C) e hiper-
273 termofílico (75°C), observaram um efeito significativo na produção máxima de metano com a
274 inclusão de 60% (base nos SV) de resíduos lipídicos, com produção de 673,1 ml de metano/g
275 SV, tendo um aumento de 112,7% em relação ao tratamento controle.

276 De acordo com o trabalho acima mencionado, a partir da inclusão de 80% de resíduos
277 lipídicos ocorreu uma redução significativa na produção de metano e se deve a vários fatores:
278 tipos de resíduos na mistura, tipo de digestão (mesofílico, termofílico, hiper-termofílico), tipo
279 de biodigestores (batelada, semicontínuo). No entanto, os pesquisadores também relacionam
280 ao aumento da concentração de LCFAs, que causa um efeito tóxico sobre os microrganismos
281 metanogênicos, uma vez que a adsorção dos LCFAs para células metanogênicas pode causar

282 danos a membrana celular e inibir o transporte de nutrientes, fenômeno que ocorre através da
283 parede celular, o que diminui a atividade dos microrganismos.

284 Com o objetivo de identificar possíveis causas de alterações na composição dos dejetos
285 de bovinos, e consequente efeito sobre a biodigestão anaeróbia, Orrico Junior et al. (2012)
286 concluíram que o aumento da proporção de concentrado de 40 para 60% na dieta refletiu em
287 acréscimo de 26,31% na produção de metano. Já Cestonaro et al. (2015) consideram que as
288 características dos dejetos de ovinos em grânulos podem ser um entrave ao processo,
289 ressaltando também a melhoria do processo quando são tratados mais de um resíduo em
290 relação à digestão isolada, e por isso testaram a digestão de cama de ovinos, após os animais,
291 involuntariamente, causar maceração prévia da cama em massa mais homogênea.

292 Neste trabalho de Cestonaro et al. (2015) a cama era composta por palha de arroz e após
293 um período extenso de permanência nos biodigestores batelada (159 dias) foram encontradas
294 produções inferiores aos do presente estudo, sendo $212 \pm 14,1$ litros de biogás por kg de ST
295 somente com os dejetos em meio a cama, e 221 ± 8 L.kg⁻¹ ST com a proporção de 75% de
296 cama de ovino e 25% de dejetos de bovinos leiteiros alimentados com concentrado na
297 proporção de 60:40 na dieta, o que indica que a complementação do substrato com outro
298 resíduo deveria ter contemplado a inclusão de compostos mais disponíveis para potencializar
299 o processo.

300 De acordo com os resultados do presente estudo, a co-digestão anaeróbia de dejetos de
301 ovinos com inclusões de resíduo líquido de incubatório foi eficiente no tratamento dos
302 resíduos, permitindo reduzir constituintes sólidos e fibrosos, bem como incrementou a
303 produção de biogás e metano.

CONCLUSÕES

304

305 1. As inclusões de 12,65 e 12,76% de RLI permitiram as maiores reduções de DQO (60,59%)
306 e ST (73,82%), empregando um TRH de 22 dias. No entanto, a adoção do TRH de 17 dias
307 também obteve bom comportamento nas reduções e parâmetros avaliados;

308

309 2. A adoção do TRH de 22 dias proporcionou as maiores produções de biogás e metano, com
310 a inclusão de 9,81 e 10,55% de RLI, com produções de 507,20 L Kg⁻¹ e 277,31 L Kg⁻¹ de ST,
respectivamente;

311

312 3. A composição do biogás ficou em 54 e 57% de metano, independente do TRH e das
inclusões de resíduo líquido de incubatório.

313

REFERÊNCIAS

314

315 ALQARALLH, R. M. et al. Thermophilic and hyper-thermophilic co-digestion of waste
316 activated sludge and fat, oil and grease: Evaluating and modeling methane production.
Journal of Environmental Management, v. 183, p. 551-561, 2016.

317

318 APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for examination of water and wastewater**. 22.
ed. Washington: American Public Health Association. p. 1368, 2012.

319

320 CESTONARO, T. *et al.* The anaerobic co-digestion of sheep bedding and > 50% cattle
321 manure increases biogas production and improves biofertilizer quality. **Waste
Management**, v. 46, p. 612-618, 2015.

322

323 CIRNE, D. G. *et al.* Anaerobic Digestion of lipid-rich waste – Effects of lipid concentration.
Renewable Energy, v. 32, p. 965-975, 2007.

324

325 DETMANN, E. et al. **Métodos para análise de alimentos**. INCT – Ciência Animal. 1 ed. p.
214, Visconde do Rio Branco, MG, 2012.

- 326 GLATZ, P.; MIAO, Z.; RODDA, B. Handling and Treatment of Poultry Hatchery Waste: A
327 Review. **Sustainability**, v. 3, p. 216-237, 2011.
- 328 Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (IBGE). 2016. Disponível em:
329 <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/default_sgb_int.shtm?c=1>. Acesso em:
330 06 de julho de 2017.
- 331 KIEHL, E. J. **Fertilizantes orgânicos**. Agronômica Ceres. 5.ed, São Paulo,p. 492, 1985.
- 332 LOPES, W. R. T. *et al.* The Addition of Hatchery Liquid Waste to Dairy Manure Improves
333 Anaerobic Digestion. **Brazilian Journal of Poultry Science**, v. 2, p. 65-70, 2016.
- 334 MARTÍNEZ, E. J. *et al.* Anaerobic Codigestion of Sludge: Addition of Butcher's Fat Waste
335 as a Cosubstrate for Increasing Biogas Production. **PLOS ONE**, v. 11, n. 4, 2016.
- 336 MATTER, J. M. *et al.* Anaerobic co-digestion of hatchery waste and wastewater to produce
337 energy and biofertilizer - Batch phase. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e**
338 **Ambiental**, v.21, n.9, p.651-656, 2017.
- 339 ORRICO JUNIOR et al. Biodigestão anaeróbia dos dejetos da bovinocultura de corte:
340 influência do período, do genótipo e da dieta. **Revista Brasileira Zootecnia**, v. 41, n. 6, p.
341 1533-1538, 2012.
- 342 ORRICO JUNIOR, M. A.; ORRICO, A. C. A. Quantification, Characterization, and
343 Anaerobic Digestion of Sheep Manure: The Influence of Diet and Addition of Crude
344 Glycerin. **Environmental Progress & Sustainable Energy**, v. 34, n. 4, p. 1038-1043, 2015.
- 345 SCHWINGEL, A. W. et al. Desempenho da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com
346 inclusão de glicerina bruta. **Revista Ciência Agronômica**, v. 47, n. 4, p. 778-783, 2016.
- 347 SILVA, D. J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed.
348 Viçosa: Editora Universitária, 2006, p.166.
- 349 SIMM, S. *et al.* Crude glycerin in anaerobic co-digestion of dairy cattle manure increases
350 methane production. **Scientia Agricola**, v. 74, n. 3, p.175-179, 2017.

351 WAN, C. et al. Semi-continuous anaerobic co-digestion of thickened waste activated sludge
352 and fat, oil and grease. **Waste Management**, v.31, p.1752-1758, 2011.

IMPLICAÇÕES

353
354

355 No presente estudo a inclusão de 10 a 15% de RLI no dejetos de ovino, utilizando
356 biodigestores semicontínuos, por meio da técnica da co-digestão se mostrou eficiente na
357 redução de constituintes sólidos e no aumento da produção de biogás e metano, tornando-se
358 uma técnica que pode ser utilizada por indústrias e estabelecimentos rurais para produção de
359 energia e biofertilizante.

360 Nos incubatórios a geração de resíduos é constante, o que demanda um sistema de
361 tratamento eficiente capaz de reutilizar o resíduo sob a forma de energia ou adubo orgânico.
362 Para isso os resultados do presente estudo apontaram que o TRH de 22 dias foi o que
363 apresentou as maiores reduções de ST e DQO, como também as maiores produções de biogás
364 e metano.

365 Em se tratando de grandes incubatórios que produzem grandes quantidades de resíduos
366 diariamente, a adoção de TRH de 22 dias implicaria em maior tempo de tratamento, o que
367 diminuiria o volume de resíduo tratado. No entanto, a adoção de TRH de 17 dias permitiria
368 tratar um volume maior de resíduos, fato que pode beneficiar indústrias que venham adotar
369 esta tecnologia.

370 A composição do RLI deve ser melhor avaliada no processo de co-digestão anaeróbia,
371 principalmente sobre os teores de lipídios, pois a partir de inclusões superiores a 15% de RLI,
372 o processo de co-digestão sofreu diminuição na produção de biogás e metano. No sentido de
373 melhorar as condições de fermentação do meio outros resíduos poderiam ser estudados.