



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

**CO-DIGESTÃO DE EXCRETAS DE SUÍNOS ASSOCIADAS À  
DOSES CRESCENTES DE GLICERINA BRUTA**

ALICE WATTE SCHWINGEL

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal

Dourados-MS  
Fevereiro – 2014



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS**

**FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CO-DIGESTÃO DE EXCRETAS DE SUÍNOS ASSOCIADAS À  
DOSES CRESCENTES DE GLICERINA BRUTA**

**ALICE WATTE SCHWINGEL**

Zootecnista

Orientadora: Ana Carolina Amorim Orrico

Co-Orientador: Marco Antônio Previdelli Orrico Junior

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Zootecnia.

Área de Concentração: Produção Animal

Dourados-MS  
Fevereiro – 2014

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).**

S415c	Schwingel, Alice Watte. Co-digestão de excretas de suínos associadas à doses crescentes de glicerina bruta. / Alice Watte Schwingel. – Dourados, MS : UFGD, 2014. 60f.  Orientadora: Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal da Grande Dourados.  1. Biodiesel. 2. Biogás. 3. Resíduos. 4. Suinocultura; 5. Tempo de retenção hidráulica. I. Título.  CDD – 662.669
-------	---

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central – UFGD.**

**©Todos os direitos reservados. Permitido a publicação parcial desde que citada a fonte.**

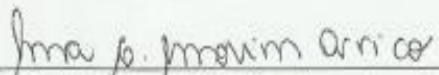
**“Co-digestão de excretas de suínos associadas à doses crescentes de glicerina bruta”**

por

**ALICE WATTE SCHWINGEL**

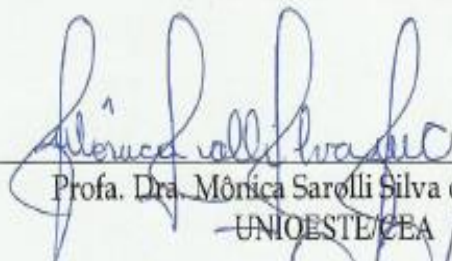
Dissertação apresentada como parte dos requisitos exigidos para obtenção do título  
de MESTRE EM ZOOTECNIA

Aprovada em: 25/02/2014



---

Profa. Dra. Ana Carolina Amorim Orrico  
Orientador – UFGD/FCA



---

Profa. Dra. Mônica Sarolli Silva de Mendonça  
- UNIOESTE/CEA



---

Prof. Dr. Rodrigo Garófallo Garcia  
UFGD/FCA

## **BIOGRAFIA DO AUTOR**

**Alice Watte Schwingel**, filha de Marco Aurélio Schwingel e Lúcia Tereza Watte Schwingel, nasceu na cidade de Dourados, em Mato Grosso do Sul, no dia 27 de setembro de 1990. Estudou todo o ensino fundamental e médio em escola pública, concluindo o segundo grau aos 15 anos. Aos 16 anos de idade ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados e em 2010 concluiu o ensino superior. No ano de 2011 participou do processo seletivo e foi aprovada para ingresso no Programa de Pós - Graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados, área de concentração Produção Animal, com início do ano letivo em 2012.

**“O bem que você faz hoje pode ser esquecido amanhã.  
Faça o bem assim mesmo. Veja que, no final das contas, é  
tudo entre você e Deus! Nunca foi entre você e os outros.”  
Madre Tereza de Calcutá**

## **DEDICATÓRIA**

**Dedico este trabalho a Deus que me deu a vida e sempre está ao meu lado me orientando com muito amor e sabedoria. Aos meus pais e familiares por sempre acreditar e incentivar minha caminhada. Ao meu noivo por nunca desistir dos nossos sonhos e ser o meu companheiro de todos os momentos, sempre te amarei.**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Marco e Lúcia, pelo amor, incentivo e esforço que sempre fizeram por mim, obrigada pela nossa família ser a melhor que eu poderia desejar.

Às minhas irmãs, Ângela e Anailce, que sempre serão meus orgulhos, obrigada por tantos momentos de alegria e descontração até mesmo em tempos difíceis.

Ao demais familiares, sogros e cunhadas, sempre na torcida para que tudo ocorresse bem.

Ao Pablo, pelo exemplo de lealdade, bondade e caráter. Obrigada pelo amor e por sempre acreditar em mim, me incentivando a oferecer o meu melhor e a acreditar que, mesmo não alcançando a perfeição, devemos nos orgulhar dos nossos esforços.

Aos grandes amigos, Nilsa, Natália, Andrea Fernanda, Aryadne, Willian, Felipe e Fábio pelo companheirismo e apoio, sem vocês eu não seria tão feliz.

À minha querida orientadora, Dra. Ana Carolina Amorim Orrico, pela paciência, carinho e ensinamentos, obrigada por ser tão atenciosa e me ajudar a evoluir. Tenha certeza que és um exemplo a ser seguido não só como excelente e dedicada profissional, mas também ser humano iluminado, sempre tão amorosa e preocupada com o próximo e com seus orientados.

Ao meu co-orientador, Dr. Marco Antônio Previdelli Orrico Júnior, por toda orientação durante a fase final e mais trabalhosa deste trabalho. Obrigada por tantos ensinamentos, atenção, paciência e exemplo de vida. Que Deus sempre abençoe o senhor e sua família.

Aos professores, Dr. Leonardo Oliveira Seno, Dr. Alexandre Rodrigo M. Fernandes, Dr. Fernando Miranda de Vargas Junior e Dr. Rodrigo Garófallo Garcia pelo exemplo de profissionais e constante disposição em ajudar, muito obrigada.

Aos meus companheiros de pesquisa, Carla Crone, Débora Manarelli, Franciely Neves, Nara Sales, Natália Sunada, Silvana Simm, Stanley Centurion e Walter Teixeira, pelo auxílio indispensável na condução do experimento, e pela convivência e amizade, da maioria, sempre os lembrarei com muito carinho.



Aos técnicos laboratoriais, em especial a Maria Gizelma Gressler, Elda Silva e João Machado, pelo ajuda na condução de análises e ensinamentos compartilhados.

Ao secretário do Programa de Pós-graduação em Zootecnia – UFGD, Ronaldo Pasquim de Araújo, sempre nos ajudando com muita calma e paciência, mas acima de tudo com muita eficiência, obrigada.

Aos funcionários das suinoculturas fornecedoras de material essencial para condução deste trabalho, obrigada pela gentileza, auxílio e simpatia.

Aos companheiros de mestrado, pela força, amizades e momentos de descontração.

Ao Programa de Pós-graduação em Zootecnia da Universidade Federal da Grande Dourados-UFGD pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante parte do curso de mestrado.

A todos que de forma direta ou indireta contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

**Muito Obrigada!**

## SUMÁRIO

	Página
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>VII</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>VIII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>IX</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>X</b>
<b>CAPÍTULO 1.....</b>	<b>1</b>
INTRODUÇÃO.....	2
REVISÃO DE LITERATURA .....	4
OBJETIVO GERAL.....	10
<i>Objetivos específicos .....</i>	<i>10</i>
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	11
<b>CAPITULO 2.....</b>	<b>15</b>
<b>Co-digestion of swine feces associated with increasing doses of crude glycerin .....</b>	<b>16</b>
RESUMO .....	17
ABSTRACT .....	18
INTRODUÇÃO.....	19
MATERIAL E MÉTODOS.....	19
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	22
<i>Produção e potenciais de produção de biogás.....</i>	<i>22</i>
<i>Reduções dos sólidos, DQO, coliformes e FDA.....</i>	<i>27</i>
<i>Caracterização do biofertilizante: N, P e K.....</i>	<i>33</i>
CONCLUSÃO.....	35
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	36
<b>IMPLICAÇÕES .....</b>	<b>38</b>
<b>APÊNDICE I .....</b>	<b>39</b>
<b>APÊNDICE II.....</b>	<b>43</b>

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1. Quantidade de excreta, água, glicerina bruta e glicerol adicionados diariamente aos biodigestores operados com diferentes doses de glicerina bruta e tempos de retenção hidráulica (TRH). .....	21
---	----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Modelos de regressão para a produção total de biogás nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta. ....	22
Figura 2. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por volume de afluente nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta. ....	23
Figura 3. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por grama de sólidos totais (ST) nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta. ....	23
Figura 4. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por grama de sólidos voláteis (SV) nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta. ....	24
Figura 5. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por grama de demanda química de oxigênio (DQO) adicionada nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta. ....	25
Figura 6. Modelos de regressão para as reduções de sólidos totais (ST) de cada dose de glicerina bruta em função dos tempos de retenção hidráulica (TRH). ....	27
Figura 7. Modelos de regressão para as reduções de sólidos voláteis (SV) de cada dose de glicerina bruta em função dos tempos de retenção hidráulica (TRH). ....	28
Figura 8. Modelo de regressão do efeito dos tempos de retenção hidráulica (TRH) sobre as reduções da demanda química de oxigênio (DQO). ....	30
Figura 9. Reduções de fibra em detergente ácido nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta. ....	32
Figura 10. Modelo de regressão do efeito dos tempos de retenção hidráulica (TRH) sobre as reduções de nitrogênio (N). ....	33
Figura 11. Reduções de fósforo (P) dos substratos contendo 5 e 15% de glicerina bruta em função dos tempos de retenção hidráulica (TRH). ....	33
Figura 12. Reduções de potássio (K) dos substratos contendo 5 e 15% de glicerina bruta em função dos tempos de retenção hidráulica (TRH). ....	34

## RESUMO

SCHWINGEL, A.W. **Co-digestão de excretas de suínos associadas à doses crescentes de glicerina bruta**. 2014 Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, 2014.

A produção brasileira de grãos deverá passar de 184,2 milhões de toneladas para 222,3 milhões nos próximos dez anos. Parte deste crescimento se deve às políticas de incentivo à produção dos biocombustíveis, como o biodiesel que compõe 3% do diesel consumido no país. O setor pecuário também faz parte da demanda por grãos, e para a produção de carnes projeta-se aumento de 9,3 milhões de toneladas, representando acréscimo de 34,9% em relação à produção de carnes de 2012/2013. Apesar dos dados econômicos favoráveis, estes setores preocupam do ponto de vista ambiental, principalmente no que se refere à produção dos resíduos: glicerina bruta e dejetos animais. A biodigestão anaeróbia é uma técnica que permite reciclar os resíduos orgânicos e gerar energia na forma de metano. Em condições anaeróbias a co-digestão tem sido explorada com maior ênfase nos sistemas que utilizam excretas da produção animal associados a outros resíduos que possam estabilizar o processo. A co-digestão anaeróbia é influenciada por diversos fatores, dentre eles o tempo de retenção do material nos biodigestores. O objetivo desta dissertação foi acompanhar o desempenho do processo de co-digestão anaeróbia de excretas de suínos associado com crescentes doses de glicerina bruta, adotando-se diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH). O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4, três TRH (10, 17 e 24 dias) e quatro doses de glicerina bruta (0, 5, 10 e 15% dos sólidos totais), com quatro repetições por tratamento. O potencial de produção de biogás por sólidos voláteis adicionados apresentou efeito quadrático nos TRH 17 e 24, evidenciando como doses ideais 5,5 e 5,9% de glicerina bruta, respectivamente. Os valores de reduções de DQO apresentaram efeito significativo dos TRH, com 24 dias proporcionando os melhores resultados. Foram observadas reduções de mais de 99% dos coliformes, mas não houve diferença estatística entre os tratamentos. A inclusão de 5 a 6% de glicerina bruta, nos maiores TRH, mostrou-se mais eficaz na produção de biogás e o TRH de 24 dias evidenciou as maiores reduções dos sólidos, DQO e coliformes à partir da co-digestão com excretas suínos.

**Palavras-chave:** biodiesel, biogás, resíduo, suinocultura, tempo de retenção hidráulica.

## ABSTRACT

SCHWINGEL, A.W. **Co-digestion of swine feces associated with increasing doses of crude glycerin.** 2014 Thesis (M.Sc.) – Faculty of Agricultural Sciences, Federal University on the Grande Dourados, 2014.

The Brazilian grain production will increase from 184.2 million tonnes to 222.3 million over the next ten years. Part of this growth is due to the production of biofuels incentive policies, such as biodiesel that makes up 3% of the diesel consumed in the country. The livestock sector is also part of the demand for grain and meat production is projected to increase to 9.3 million tons, representing a increase of 34.9% in the production of meat in 2012/2013. Despite the favorable economic data, such sector concern from an environmental point of view, particularly as regards the production of waste: crude glycerin and animal feces. Anaerobic digestion is a technique that lets you recycle organic waste and generate energy as methane. In anaerobic conditions the co-digestion has been explored with greater emphasis on animal production systems that use the excreta associated with other waste that can stabilize the process. Anaerobic co-digestion is influenced by several factors, including the retention time of the material in biodigesters. The aim of this work was to monitor the performance of anaerobic co-digestion process excreta of pigs associated with increasing doses of crude glycerin, adopting different hydraulic retention times (HRT). The design was completely randomized in a 3x4 factorial design, three HRT (10, 17 and 24 days) and four crude glycerin rates (0, 5, 10 and 15% of total solids), with four replicates per treatment. The biogas production potential for volatile solids added showed a quadratic effect on TRH 17 and 24, showing how optimal doses 5.5 and 5.9% crude glycerin, respectively. Values of COD reductions significant effect of HRT, 24 days old providing the best results. Over 99% reductions were observed for coliforms, but there was no statistical difference between treatments. Adding 5-6% crude glycerin, in the largest HRTs, was more effective in producing biogas and 24 days HRT showed the greatest reductions of solids, COD and coliforms from the co-digestion with feces swine.

**Key-words:** biogas, pig farming, hydraulic retention time.

**CAPÍTULO 1**  
**(CONSIDERAÇÕES INICIAIS)**

## INTRODUÇÃO

O Brasil é a sexta maior economia do mundo, tendo como base a agropecuária. Segundo projeções do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA, 2013), a produção de grãos do país deverá passar de 184,2 milhões de toneladas para 222,3 milhões nos próximos dez anos. Parte deste crescimento se deve às políticas de incentivo à produção dos biocombustíveis, como o biodiesel que compõe 3% do diesel consumido no país. Já para a produção de carnes (bovina, suína e aves) projeta-se aumento de 9,3 milhões de toneladas, representando acréscimo de 34,9% em relação à produção de carnes de 2012/2013.

Apesar dos dados econômicos favoráveis, estes setores preocupam do ponto de vista ambiental, principalmente no que se refere à produção de resíduos. A produção do biodiesel gera um co-produto conhecido como glicerina bruta, que é composta em maior proporção por glicerol, ácidos graxos e metanol, lhe conferindo assim alto potencial poluidor. A glicerina bruta pode ser purificada e utilizada pela indústria na produção de detergentes, cosméticos e alimentos, no entanto sua produção está muito acima da demanda do país, levando a um acúmulo destes resíduos nas indústrias produtoras.

Já na produção animal, principalmente na suinocultura, o principal problema ambiental enfrentado é a elevada produção de excretas, resultado do sistema intensivo de produção destes animais de ineficiente conversão alimentar quando comparados com outras espécies não-ruminantes e pela concentração das unidades produtoras em algumas regiões do país.

Diante disso são necessárias alternativas que permitam tratar estes resíduos de maneira eficiente e que não resultem em aumento do custo do produto final. A biodigestão anaeróbia é uma técnica que permite reciclar os resíduos orgânicos e gerar energia na forma de metano. Em condições anaeróbias a co-digestão tem sido explorada com maior ênfase nos sistemas que utilizam excretas da produção animal associados a outros resíduos que possam estabilizar o processo. A glicerina bruta se caracteriza pela elevada quantidade de glicerol que é facilmente utilizada pelos microrganismos anaeróbios para a obtenção de energia. Já as excretas de suínos apresentam elevados teores de N e P que são essenciais para o crescimento microbiano.



Desta forma, o desenvolvimento da proposta de trabalho baseia-se nos benefícios que podem ser agregados com a utilização da glicerina bruta no preparo de substratos à base das excretas de suínos sobretudo referentes às produções de biogás e metano obtidas em condições específicas de adição de glicerina bruta, diluição e tempo de permanência dos substratos em biodigestores semi-contínuos.

Esta dissertação é composta por dois capítulos, sendo o primeiro composto pelas considerações iniciais, revisão de literatura sobre o assunto e objetivos gerais e específicos, redigido conforme as normas para elaboração de dissertação do programa de pós-graduação em produção animal da UFGD, e o segundo um artigo científico escrito seguindo as normas para publicação da revista Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, disponíveis no endereço eletrônico: <http://www.ajas.info/authors/authors.php>.

## REVISÃO DE LITERATURA

A população mundial deverá chegar a nove bilhões até 2050 segundo estimativas da FAO (2012), e para atender ao aumento da demanda, a produção mundial de alimentos deverá crescer 70% em relação a atual. Nos últimos dez anos o consumo mundial de carne dobrou e neste cenário a carne suína continua a mais consumida e produzida, portanto, dentro desta perspectiva a produção suinícola tende a aumentar.

O Brasil se destaca no cenário mundial como produtor de suínos, ocupando a 4ª posição no ranking. A produção mundial atingiu 107.514.000 toneladas de carcaças suínas, e a brasileira 3.370.000 toneladas de carcaça em 2013 (ABIPECS, 2014). O país possui ainda, grande potencial produtivo neste setor, sendo uma das razões a utilização de sistemas intensificados. Entretanto, o desenvolvimento de tecnologias que possibilitam esta intensificação pode causar danos ambientais por condensar grande quantidade de excretas em áreas limitadas.

Segundo dado divulgado pela ABIPECS (2013), o Brasil possuía em 2012 um efetivo de 37.631.000 suínos em escala industrial. O Mato Grosso do Sul representava 3,37% do total destes suínos, contando com rebanho de 1.269.000 cabeças suínas. Considerando uma produção de 8,6 litros de efluente por suíno ao dia, como apresentada por Oliveira (2004), somente em Mato Grosso do Sul foram produzidos diariamente 10.913.400 litros de dejetos, no ano de 2012.

A quantidade de resíduos gerados em uma suinocultura está diretamente relacionada a quantidade de animais em cada fase de produção. Em uma propriedade de ciclo completo, por exemplo, com um plantel de 1000 matrizes produzindo em média um total de 21.500 litros de dejetos por dia (média de Oliveira (2004): porcas em gestação: 16 l/dia e porcas em lactação: 27 l/dia) tem-se em um ano 7.847.500 litros de dejetos somente com esta categoria, e considerando-se 2,4 partos por porca por ano com 10 leitões cada, tem-se anualmente 24 mil suínos que, na fase de terminação produzem 8,6 litros por dia, estarão produzindo diariamente 206.400 m<sup>3</sup> de dejetos, somando-se a quantidade produzida por estes animais (matrizes e animais em crescimento e terminação) a produção chegará a 83.183.500 litros de dejetos produzidos anualmente.

O potencial poluidor da suinocultura deve-se, principalmente às características dos dejetos que apresentam elevada carga orgânica, altas concentrações de coliformes

totais e termotolerantes e significativas quantidades de nitrogênio, fósforo, potássio e metais pesados como o cobre e o zinco presentes nas excretas (Orrico Júnior et. al., 2010; Vivan et. al., 2010).

Os dejetos de suínos apresentam valores distintos de sólidos totais (ST) de acordo com a diluição com urina e água de bebedouros ou lamina d'água presentes nas baias. Regueiro et al. (2012) encontraram 17,3% de ST nos dejetos e Miranda et al. (2012) relataram 23,8% de ST nas excretas, esta diferença no teor de sólidos deve-se às diferentes formas de coleta do material.

As quantidades de sólidos voláteis (SV) não apresentam grande oscilação, tendo em média 85,9% de sólidos voláteis (Miranda et al., 2012). Quanto aos números mais prováveis de coliformes termotolerantes os dejetos suínos possuem em torno de  $75,7 \times 10^9$  a cada 100 gramas, apesar da resolução CONAMA 357 de 2005, (BRASIL, 2013), admitir quantidades inferiores a 200 coliformes em  $100 \text{ mL}^{-1}$  de biofertilizante, para uso em irrigação de hortaliças e frutas consumidas cruas.

Além dos constituintes de elevada capacidade poluente relacionados, quando as suinoculturas utilizam para acondicionamento dos dejetos as lagoas de estabilização, há grande emissão de gases de efeito estufa, especialmente o metano e óxido nitroso. Entre os gases poluentes de odor desagradável emitidos para atmosfera em sistema de lagoas, destaca-se o gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), gás incolor liberado pelo processo de degradação dos dejetos possuindo grande potencial nocivo por colaborar com as chuvas ácidas (Blunden e Aneja, 2008; Sardá et al. 2010).

Para minimizar o efeito ocasionado por estes gases na temperatura global, a solução é a captação destes com posterior queima, posto que o metano ( $\text{CH}_4$ ) e óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) são transformados em  $\text{CO}_2$  e  $\text{N}_2$ , respectivamente, gases com menor efeito poluidor. Para reduzir o potencial poluente do resíduo e captar esses gases de forma segura, é aconselhável o uso de biodigestores, pois consistem em um sistema fechado com saída que pode ser conectada a um queimador (Miranda, 2009).

Assim, uma excelente alternativa de reciclagem das excretas ou dejetos, visando proporcionar a estabilização da matéria orgânica em tratamento e captação de gases como o  $\text{CH}_4$  e  $\text{N}_2\text{O}$  é a biodigestão anaeróbia. Este processo ocorre na ausência de oxigênio, com diferentes tipos de microrganismos interagindo para promover a transformação de

compostos orgânicos complexos em produtos mais simples, com consequente tratamento da fração orgânica (Amorim et al., 2004). De acordo com Dornack (2012), o processo de biodigestão anaeróbia pode ser dividido em quatro fases: hidrolítica, acidogênica, acetanogênica e metanogênica.

Na primeira fase da biodigestão ocorre a hidrólise do substrato, realizada pelas enzimas que degradam o material, composto por proteínas, carboidratos e lipídios, em pequenas moléculas que são transportadas para dentro das células dos microrganismos e metabolizadas.

A fase acidogênica ocorre com a transformação dos produtos gerados na fase hidrolítica em ácidos orgânicos (acético, propiônico, butírico, isobutírico, fórmico, hidrogênio e dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ )) (Rizzoni, 2012). Segundo Dornack (2012), se o substrato contém muitos hidratos de carbono de simples degradação, tais como amido ou glicogênio, haverá um rápido incremento de ácidos.

A fase acetanogênica consiste na conversão dos ácidos gerados na fase anterior em  $\text{CO}_2$ , hidrogênio, acetato e ácidos orgânicos de cadeia curta, por bactérias produtoras de hidrogênio (Rizzoni et al., 2012). Estas bactérias acetanogênicas têm seu crescimento inibido por concentrações elevadas de hidrogênio, necessitando de simbiose com a fase metanogênica para assegurar a estabilidade do processo (Dornack, 2012).

A última fase ocorre com a ação de bactérias metanogênicas anaeróbias convertendo os ácidos orgânicos de cadeia curta e hidrogênio em metano e  $\text{CO}_2$  (Oliveira, 2004). Durante o processo outros gases são gerados em menor proporção, no entanto, o metano ( $\text{CH}_4$ ) é o de maior interesse econômico do ponto de vista de geração de energia e juntamente com a obtenção de fertilizante ao término da degradação transformam uma grave problemática ambiental em negócio rentável a partir do processo de biodigestão anaeróbica (Lianhua et al., 2010; Novak and Fiorelli, 2010).

A biodigestão anaeróbia é influenciada por diversos fatores, pois os microrganismos presentes no meio em fermentação possuem diferentes funções nas etapas de degradação e necessidades ambientais muitas vezes distintas, por isso aspectos como tempo de retenção hidráulica, temperatura, pH e teor de sólidos, além da composição do substrato são cruciais para eficácia deste processo (Souza et al., 2008).

O tempo de permanência do substrato no interior do biodigestor é um parâmetro de extrema importância e deve ser avaliado em função da composição original da excreta e seu teor de diluição no substrato, pois quanto menor o TRH maior será a quantidade de matéria orgânica adicionada e possivelmente a produção em volume de biogás será maior, como resultado encontrado por Orrico Júnior et al. (2009), que encontrou os melhores resultados de produção de biogás com 15 dias de retenção, seguido pelos TRH 22, 29 e 36 dias. No entanto, utilizando um substrato que necessite de maior tempo para ser degradado este TRH baixo poderá ser insuficiente para que o resíduo seja tratado adequadamente, ou apresentará reduções mais baixas de seus constituintes nos TRH mais curtos, conforme comprovado por Orrico Júnior et al. (2009).

Regueiro et al. (2012) avaliaram a redução do TRH em três períodos experimentais, iniciando com 20 dias, no primeiro período, reduzindo para 15 dias no segundo período e finalizando com 10 dias, no terceiro período. Neste estudo os autores verificaram que os substratos preparados com os dejetos de suínos apresentaram maiores produções de biogás conforme reduziram o TRH dos biodigestores, no entanto, a eficiência de remoção de DQO (demanda química de oxigênio) e o conteúdo de metano no biogás decresceram conforme diminuição do tempo de permanência dos substratos nos biodigestores.

Souza et al. (2008), ao avaliarem o efeito da temperatura, agitação do substrato e diferentes TRH (30, 25, 15 e 10 dias) sobre a produção volumétrica de metano a partir de dejetos de suínos em fase de terminação, observaram que a redução do TRH resultou em produção volumétrica de metano significativamente maior. A redução do TRH de 30 para 10 dias causou aumento médio de 48,14 % na produção volumétrica de metano, na ausência de agitação e de 78,7% na presença desta. Os autores atribuem os resultados ao fato de que, para os menores TRH, as cargas orgânicas volumétricas foram maiores, causando aumento na produção de metano.

Khalid et al. (2011) defendem que a co-digestão é um método utilizado comumente para tratamento de diferentes resíduos com o objetivo de melhorar a degradação da matéria orgânica de ambos e diluir possíveis compostos tóxicos presentes, de forma a equilibrar o meio e mantê-lo estável para obter o melhor rendimento de biogás explorando o potencial máximo dos microrganismos. Jingura e Matengaifa (2009)

descreveram que a co-digestão proporciona benefícios múltiplos tais como a facilitação de um desempenho estável e digestão confiável, além gerar um produto digerido de boa qualidade, e um aumento na produção de biogás.

A preocupação com o destino de resíduos e co-produtos dentro de processos produtivos não é restrita à agropecuária. A glicerina bruta, originada durante o processo produtivo do biodiesel, é um co-produto utilizado por indústrias farmacêuticas, alimentícias, cosméticas, de tintas e vernizes, no entanto, para que possa ser utilizada precisa passar por procedimentos de purificação, processos estes considerados complexos e onerosos. Para obtenção de 100 litros de biodiesel são gerados 10 kg de glicerina bruta contendo água, ácidos graxos e sabões (Larsen et al., 2013).

A glicerina bruta, disposta no meio ambiente, pode acarretar sérios danos à vida aquática, principalmente ao formar espuma superficial em rios e ao precipitar-se na água comprometendo sua oxigenação. Uma alternativa viável para aproveitamento da glicerina bruta é a biodigestão anaeróbia, já que este resíduo possui elevado conteúdo de carbono facilmente degradável, favorecendo a co-digestão anaeróbia em biodigestores. Desta forma a glicerina bruta tende a melhorar o processo de produção de biogás e metano em substratos contendo grandes quantidades de nitrogênio, como os resíduos suínos (Castrillón et al., 2013).

Em ensaio com substratos oriundos de silagem de milho, dejetos suínos e farelo de canola, Amon et al. (2006), obtiveram elevados valores de produção de biogás e, principalmente, metano com a adição de 3 e 6% de glicerina bruta. Para o dejetos suínos sem a adição de glicerina bruta, o rendimento de biogás foi de 412 L kg SV<sup>-1</sup> e do metano 216 L kg SV<sup>-1</sup>. Já com a adição de 6% de glicerina bruta, o rendimento do biogás foi de 1.114 L kg SV<sup>-1</sup> e do metano 617 L kg SV<sup>-1</sup>, ou seja, com a adição de 6% de glicerina bruta, houve um incremento de 270% no rendimento específico do biogás.

Wohlgemut et al. (2011) realizaram experimento em biodigestores, com TRH de 17,5 dias, comparando a inclusão de 0, 1, 2 e 4% de glicerol puro e 1% de glicerina bruta em co-digestão com dejetos suínos. A produção de metano foi semelhante entre 0 e 1 % de glicerol e 1% de glicerina bruta com 0,36 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de DQO removida e produção de 0,40 m<sup>3</sup> CH<sub>4</sub> kg<sup>-1</sup> de DQO removida com 2 % de glicerol nos digestores. O uso de 2% de

glicerol produziu a maior quantidade de metano e de biogás, enquanto que a adição de 4% de glicerol resultou numa sobrecarga da DQO e insuficiência do digestor.

Astals et al. (2012) utilizando biodigestores semi-contínuos, com agitação contínua a 60 rpm e TRH de 20 dias, alcançaram aumento de 400% na produção de biogás ao adicionar 4% de glicerol bruto na composição de substratos preparados com dejetos suíno. Segundo os autores, 4% é a concentração limite de inclusão de glicerol para um processo de biodigestão anaeróbia estável. Por meio do ensaio de co-digestão do dejetos suíno com o 4% de glicerol foram obtidas as mais altas reduções: 85% da DQO além de remoção de 61% de ST e 77% de SV.

As recomendações apresentadas na literatura podem variar de 4 a 12% e não definem uma dose ideal devido, principalmente às diferentes composições da glicerina bruta e resíduos utilizados na co-digestão. Os trabalhos são baseadas principalmente na utilização de dejetos de suínos e bovinos, em diferentes tipos de biodigestores e, ainda, não determinam qual melhor TRH a ser utilizado.

## **OBJETIVO GERAL**

Acompanhar o desempenho do processo de co-digestão anaeróbia de excretas de suínos associado com crescentes doses de glicerina bruta, adotando-se diferentes tempos de retenção hidráulica.

### **Objetivos específicos**

- Avaliar os potenciais de produção de biogás, utilizando como substrato as excretas de suínos em co-digestão com doses crescentes de glicerina bruta (0, 5, 10 e 15 dos conteúdos de ST) em biodigestores semi-contínuos manejados por 10, 17 e 24 dias de retenção hidráulica.
- Avaliar as reduções dos teores de ST, SV, demanda química de oxigênio, NMP de coliformes totais e termotolerantes e FDA, e ainda, avaliar as características do biofertilizante (N, P, K) gerado durante a co-digestão anaeróbia de excretas de suínos com diferentes níveis de inclusão de glicerina bruta, em biodigestores semi-contínuos manejados por 10, 17 e 24 dias de retenção hidráulica.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABIPECS - Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. Estatísticas – Mercado Mundial: Produção mundial de carne suína. 2014. Disponível em: < <http://www.abipecs.org.br/pt/estatisticas/mundial/producao-2.html> >. Acesso em: 29 jan. 2014.

ABIPECS - Associação Brasileira da Indústria Produtora e Exportadora de Carne Suína. Estatísticas – Mercado interno de carne suína: Produção brasileira de carne suína 2004 a 2012. 2013. Disponível em: <[http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/mercado-interno/producao/Producao\\_2012.pdf](http://www.abipecs.org.br/uploads/relatorios/mercado-interno/producao/Producao_2012.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2014.

AMON, TH.; AMON, B.; KRYVORUCHKO, V.; BODIROZA, V.; PÖTSCH, E.; ZOLLITSCH, W. Optimizing methane yield from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerin supplementation. **International Congress Series**, v. 1293, p. 217-220, 2006.

AMORIM, A.C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K.T. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.24, n.1, p.16-24, 2004.

ASTALS, S.; NOLLA-ARDÈVOL, V.; MATA-ALVAREZ, J. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at mesophilic conditions: Biogas and digestate. **Bioresource Technology**, v.110, p. 63-70, 2012.

BLUNDEN, J., ANEJA, V.P. Characterizing ammonia and hydrogen sulfide emissions from a swine waste treatment lagoon in North Carolina. **Atmospheric Environment**, v. 42, p. 3277-3290, 2008.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA. **Resolução 357/2005**. Brasília: 2005. 23p. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>> Acessado em 07 set. 2013.

CASTRILLÓN, L.; FERNÁNDEZ-NAVA, Y.; ORMAECHEA, P.; MARAÑÓN, E. Methane production from cattle manure supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. **Bioresource Technology**, v. 127, p. 312-317, 2013.

DORNACK, C. Biogas production from organic waste and biomass - fundamentals and current situation. **Journal Vietnamese Environment**, v. 3, n. 1, p. 43-49, 2012.

FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. FAO discute demanda mundial por alimentos. Brasília, 2012. Disponível em: <<https://www.fao.org.br/FAOddma.asp>>. Acesso em: 19 jul. 2013.

JINGURA, R.M.; MATENGAIFA, R. Optimization of biogas production by anaerobic digestion for sustainable energy development in Zimbabwe. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, p. 1116-1120, 2009.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, p. 1737-1744, 2011.

LARSEN, A.C.; GOMES, B.M.; GOMES, S.D.; ZENATTI, D.C.; TORRES, D.G.B. Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch industry effluent. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 341-352, 2013.

LIANHUA, L.; DONG, L.; YONGMING, S.; LONGLONG, M.; ZHENHONG, Y.; XIAOYING, K. 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.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, PECUÁRIA E ABASTECIMENTO - MAPA. Projeções do Agronegócio: Brasil 2012/2013 a 2022/2023. Assessoria de Gestão Estratégica. Brasília, jun. 2013. 96f. Disponível em: <[http://www.agricultura.gov.br/arq\\_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf](http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/projecoes%20-%20versao%20atualizada.pdf)> Acesso em: 16 set. 2013.

MIRANDA, A. P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 2009. 123f.

Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, São Paulo, 2009.

MIRANDA, A.P.; LUCAS JÚNIOR, J.; THOMAZ, M.C.; PEREIRA, G.T.; FUKAYAMA, E.H. Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial, growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, p. 47-59, 2012.

NOVAK, S.M.; FIORELLI, J.L. Greenhouse gases and ammonia emissions from organic mixed crop-dairy systems: a critical review of mitigation options. **Agronomy for Sustainable Development**, v. 30, n. 2, p. 215-236, 2010.

OLIVEIRA, P.A.V. 2004. Produção e aproveitamento do biogás. In: OLIVEIRA, P. A. V. de (Org.). **Tecnologias para o manejo de resíduos na produção de suínos**: Manual de boas práticas. Gestão Integrada de Ativos Ambientais. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2004, cap. 4, p. 42-55.

ORRICO JUNIOR, 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.

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**, v. 123, p. 507-513, 2012.

RIZZONI, L.B.; TOBIAS A.C.T.; DEL BIANCHI, M.; GARCIA, J.A.D. Biodigestão anaeróbia no tratamento de dejetos de suínos. **Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária**, Garça/SP, ano 9, n. 18, jan. 2012. Disponível em: <<http://www.revista.inf.br/veterinaria18/revisao/RV04.pdf>>. Acesso em: 25 jul. 2013.

SANTOS, J.H.T. Avaliação de um sistema de aquecimento do substrato na biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos. 2004. 66f.. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2004.

SARDÁ, L.G.; HIGARASHI, M.M.; MULLER, S.; OLIVEIRA, P.A.; COMIN, J.J. Redução da emissão de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> e H<sub>2</sub>S através da compostagem de dejetos suínos.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 9, p. 1008-1013, 2010.

SOUZA, C. DE F.; CAMPOS, J.A.; SANTOS, C.R.; BRESSAN, W.S.; MOGAMI, C.A. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 1, p. 219-224, 2008.

VIVAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V.H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental** v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

WOHLGEMUT, O.; CICEK, N.; OLESZKIEWICZ, J.; SPARLING, R. Co-digestion of hog manure with glycerol to boost biogas and methane production. **American Society of Agricultural and Biological Engineers**, v. 54, p. 1-5, 2011. .

## **CAPITULO 2**

1 **Co-digestion of swine feces associated with increasing doses of crude glycerin**

2  
3 A.W. Schwingel, A. C. A. Orrico, M. A. P. Orrico Junior\*

4 College of Agricultural Sciences, Federal University of Great Dourados, Dourados-MS, Zip Code: 79.804-970,  
5 Postal Box – 533, Brazil.

6  
7  
8  
9  
10  
11  
12  
13  
14  
15  
16  
17  
18  
19  
20  
21  
22  
23  
24 \*Corresponding author: Prof. Dr. Marco Antônio Previdelli Orrico Junior, Federal University of Greater Dourados,  
25 Dourados-MS, Brazil, Phone number: +55 67 34102409, e-mail: marcojunior@ufgd.edu.br

26 **RESUMO:** O objetivo foi avaliar o desempenho da co-digestão anaeróbia de excretas de suínos associados com  
27 crescentes doses de glicerina bruta, adotando-se diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH). O delineamento  
28 utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4, três TRH (10, 17 e 24 dias) e quatro doses de  
29 glicerina bruta (0, 5, 10 e 15% dos sólidos totais), com quatro repetições por tratamento. Os parâmetros avaliados  
30 foram as produções e os potenciais de produção de biogás, reduções de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV),  
31 demanda química de oxigênio (DQO), número mais provável (NMP) dos coliformes totais e termotolerantes, fibra  
32 em detergente ácido (FDA) e dos teores de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). O potencial por SV  
33 adicionados apresentou efeito quadrático nos TRH de 17 e 24 dias, evidenciando como doses ideais 5,5 e 5,9% de  
34 glicerina bruta, respectivamente. Não houve diferença entre as doses de glicerina bruta dentro do TRH de 10 dias  
35 para as reduções de ST e SV. No entanto foi observado melhorias de 36 e 70% para as reduções de ST e SV nos  
36 TRH 17 e 24. Os valores de reduções de DQO apresentaram efeito significativo dos TRH, com 24 dias  
37 proporcionando os melhores resultados. Foram observadas reduções de mais de 99% dos coliformes, mas não  
38 houve diferença estatística entre os tratamentos. A maior redução de FDA foi observada com a maior inclusão de  
39 glicerina bruta. Houve maior redução de FDA e dos teores de N, P e K conforme aumentou-se os tempos de  
40 retenção. A inclusão de 5 a 6% de glicerina bruta, nos maiores TRH, mostrou-se mais eficaz na produção de biogás  
41 e o TRH de 24 dias evidenciou as maiores reduções dos sólidos, DQO e coliformes à partir da co-digestão com  
42 excretas suínos.

43 **[Palavras-chave:** Biodiesel, Biogás, Resíduo, Suinocultura, Tempo de retenção hidráulica]

44 **ABSTRACT:** The objective was to evaluate the performance of anaerobic co-digestion of swine feces associated  
45 with increasing doses crude glycerin, adopting different hydraulic retention times (HRT). The experimental design  
46 was completely randomized in a 3x4 factorial design, three TRH (10 , 17 and 24 days) and four levels of crude  
47 glycerin (0 , 5 , 10 and 15 % of total solids), with four replicates per treatment . We evaluated the production and  
48 the potential for biogas production, reductions in total solids (TS), volatile solids (VS), chemical oxygen demand  
49 (COD), most probable number (MPN) of total and thermotolerant coliforms, acid detergent fiber (ADF) and in the  
50 levels of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K). The potential for added SV showed a quadratic effect  
51 on TRH 17 and 24 days, showing how optimal dose 6% crude glycerin. There was no difference between the doses  
52 of crude glycerin in the HRT of 10 days for the reductions in ST and SV. However improvement was observed at  
53 36 and 70% for the TS and VS reductions in HRT 17 and 24 days. The reductions of COD values had a significant  
54 effect in the TRH 24 days providing the best results. There was reductions of more than 99.9 % of coliforms, but  
55 there was no statistical difference between the treatments. The greatest reduction the FDA was observed with  
56 greater inclusion of crude glycerin. There was higher reduction of FDA and the levels of N, P and K with increase  
57 the retention times. Adding 5-6% crude glycerin, in the largest HRTs, was more effective in producing biogas and  
58 24 days HRT showed the greatest reductions of solids, COD and coliforms from the co-digestion with feces swine.

59 **[Key Words:** Biogas, Pig farming, Hydraulic retention time]



## INTRODUÇÃO

60

61 O crescimento da produção de biodiesel tem gerado milhões de toneladas de glicerina bruta anualmente,  
62 pois após a reação de transesterificação cerca de 90% da massa produzida é biodiesel e 10% é glicerina bruta. Em  
63 sua composição, a glicerina bruta apresenta impurezas como: água, metanol e material orgânico não glicérol, o  
64 que lhe confere um baixo valor comercial (Cubas et al., 2010).

65 A busca por alternativas de utilização deste co-produto surge com a necessidade de evitar que ela se torne  
66 um problema ambiental e econômico. Estudos recentes de co-digestão anaeróbia da glicerina bruta com excretas  
67 oriundas da produção animal objetivam minimizar o impacto do excedente de glicerina bruta e aumentar a  
68 potencialidade do processo. Esta alternativa mostra-se muito promissora, principalmente por possibilitar a  
69 diminuição do TRH (tempo de retenção hidráulica) gasto para alcançar a mesma produção de biogás que os dejetos  
70 produziram sozinhos (Siles et al., 2009).

71 De acordo com Castrillón et al. (2013) a glicerina bruta é facilmente degradável, possivelmente pelo alto  
72 teor de carbono, favorecendo a co-digestão anaeróbia. Portanto, com possibilidades de melhorar o processo de  
73 produção de biogás em até 380% em substratos contendo resíduos suínos (Astals et al., 2012).

74 A proporção ideal de inclusão de glicerina bruta aos dejetos e excretas de suínos deve contemplar a  
75 obtenção de resultados que indiquem acréscimos nas produções de biogás e metano, além de significativas  
76 reduções dos constituintes orgânicos, de patógenos e boa qualidade do biofertilizante. Sendo assim, o trabalho de  
77 pesquisa foi conduzido com o objetivo de verificar o desempenho da biodigestão anaeróbia em reatores semi-  
78 contínuos, adotando-se os tempos de retenção de 10, 17 e 24 dias e a adição de doses de glicerina bruta nas  
79 concentrações de 0, 5, 10 e 15% dos conteúdos de sólidos totais (ST) dos substratos.

80

## MATERIAL E MÉTODOS

81 O trabalho foi conduzido na Área Experimental e no Laboratório de Aproveitamento de Resíduos  
82 Agropecuários da Faculdade de Ciências Agrárias, pertencente à Universidade Federal da Grande Dourados. O  
83 clima da região da cidade de Dourados-MS, segundo a classificação de Köppen, é Mesotérmico Úmido do tipo  
84 Cwa, com temperaturas e precipitações médias anuais variando de 20 a 24°C e 1250 a 1500 mm, respectivamente.

85 O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 3x4, sendo três TRH (10,  
86 17 e 24 dias) e inclusão de quatro níveis de glicerina bruta (0, 5, 10 e 15%) com quatro repetições por tratamento.

87 Para o abastecimento dos biodigestores semi-contínuos (Figuras 1, 2 e 3 do Anexo II) foram utilizadas  
88 excretas coletadas de uma suinocultura comercial e a glicerina bruta obtida em indústria de biodiesel, ambas

89 localizadas na região de Dourados-MS. As excretas de suínos foram coletadas diretamente do piso das baias de  
90 suínos em fase de terminação, por meio de raspagem (Figura 5 do Anexo II).

91 O teor de ST adotado para composição do afluente ao misturar a excreta, glicerina bruta e água foi fixado  
92 em 2%, considerando-se também os ST contidos na glicerina bruta. A glicerina bruta foi acondicionada em  
93 recipientes fechados até o momento em que foi diluída junto as excretas para compor a carga diária dos  
94 biodigestores.

95 As excretas de suínos e a glicerina bruta foram caracterizadas no início do período experimental. A  
96 glicerina bruta possuía 3,63% de umidade, 39,3% de glicerol e 4,75% de metanol, 47,3% de ácidos graxos, 2% de  
97 proteína bruta, 12,1 mg/kg de sódio, 372,28 mg/kg de potássio, 68,25 mg/kg de cálcio, 15,15 mg/kg de magnésio,  
98 171,63 mg/kg de fósforo, < 0,4 mg/kg de cádmio e < 4,0 mg/kg de chumbo, e ainda apresentou DQO de 1880 g  
99 O<sub>2</sub> L<sup>-1</sup> e pH igual a 8,9, conforme análise realizada pelo Instituto de Tecnologia do Paraná. As excretas coletadas  
100 possuíam em sua composição 28,32% de ST e destes sólidos 80,25% eram SV. A demanda química de oxigênio  
101 média foi de 794,10 g de O<sub>2</sub> por kg de excreta e foram encontrados  $5,7 \times 10^{10}$  e  $1,4 \times 10^{10}$  NMP de coliformes totais  
102 e termotolerantes, respectivamente.

103 Na Tabela 1 são apresentas as quantidades de água, glicerina bruta e excretas utilizadas para  
104 abastecimento diário dos biodigestores, considerando as características dos resíduos, as diferentes doses de  
105 glicerina bruta (0, 5, 10 e 15%) e os três TRH (10, 17 e 24 dias) adotados.

106

107 Tabela 1. Quantidade de excreta, água, glicerina bruta e glicerol adicionados diariamente aos biodigestores  
 108 operados com diferentes doses de glicerina bruta e tempos de retenção hidráulica (TRH).

Glicerina bruta (%)	TRH (dias)	Excreta (g)	Água (g)	Glicerina bruta (g)	Glicerol (g)
0	10	254	3558	0	0
0	17	185	2591	0	0
0	24	123	1720	0	0
5	10	241	3568	4,08	1,60
5	17	175	2598	2,97	1,16
5	24	116	1724	1,97	0,77
10	10	248	3904	8,91	3,48
10	17	153	2414	5,51	2,15
10	24	114	1793	4,09	1,60
15	10	233	3915	13,37	5,23
15	17	144	2420	8,26	3,23
15	24	107	1798	6,14	2,40

109 Durante o período experimental foram acompanhadas as produções de biogás, bem como os potenciais  
 110 de produção considerando-se as quantidades de ST, SV, DQO adicionadas, além das reduções dos ST, SV, DQO  
 111 e dos NMP de coliformes totais e termotolerantes

112 A produção de biogás foi determinada com a mensuração diária do deslocamento vertical dos gasômetros,  
 113 e este valor multiplicado pela área da seção transversal interna dos gasômetros, obtendo assim os volumes de  
 114 biogás (Figura 4 e 8 do Anexo II). A correção do volume de biogás para as condições de 1 atm. e 20°C foi efetuada  
 115 com base no trabalho de Caetano (1985). Os potenciais de produção de biogás foram calculados dividindo-se os  
 116 valores de produção pelas quantidades de ST, SV, e DQO adicionados nos biodigestores.

117 Os teores de ST, SV, DQO, o número mais provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes e o  
 118 nitrogênio foram avaliados conforme metodologia descrita pela APHA (2005). Os teores de fósforo e potássio  
 119 foram conforme metodologia descrita por MALAVOLTA (1989) (Figuras 6, 7, 9, 10, 11, 12 e 13 do Anexo II).

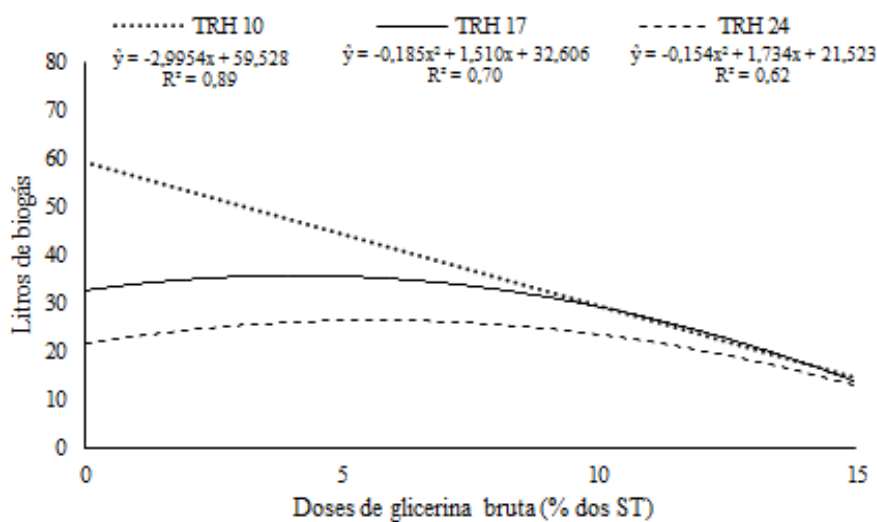
120 As determinações dos conteúdos de FDA foram realizadas conforme metodologias propostas por  
 121 DETMANN et al. (2012)

122 Os resultados obtidos durante as quatro semanas do período experimental foram submetidos à análise de  
 123 variância à 5% de probabilidade pelo teste de F, os efeitos dose de glicerina bruta e TRH foram avaliados por  
 124 regressão no software Saeg 9.1.

## 125 RESULTADOS E DISCUSSÃO

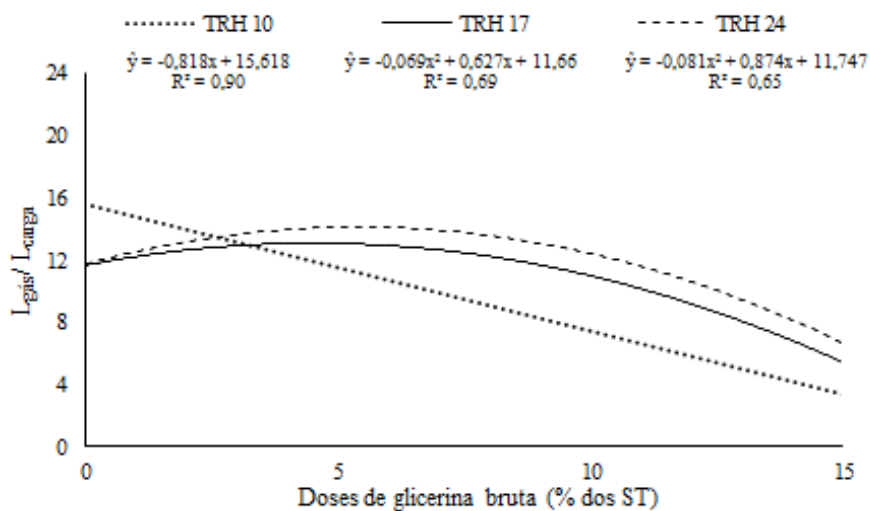
### 126 Produção e potenciais de produção de biogás

127 A análise de regressão evidenciou o efeito linear negativo ( $p < 0,05$ ) do TRH de 10 dias TRH sobre a  
 128 produção de biogás e das doses de glicerina bruta sobre a produção do biogás e potenciais por litros de carga,  
 129 gramas de ST e SV adicionados. Já para o TRH de 17 e 24 dias foi observado efeito quadrático em função do  
 130 aumento das doses de glicerina bruta (Figuras 1, 2, 3 e 4).



131  
 132 Figura 1. Modelos de regressão para a produção total de biogás nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses  
 133 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta.

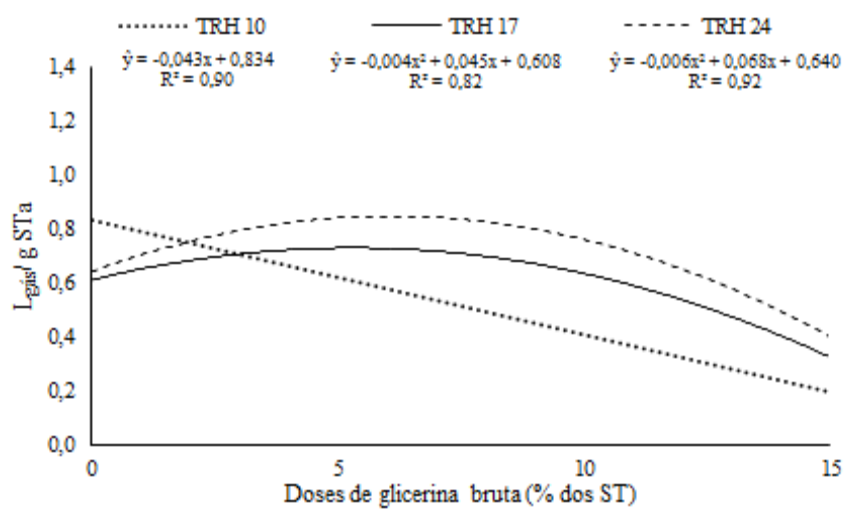
134



135

136 Figura 2. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por volume de afluente nos TRH de 10, 17

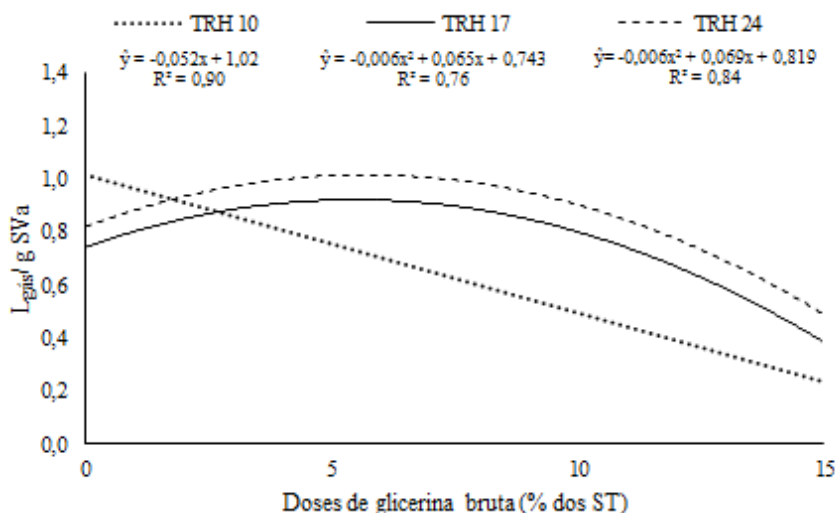
137 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta.



138

139 Figura 3. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por grama de sólidos totais (ST) nos TRH

140 de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta.



141  
 142 Figura 4. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por grama de sólidos voláteis (SV) nos  
 143 TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina bruta.

144 Os melhores resultados de produção de biogás foram obtidos com o TRH de 10 dias e sem a inclusão de  
 145 glicerina bruta, com média de 59,39 litros de biogás e a menor produção foi obtida com adição de 15% de glicerina  
 146 bruta no TRH de 24 dias com média de 11,88 litros (Figura 1 e Tabela 1 do Anexo I).

147 A maior produção de biogás no menor tempo de retenção avaliado pode ser explicada pela maior  
 148 inclusão de sólidos nos biodigestores (Tabela 1 do Anexo I) fornecendo diariamente uma quantidade maior de  
 149 matéria orgânica para os microrganismos transformarem em biogás.

150 Resultados semelhantes do comportamento da produção de biogás foram observados por Orrico Junior  
 151 et al. (2009), ao avaliar o processo de biodigestão anaeróbia utilizando dejetos de suínos, com e sem separação da  
 152 fração sólida, considerando-se diferentes tempos de retenção hidráulica (15, 22, 29 e 36 dias). Os autores  
 153 observaram produção decrescente de biogás com o aumento do TRH, em ambas as situações (com e sem separação  
 154 da fração sólida).

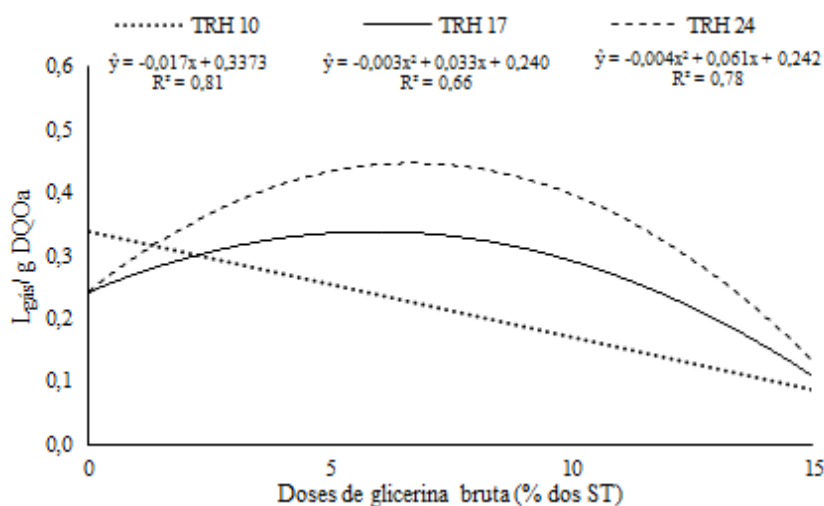
155 Os resultados demonstram que, provavelmente, a quantidade de energia disponibilizada pela glicerina  
 156 bruta não pôde ser aproveitada eficazmente pelos microrganismos em um período de retenção hidráulica de 10  
 157 dias.

158 Este fato é evidenciado quando observam-se os potenciais de produção de biogás por litro de carga  
 159 (Figura 2). Com o aumento do TRH para 17 e 24 dias, os maiores potenciais foram obtidos com o acréscimo de  
 160 4,5 e 5,4% de glicerina, respectivamente.

161 Miranda et al. (2012) avaliaram a produção de biogás de biodigestores de bancada abastecidos com  
 162 excretas de suínos, nas fases inicial, crescimento e terminação, alimentados com dietas formuladas à base de milho  
 163 ou sorgo, com TRH de 30 dias. Os autores alcançaram potenciais médios de  $0,525 \text{ L}_{\text{biogás}} \text{ g}^{-1} \text{ ST}$  adicionados e  
 164  $0,599 \text{ L}_{\text{biogás}} \text{ g}^{-1} \text{ SV}$  adicionados utilizando milho na dieta dos suínos em terminação. Neste trabalho, sem a inclusão  
 165 da glicerina bruta, os potenciais por ST apresentaram-se 58, 10 e 25% superiores e por SV 71, 17 e 41% maiores  
 166 em relação aos encontrados por Miranda et al. (2012) com os TRH de 10, 17 e 24 dias, respectivamente.  
 167 Possivelmente os melhores potenciais deste trabalho devem-se aos biodigestores utilizados que receberam  
 168 alimentação semi-contínua.

169 Os maiores valores de potenciais por sólidos também foram alcançados utilizando-se 5% de glicerina  
 170 bruta na composição do substrato de entrada dos biodigestores, tendo como inclusões ideais 5,4 e 5,7% de glicerina  
 171 bruta para ST e 5,5 e 5,9% de glicerina bruta para SV adicionados nos TRH 17 e 24 dias, respectivamente,  
 172 conforme as equações apresentadas nas Figuras 3 e 4.

173 Os modelos de regressão do comportamento dos três TRH em relação às dosagens de glicerina bruta  
 174 sobre os potenciais de produção de biogás por grama de DQO adicionada demonstraram comportamento  
 175 semelhante aos potenciais por ST e SV, com efeito linear negativo com 10 dias de retenção e efeito quadrático dos  
 176 TRH 17 e 24 dias, conforme apresentado na figura 5.



177  
 178 Figura 5. Modelos de regressão para o potencial de produção de biogás por grama de demanda química de oxigênio  
 179 (DQO) adicionada nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15% de glicerina  
 180 bruta.

181 Com os biodigestores manejados por 10 dias de retenção foram alcançados os mais baixos potenciais de  
182 biogás por DQO adicionada (0,19 litros) com inclusão da glicerina bruta. No TRH 17 a equação da curva de  
183 regressão indicou que a adição de 5,9% de glicerina bruta alcançou o melhor potencial. Com 24 dias de retenção  
184 hidráulica a dose ideal foi de 6,8% de glicerina bruta e a média dos potenciais neste TRH apresentou resultado  
185 30% maior que no TRH 10 e 20% superior comparando-se com o TRH de 17 dias (Tabela 1).

186 Adicionando 5% de glicerina bruta foi alcançado aumento de 62,7% no potencial por DQO adicionada,  
187 em relação ao tratamento sem glicerina bruta, quando a permanência do substrato no biodigestor foi de 17 dias. E  
188 ao manejar os biodigestores por 24 dias de retenção hidráulica a inclusão de 5% de glicerina bruta proporcionou  
189 acréscimo de 67,7% neste potencial por DQO adicionada.

190 Em trabalho realizado por Astals et al. (2012), utilizando biodigestores semi-contínuos com TRH de 20  
191 dias e maior controle dos efeitos externos sobre o processo (agitação contínua a 60 rpm e temperatura controlada),  
192 encontraram aumento inferior. Os autores alcançaram potenciais de 0,013 L<sub>biogás</sub> DQOa<sup>-1</sup> sem acrescentar glicerina  
193 bruta aos dejetos suínos e 0,020 L<sub>biogás</sub> DQOa<sup>-1</sup> ao adicionar 4% de glicerina bruta, resultando em aumento no  
194 potencial aproximado de 53,8%.

195 Estes valores assemelham-se às concentrações limitantes de glicerina bruta obtidos por outros autores  
196 que utilizaram resíduo da produção animal, como Amon et al. (2006) usando biodigestores batelada também  
197 obtiveram resultados próximos em um ensaio utilizando uma mistura de dejetos suíno, silagem de milho e de farinha  
198 de canola, relatando como dose ideal a adição de 6% da glicerina bruta na mistura.

199 Já Astals et al. (2012) concluíram que a dose máxima a ser inserida é de 3%. Isto pode estar relacionado  
200 a quantidade de glicerol na composição da glicerina bruta, que possivelmente excedeu a capacidade de  
201 aproveitamento dos microrganismos quando os autores adicionaram 5% de glicerina bruta no afluente, causando  
202 aumento de ácidos graxos voláteis (AGV), queda da alcalinidade e falência do biodigestor em poucos dias.

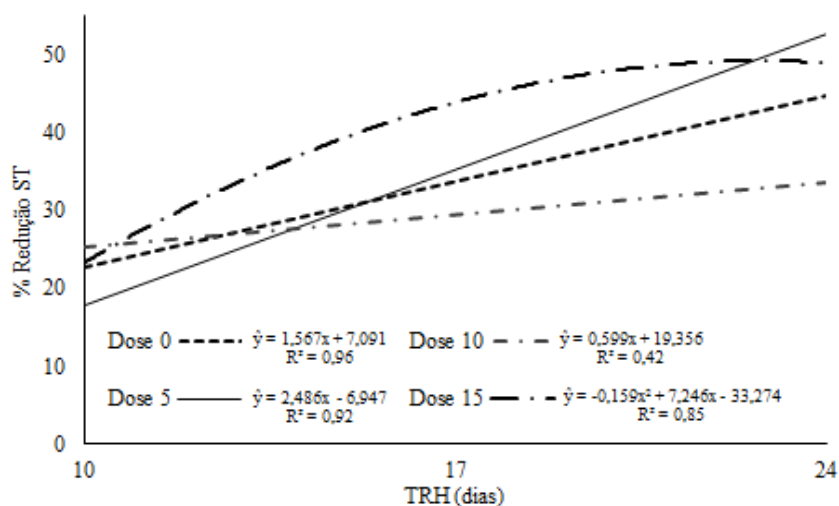
203 Holm-Nielsen et al. (2008) realizaram um trabalho com objetivo de mensurar, com o On-Line Near  
204 Infrared Monitoring (NIR), os AGV gerados em um processo de fermentação de dejetos com resíduos orgânicos  
205 de indústria alimentícia e glicerol puro (99,5% de glicerol), em reatores semi-contínuos mantidos a 53°C.  
206 Conforme os autores aumentaram inclusão de glicerol de 3,5 para 6,5%, em relação ao volume total do digestor,  
207 houve maior produção de AGV, ocasionando sobrecarga, pois gerou inibição da etapa metanogênica e posterior  
208 colapso do sistema.



209 Os resultados dos potenciais pelo volume de carga, ST, SV e DQO adicionados indicam que a inclusão  
 210 de 5 a 6% de glicerina bruta proporciona os melhores valores dentro dos maiores períodos de retenção, no entanto,  
 211 ao desdobrar os tempos dentro de cada dose observou-se que não houve diferença significativa entre os TRH 17 e  
 212 24 dias, sendo indicado assim, a utilização de 17 dias de retenção, pois a partir deste período não há melhora dos  
 213 potenciais de produção de biogás.

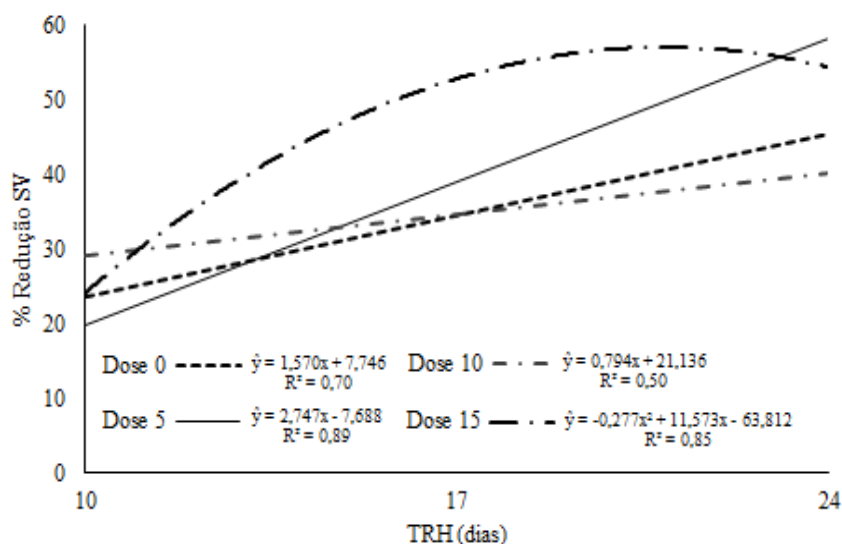
#### 214 **Reduções dos sólidos, DQO, coliformes e FDA**

215 A adição de glicerina bruta proporcionou comportamento linear positivo em relação ao aumento do  
 216 TRH com as doses 0, 5 e 10% e efeito quadrático com 15% de glicerina bruta para as reduções de ST e SV nos  
 217 biodigestores manejados com 10, 17 e 24 dias de TRH (Figuras 6 e 7).



218  
 219 Figura 6. Modelos de regressão para as reduções de sólidos totais (ST) de cada dose de glicerina bruta em função  
 220 dos tempos de retenção hidráulica (TRH).

221



222  
 223 Figura 7. Modelos de regressão para as reduções de sólidos voláteis (SV) de cada dose de glicerina bruta em função  
 224 dos tempos de retenção hidráulica (TRH).

225 Não houve diferença significativa entre as doses de glicerina bruta no tempo de retenção de 10 dias.  
 226 Com TRH 17 as doses 0, 5, 10 e 15% apresentaram reduções de 34,6, 23,8, 19,4 e 47,9% nos ST, respectivamente.  
 227 No maior período de retenção hidráulica as doses 0, 5, 10 e 15% apresentaram reduções de 40%, 54,9%, 34,1 e  
 228 49%, respectivamente (Tabela 2 do Apêndice I).

229 Larsen et al. (2013) encontraram reduções de ST mais altas ao avaliar a adição de glicerina bruta na  
 230 digestão anaeróbia de efluentes da indústria de fécula de mandioca (manipueira), em um reator de fluxo semi-  
 231 contínuo. Utilizando temperatura de 26 °C e TRH de 4 e 5 dias e adicionando 0, 2, 3 e 2% (v/v) com carga orgânica  
 232 de 3,05, 9,32, 14,83 e 13,59 g DQO L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, respectivamente, observaram queda na redução conforme maior  
 233 inclusão de glicerina bruta, com reduções entre 81-56% dos ST.

234 O melhor TRH a ser adotado para maior redução dos ST é dependente da dose de glicerina bruta  
 235 acrescentada, pois para as doses 0 e 5% o melhor TRH foi o de 24 dias, já para inclusão de 10% o tempo 17 dias  
 236 foi suficiente para alcançar boa redução e o TRH ideal para adição de 15% de glicerina bruta, segundo sua equação  
 237 de regressão, é de 22,8 dias.

238 Com a adição de 5% de glicerina bruta e TRH de 24 dias houve redução de 54,9% dos ST, resultado  
 239 este superior ao encontrado por Astals et al. (2013) em estudo com controle de temperatura (55°C) e agitação  
 240 contínua (60rpm). No estudo os autores testaram a co-digestão de dejetos suíno com adição de 3% de glicerina  
 241 bruta em biodigestores semi-contínuos com TRH de 15 dias e observaram redução de 48,3% de ST.

242 Estes resultados demonstram que mesmo com sistemas mais simples: sem agitação do material e  
243 biodigestores susceptíveis à temperatura variável, próximos a realidade da maioria dos biodigestores brasileiros a  
244 campo, é possível alcançar resultados de tratamento satisfatórios e superiores aos de sistemas mais complexos.  
245 Portanto tem-se vantagens na condução do processo com menor exigência de controle e menores custos de  
246 implantação e manutenção.

247 Os resultados destes trabalhos demonstram que para a maior redução dos ST utilizando-se glicerina  
248 bruta em co-digestão com dejetos de suíno, a melhor dose encontra-se próxima a 5% e TRH próximo aos 20 dias  
249 de retenção, como o indicado por Castrillón et al. (2013), que obteve melhores reduções de ST, SV e DQO aos 20  
250 dias, quando testou a co-digestão de dejetos bovinos com adição de 6% de glicerina bruta aos sólidos dos afluentes.

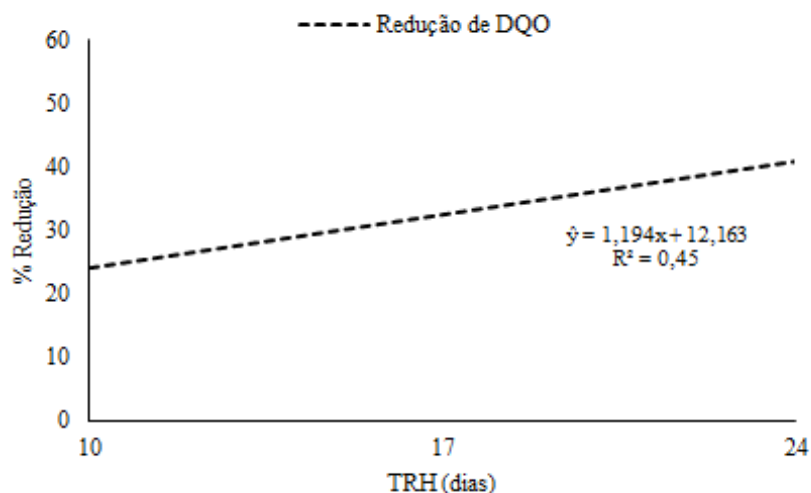
251 Os resultados das reduções de SV (Figura 7) dentro dos TRH seguiram mesmo comportamento dos ST,  
252 não havendo diferença significativa a 5% de probabilidade entre as doses de glicerina bruta dentro do menor tempo  
253 de retenção adotado.

254 Com 17 dias de TRH obteve-se redução de 38,0% nos SV sem incluir glicerina bruta, já adicionando  
255 5% os SV reduziram 29,1%, com 10% houve redução de 35,4% e com a maior inclusão de glicerina bruta foi  
256 observada redução de 52,8%. Já com o TRH de 24 dias obteve-se as melhores reduções de SV, como pode ser  
257 observado na Figura 7 e Tabela 2 do apêndice I.

258 No TRH de 24 dias, sem glicerina bruta foi alcançada redução de 43,5%, 61,1% adicionando-se 5% de  
259 glicerina bruta, 39,8% com a dose 10 e redução nos SV de 54,3% com inclusão de 15% de glicerina bruta. Portanto  
260 a maior redução dos SV foi alcançada com a inclusão de 5% de glicerina bruta no TRH de 24 dias, no entanto para  
261 adoção das demais doses (0, 10 e 15%) o TRH de 17 dias demonstrou ser suficiente para atingir redução  
262 estatisticamente semelhante ao maior tempo estudado.

263 Em um estudo de co-digestão de resíduo de manipueira com glicerina bruta, Larsen et al. (2013)  
264 obtiveram, além de maiores reduções de ST, melhores reduções de SV entre 90,2-61,5%, diminuindo a eficácia  
265 do processo conforme aumentaram as doses de glicerina (0, 2 e 3%). O abastecimento dos biodigestores foi  
266 baseado em aumento volumétrico da carga orgânica de 3,05; 9,32, 14,83 e 13,59 g DQO L<sup>-1</sup> d<sup>-1</sup>, obtidos com a  
267 adição de glicerina bruta, a 0, 2 e 3% (v/v), respectivamente. Os autores também encontraram altas reduções de  
268 DQO, com diminuição de 96,4 a 91,5% da QO.

269 Os valores de reduções de DQO não apresentaram interação significativa entre os TRH e as doses de  
270 glicerina bruta, mas demonstraram sofrer efeito linear positivo dos TRH (Figura 8).



271  
 272 Figura 8. Modelo de regressão do efeito dos tempos de retenção hidráulica (TRH) sobre as reduções da demanda  
 273 química de oxigênio (DQO).

274 Os tempos de retenção apresentaram efeito significativo sobre as reduções de DQO, conforme Figura  
 275 8, apresentando reduções de 41,2% no TRH 24 dias, 33,6% no tempo 17 dias e redução de 23,0% com adoção do  
 276 período de 10 dias. Estes resultados diferem dos valores apresentados por Castrillón et al. (2013), que encontraram  
 277 maior redução de DQO (80,7%) aos 20 dias de retenção, seguido de 18 dias com 77,0% de redução e no maior  
 278 TRH analisado (22 dias) obtiveram a menor redução de DQO (50,6%).

279 Os resultados de reduções de ST, SV e DQO deste trabalho apresentaram resultados inferiores nos três  
 280 TRH em relação às reduções encontrados por Castrillón et al. (2013), devido aos diferentes sistemas de  
 281 funcionamento dos biodigestores. Os autores acima citados utilizaram recirculação do material, ou seja, o substrato  
 282 adicionado passa pelo biodigestor e sofre ação dos microrganismos. Após o período de retenção estipulado este  
 283 material que em sistema de fluxo contínuo sairia do biodigestor, passa novamente pelo meio e conseqüentemente  
 284 tem outra oportunidade de degradação da matéria orgânica dos resíduos.

285 As reduções de ST, SV e DQO nos maiores TRH, independente das dosagens de glicerina bruta  
 286 adicionadas, confirmam os resultados encontrados por Orrico Junior et al. (2009), que analisando a biodigestão de  
 287 dejetos suínos com e sem separação da fração sólida em biodigestores tubulares semi-contínuos manejados em  
 288 diferentes tempos de retenção (15, 22, 29 e 36 dias), observaram as maiores reduções sem separação da fração  
 289 sólida no tempo 36 (ST= 66,7; SV= 70,3 e DQO= 81,7%), seguido do TRH 29 e 22 e com menores reduções no  
 290 TRH de 15 dias (ST= 55,6; SV= 64,0 e DQO= 61,7%).

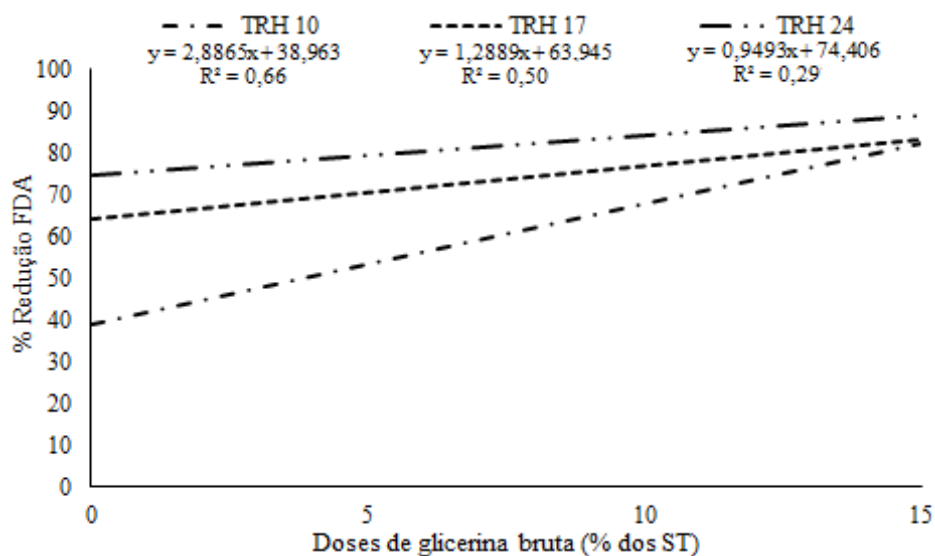
291 As médias das reduções do NMP de coliformes totais e termotolerantes nos substratos preparados a  
292 partir das excretas de suínos e glicerina bruta estão apresentadas na Tabela 3 do Apêndice I.

293 Não foi encontrada interação significativa entre os dois fatores avaliados e também não houve efeito  
294 significativo das doses e dos TRH sobre os resultados. Orrico Júnior et al. (2010) encontraram resultados diferentes  
295 quando avaliaram o tratamento de dejetos suínos alimentados com milho e sorgo em biodigestores semi-contínuos  
296 sobre quatro TRH (30, 60, 90 e 120 dias). Observaram diferença significativa em relação aos tempos de retenção,  
297 obtendo os melhores valores de reduções dos NMP dos coliformes totais e termotolerantes nos substratos que  
298 permaneceram mais tempo em biodigestão.

299 As semelhanças entre as reduções de coliformes deste trabalho podem ser relacionadas com a menor  
300 diferença entre os TRH adotados em relação aos estudados por Orrico Júnior et al. (2010) que trabalharam com  
301 uma diferença de 30 dias entre eles, pois em outro trabalho, Orrico et al. (2009), avaliando a biodigestão de dejetos  
302 suínos com e sem separação da fração sólida em biodigestores semi-contínuos manejados sobre TRH de 15, 22,  
303 29 e 36 dias, também com diferença entre os tempos de retenção de 7 dias, não encontraram diferença significativa  
304 entre os tempos.

305 Os valores de reduções de mais de 99,9% dos NMP de coliformes podem estar relacionadas ao tipo de  
306 biodigestor utilizado, pois segundo Orrico Júnior et al. (2009), os biodigestores tubulares costumam apresentar  
307 alta produção de ácido na entrada do biodigestor, permitindo que o baixo pH reduza a população destes  
308 microrganismos logo no início do processo.

309 A análise dos efeitos dos fatores sobre as reduções de fibras em detergente ácido (FDA) demonstraram  
310 que houve efeito das doses de glicerina e dos TRH, e ainda, interação entre eles sobre os resultados encontrados,  
311 conforme apresentado na Figura 9 e na Tabela 4 do Apêndice I.



312  
 313 Figura 9. Reduções de fibra em detergente ácido nos TRH de 10, 17 e 24 dias, em função das doses 0, 5, 10 e 15%  
 314 de glicerina bruta.

315 Os TRH demonstraram efeito linear positivo sobre as doses de glicerina bruta para as reduções de FDA.  
 316 Estes efeitos foram observados somente sem adicionar a glicerina bruta e ao incluir 5% dela ao substrato. Porém  
 317 quando utilizou-se 10 e 15% de glicerina bruta não houve efeito dos tempos de retenção.

318 As doses de glicerina também evidenciaram efeito linear positivo para as reduções de FDA,  
 319 confirmando que a maior redução (89,38%) ocorreu ao adicionar 15% de glicerina bruta e utilizando TRH de 24  
 320 dias, conforme pode ser observado na Figura 9 e Tabela 4 do Apêndice I.

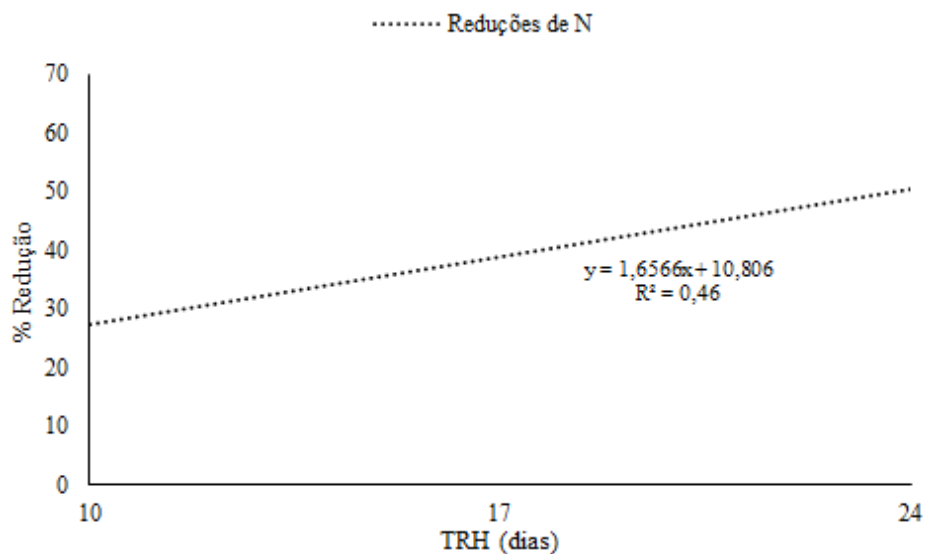
321 O maior valor de redução de FDA obtido no maior tempo de retenção já era esperado, pois os  
 322 microrganismos tiveram mais tempo para degradar o material, mas o fato da maior dose de glicerina bruta  
 323 apresentar maior redução de FDA mostrou-se contrário ao observado por outros autores que avaliaram a redução  
 324 de fibra total. Astals et al. (2012) obtiveram 30,3% de redução com 100% de dejetos suíno e 11% de redução  
 325 utilizando 4% de glicerina bruta ao substrato.

326 Astals et al. (2013) encontraram redução de 24,7% de fibras adicionando 3% de glicerina bruta aos  
 327 dejetos e somente com dejetos suíno verificou remoção de 35,5%. Possivelmente, a diferença de comportamento  
 328 na redução nos teores de FDA em relação aos resultados apresentados pelos autores acima é devido a composição  
 329 da glicerina bruta utilizada. Provavelmente a glicerina bruta usada neste trabalho tem menor teor de metanol ou  
 330 outro elemento que seleciona microrganismos degradadores.

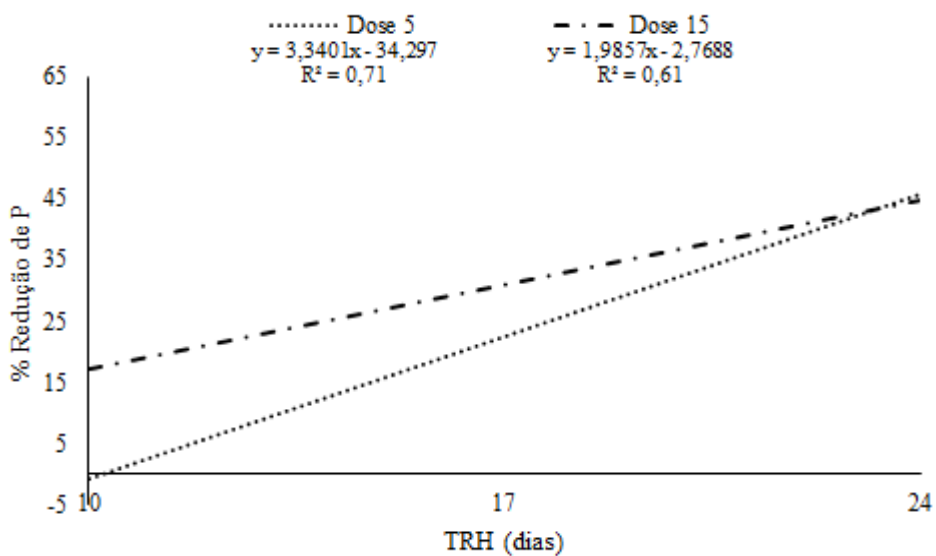
331 A glicerina bruta mostrou-se um excelente substrato para a co-digestão com excretas de suínos,  
 332 proporcionando resultados satisfatórios de produção de biogás e de reduções dos sólidos, DQO, coliformes e fibras.

### 333 Caracterização do biofertilizante: N, P e K

334 Os valores médios de N, P e K presentes nos afluentes e efluentes, e as reduções deste teores, estão  
 335 apresentados na Tabela 5 do apêndice I. Nas Figuras 10, 11 e 12 estão apresentados os modelos de regressão do  
 336 efeito das doses de glicerina bruta e TRH sobre as reduções dos teores de N, P e K.

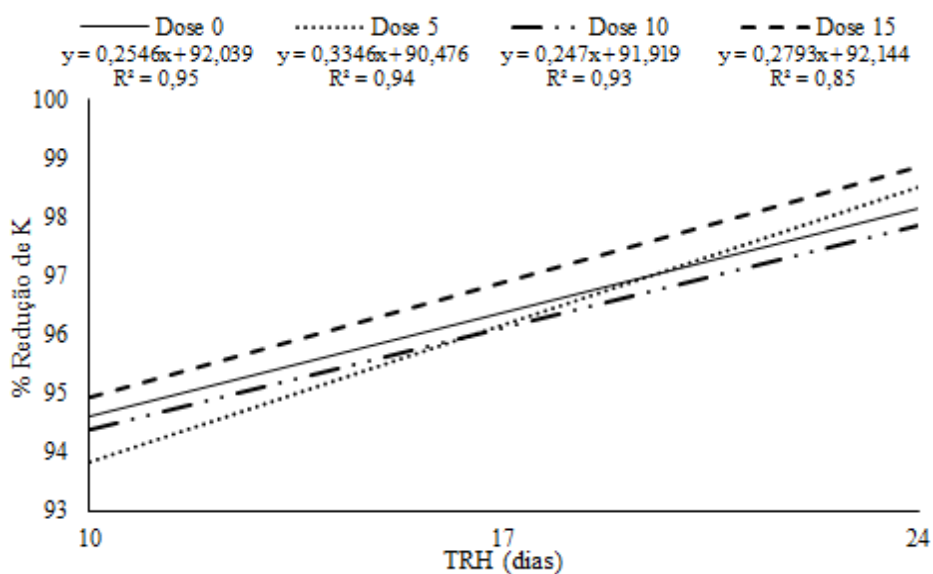


337  
 338 Figura 10. Modelo de regressão do efeito dos tempos de retenção hidráulica (TRH) sobre as reduções de  
 339 nitrogênio (N).



340  
 341 Figura 11. Reduções de fósforo (P) dos substratos contendo 5 e 15% de glicerina bruta em função dos tempos de  
 342 retenção hidráulica (TRH).

343



344

345 Figura 12. Reduções de potássio (K) dos substratos contendo 5 e 15% de glicerina bruta em função dos tempos de  
 346 retenção hidráulica (TRH).

347 Os TRH apresentaram efeito linear positivo sobre a remoção de N, com os maiores valores obtidos  
 348 (49,71%) com 24 dias de retenção hidráulica. A adição de doses de glicerina bruta não apresentou efeito sobre as  
 349 reduções de nitrogênio, portanto não houve efeito entre os fatores. Em trabalho realizado por Astals et al. (2013)  
 350 provavelmente também não houve efeito significativo da glicerina bruta, pois com os dados descritos é possível  
 351 verificar que tanto com 0 quanto com 3% de glicerina bruta adicionada aos dejetos suínos houve acréscimo  
 352 somente de 3,57% de nitrogênio no biofertilizante.

353 Vivan et al. (2010) trabalhando com efluente de suinocultura em biodigestores e lagoas de estabilização,  
 354 também observaram remoção de nitrogênio total (89,8%) e atribuíram este resultado a possível volatilização do  
 355 N. Outra possível causa para o comportamento de redução deve-se à precipitação de alguns elementos para o fundo  
 356 dos biodigestores devido ao sistema semi-contínuo utilizados no presente trabalho.

357 As reduções de fósforo foram influenciadas pelos TRH somente quando adicionadas as doses 5 e 15% de  
 358 glicerina bruta, apresentando também comportamento linear positivo. Com 24 dias de retenção foi observada a  
 359 maior redução (51,02%) utilizando 5% de glicerina bruta e os dois maiores tempos, 17 e 24 dias, proporcionaram  
 360 40 e 39,53% de remoção de P, respectivamente, ao adicionar 15% de glicerina bruta ao substrato (Figura 11 e  
 361 Tabela 5 do apêndice I).

362 Astals et al. (2013) observaram que tanto o afluente com 100% de dejetos suínos, quanto o afluente com  
 363 3% de glicerina bruta, continham  $0,2 \text{ g P L}^{-1}$  em suas composições e após o tratamento em biodigestores semi-



364 contínuos por 15 dias de retenção não foi detectado fósforo em nenhum dos efluentes, o que indica redução de  
365 100% de P. Vivian et al. (2010) também encontraram grande remoção do P (98,6%) e segundo estes autores, a  
366 principal causa desta alta redução deve-se a precipitação deste elemento durante o tratamento do material.

367 Os TRH e as doses de glicerina demonstraram ter efeito e interação sobre os resultados de reduções de  
368 K. Utilizando as quatro doses de glicerina houve efeito linear positivo dos TRH, com as maiores médias de redução  
369 observadas no TRH de 24 dias e nas doses 5% (98,66%) e 15% de glicerina bruta (98,43%) (Figura 12 e Tabela 5  
370 do apêndice I). Nos TRH de 10 e 24 dias de retenção não houve efeito das doses de glicerina bruta, somente houve  
371 com 17 dias de retenção hidráulica, com a maior redução (97,75%) observada com a inclusão de 15% de glicerina  
372 bruta.

373 Astals et al. (2013) não observaram nenhuma redução nos teores de potássio após o tratamento anaeróbio  
374 de dejetos suíno com 0 e 3% de glicerina bruta, já Astals et al. (2012) encontraram incremento de 27,27% de K nos  
375 efluentes utilizando 0 e 4% de glicerina bruta, demonstrando que não houve efeito significativo da adição da  
376 glicerina bruta.

377 Segundo Sunada (2011), que também verificou redução no teores de N, P e K, após biodigestão de  
378 efluente de abatedouro avícola, é esperado que estes elementos apresentem um elevação de seus teores no  
379 biofertilizante quando o material é colocado em biodigestores do tipo batelada, porque quando a matéria orgânica  
380 é tratada há perda de carbono na forma de  $CH_4$  e  $CO_2$ , ocasionando assim a concentração dos demais nutrientes,  
381 no entanto em biodigestores semi-contínuos espera-se reduções das concentrações de N, P e K devido a  
382 sedimentação de parte da matéria orgânica.

383 As reduções de N, P e K indicam que o biofertilizante contém pouca concentração destes elementos e,  
384 portanto, pode ser utilizado em grandes quantidades como adubo orgânico, pois tem menor propensão de  
385 contaminar o solo quando comparado a outros fertilizantes que possuem altos teores destes elementos.

## 386 CONCLUSÃO

387 A adição de 5 a 6% glicerina bruta melhora os potenciais de produção de biogás e a redução de sólidos,  
388 DQO e coliformes quando submetidos entre 17 e 24 dias. Para biodigestores semi-contínuos, manejados sob  
389 condições semelhantes a este trabalho, com TRH igual ou inferior a 10 dias, a utilização da glicerina bruta não é  
390 indicada.

- 391 **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**
- 392 Amon, Th.; Amon, B.; Kryvoruchko, V.; Bodirosa, V.; Pötsch, E.; Zollitsch, W. 2006. Optimizing methane yield  
393 from anaerobic digestion of manure: Effects of dairy systems and of glycerin supplementation. International  
394 Congress Series 1293: 217-220.
- 395 APHA. American Public Health Association. 2005. Standard methods for examination of water and wastewater.  
396 21ed. Washington: American Water Works Association. 1.368p.
- 397 Astals, S.; Nolla-Ardèvol, V.; Mata-Alvarez, J. 2012. Anaerobic co-digestion of pig manure and crude glycerol at  
398 mesophilic conditions: Biogas and digestate. *Bioresource Technology* 110: 63-70.
- 399 Astals, S.; Nolla-Ardèvol, V.; Mata-Alvarez, J. 2013. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol:  
400 Process performance and digestate stability. *Journal of Biotechnology* 166: 97-104.
- 401 Caetano, L. Proposição de um sistema modificado para quantificação de biogás. 1985. 75f. Dissertação (Mestrado  
402 em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu.
- 403 Castrillón, L.; Fernández-Nava, Y.; Ormaechea, P.; Marañón, E. 2013. Methane production from cattle manure  
404 supplemented with crude glycerin from the biodiesel industry in CSTR and IBR. *Bioresource Technology* 127:  
405 312-317.
- 406 Cubas, J. L.; Ferreira, F. A. F.; Adão, D. C. et al. 2010. Neutralização da glicerina bruta obtida pela  
407 transesterificação dos óleos de crambe, cárcamo e soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PLANTAS  
408 OLEAGINOSAS, ÓLEOS, GORDURAS E BIODIESEL, 7, 2010, Belo Horizonte. Anais... Belo Horizonte:  
409 UFLA.
- 410 Detmann, E.; Souza, M.A.; Valadares Filho, S.C. et al. 2012. Métodos para análise de alimentos. INCT - Ciência  
411 Animal. 1ed: 214p. Visconde do Rio Branco, MG, BR.
- 412 Holm-Nielsen, J.B., Lomborg, C.J., Oleskowicz-Popiel, P. et al. 2008. On-line near infrared monitoring of  
413 glycerol-boosted anaerobic digestion processes: evaluation of process analytical technologies. *Biotechnology and*  
414 *Bioengineering* 99: 302-313.
- 415 Larsen, A. C.; Gomes, B. M.; Gomes, S. D. et al. 2013. Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch  
416 industry effluent. *Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 33: 341-352.

- 417 Malavolta, E.; Boareto, A.E.; Paulino, V.T. 1989. Micronutrientes, uma visão geral. p.1-33. In: Ferreira, M.E.;  
418 Cruz, M.C. Micronutrientes na agricultura. POTAFOS/CNPq, Piracicaba, SP, BR.
- 419 Miranda, A. P.; Lucas Júnior, J.; Thomaz, M. C. et al. 2012. Anaerobic biodigestion of pigs feces in the initial,  
420 growing and finishing stages fed with diets formulated with corn or sorghum. Engenharia Agrícola, Jaboticabal  
421 32: 47-59.
- 422 Orrico Júnior, M.A.P. 2007. Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de  
423 sólidos. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Departamento de Engenharia Rural/Universidade Estadual  
424 Paulista, Jaboticabal. 93p.
- 425 Orrico Junior, M. A. P.; Orrico, A. C. A.; Lucas Júnior, J. 2009. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos com  
426 e sem separação da fração sólida em diferentes tempos de retenção hidráulica. Revista Engenharia Agrícola,  
427 Jaboticabal 29: 474-482.
- 428 Orrico Junior, M. A. P.; Orrico, A. C. A.; Lucas Júnior, J. 2010. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia  
429 de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal  
430 30: 600-607.
- 431 Siles, J.A., Martín, M.A., Chica, A.F. et al. 2009. Anaerobic digestion of glycerol derived from biodiesel  
432 manufacturing. Bioresource Technology 1005609-5615.
- 433 Sunada, N. S. 2011. Efluente de abatedouro avícola: processos de biodigestão anaeróbia e compostagem.  
434 Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de ciências agrárias/ Universidade Federal da Grande Dourados,  
435 Dourados. 87p.
- 436 Vivan, M.; Kunz, A.; Stolberg, J. et al. 2010. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na  
437 remoção de poluentes em dejetos de suínos. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina  
438 Grande, 14: 320-325.
- 439

## IMPLICAÇÕES

440

441 Em 2012 foram produzidas mais de 274.683 toneladas de glicerina bruta, das quais  
442 104.379 toneladas foram purificadas para uso industrial, restando mais de 172.901 toneladas  
443 (aproximadamente 62%) que não foram utilizadas. Por isso, a descoberta de novas alternativas  
444 para a utilização da glicerina bruta é de grande importância para o país que pretende ampliar a  
445 produção do biodiesel.

446 Os resultados encontrados neste trabalho possibilitam a inclusão de até 5% de glicerina  
447 bruta na co-digestão com dejetos de suínos. Desta forma seriam necessárias a utilização de  
448 3.458.000 toneladas de dejetos de suínos para co-digerir a glicerina bruta excedente, ou seja,  
449 24,6% do total de resíduo produzido pelas granjas brasileiras (14 milhões de toneladas de dejetos  
450 em 2012). Além do tratamento ambientalmente correto de ambos os resíduos, há ainda a  
451 geração de uma maior quantidade de biogás que pode ser utilizado como fonte de energia adicional  
452 nas propriedades.

453 São necessários mais estudos para comprovar a viabilidade da utilização da glicerina  
454 bruta, visto que existem diferentes matérias-primas para produção do biodiesel, gerando  
455 glicerina bruta com diferentes teores de glicerol, o que pode influenciar diretamente no  
456 desempenho dos biodigestores. Para ensaios futuros é importante realizar a caracterização do  
457 material retido nos biodigestores, por haver alta retenção de sólidos em função da sedimentação.  
458 Sugere-se também avaliação econômica da glicerina bruta em termos de geração de energia.

## APÊNDICE I

Tabela 1. Médias das produções de biogás e potenciais por litros de afluente, gramas de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) no afluente, durante co-digestão anaeróbia de excretas suínas com doses crescentes de glicerina bruta em diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH).

Dose	TRH	Biogás (litros)	Litros de afluente	Afluente			$L_{\text{biogás}} L^{-1} \text{ carga}$	$L_{\text{biogás}} g^{-1} \text{ ST}$	$L_{\text{biogás}} g^{-1} \text{ SV}$	$L_{\text{biogás}} g^{-1} \text{ DQO}$
				ST (g)	SV (g)	DQO (g)				
0	10	59,39	3,81	71,33	57,72	191,34	15,58	0,83	1,03	0,31
	17	31,22	2,78	51,54	41,65	139,31	11,25	0,61	0,75	0,22
	24	22,53	1,84	33,04	26,69	92,47	12,23	0,68	0,84	0,24
5	10	45,30	3,81	70,53	58,60	200,27	11,88	0,64	0,77	0,23
	17	39,69	2,78	50,70	42,01	145,81	14,30	0,78	0,94	0,27
	24	23,32	1,84	32,88	27,20	96,78	12,66	0,71	0,86	0,24
10	10	28,48	4,16	76,29	63,70	216,86	6,84	0,37	0,45	0,13
	17	25,09	2,57	46,43	38,70	134,06	9,75	0,54	0,65	0,19
	24	26,49	1,91	33,75	28,20	99,61	13,86	0,78	0,94	0,27
15	10	15,08	4,16	71,64	57,37	205,50	3,62	0,21	0,26	0,07
	17	15,09	2,57	42,98	35,23	127,04	5,87	0,35	0,43	0,12
	24	11,88	1,91	31,10	25,53	94,39	6,22	0,38	0,47	0,13

Tabela 2. Médias das quantidades de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) no afluente e efluente e suas reduções durante co-digestão anaeróbia das excretas suínos com doses crescentes de glicerina bruta em diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH).

Dose	TRH	ST			SV			DQO		
		Afluente (g)	Efluente (g)	Redução (%)	Afluente (g)	Efluente (g)	Redução (%)	Afluente (g)	Efluente (g)	Redução (%)
0	10	71,33	55,48	22,22	57,72	45,19	21,71	191,34	146,72	23,32
	17	51,54	33,69	34,64	41,65	25,82	37,99	139,31	88,30	36,62
	24	33,04	19,84	39,97	26,69	15,07	43,52	92,47	54,14	41,45
5	10	70,53	61,64	12,60	58,60	48,30	17,58	200,27	157,98	21,11
	17	50,70	38,64	23,78	42,01	29,79	29,07	145,81	108,69	25,46
	24	32,88	14,80	54,98	27,20	10,59	61,08	96,78	56,68	41,44
10	10	76,29	56,81	25,53	50,02	35,87	28,69	216,86	170,08	21,57
	17	46,43	37,42	19,41	42,87	27,70	35,39	134,06	99,45	25,82
	24	33,75	22,23	34,12	40,95	24,65	39,81	99,61	64,53	35,21
15	10	71,64	54,97	23,27	57,37	43,41	24,33	205,50	151,92	26,07
	17	42,98	22,39	47,91	35,23	16,63	52,80	127,04	67,84	46,60
	24	31,10	15,87	48,97	25,53	11,66	54,32	94,39	50,34	46,67

Tabela 3. Número mais provável (NMP) de coliformes totais (CT) e termotolerantes (CTT) e porcentagem de redução durante a co-digestão anaeróbia das excretas suínos com doses crescentes de glicerina bruta e diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH).

Dose	TRH	Coliformes Totais			Coliformes Termotolerantes		
		Afluentes	Efluentes	Redução (%)	Afluentes	Efluentes	Redução (%)
0	10	$5,7 \times 10^{10}$	$3,0 \times 10^7$	99,95	$1,4 \times 10^{10}$	$2,9 \times 10^7$	99,79
	17	$5,7 \times 10^{10}$	$1,3 \times 10^6$	100,00	$1,4 \times 10^{10}$	$4,2 \times 10^5$	100,00
	24	$5,7 \times 10^{10}$	$2,9 \times 10^7$	99,95	$1,4 \times 10^{10}$	$2,8 \times 10^7$	99,80
5	10	$5,7 \times 10^{10}$	$2,5 \times 10^5$	100,00	$1,4 \times 10^{10}$	$7,7 \times 10^4$	100,00
	17	$5,7 \times 10^{10}$	$3,9 \times 10^7$	99,93	$1,4 \times 10^{10}$	$3,9 \times 10^7$	99,72
	24	$5,7 \times 10^{10}$	$5,4 \times 10^6$	99,99	$1,4 \times 10^{10}$	$5,3 \times 10^6$	99,96
10	10	$5,7 \times 10^{10}$	$3,1 \times 10^7$	99,94	$1,4 \times 10^{10}$	$2,9 \times 10^7$	99,79
	17	$5,7 \times 10^{10}$	$8,2 \times 10^5$	100,00	$1,4 \times 10^{10}$	$4,0 \times 10^5$	100,00
	24	$5,7 \times 10^{10}$	$1,3 \times 10^7$	99,98	$1,4 \times 10^{10}$	$1,3 \times 10^7$	99,91
15	10	$5,7 \times 10^{10}$	$3,8 \times 10^7$	99,93	$1,4 \times 10^{10}$	$6,5 \times 10^6$	99,95
	17	$5,7 \times 10^{10}$	$1,9 \times 10^6$	100,00	$1,4 \times 10^{10}$	$3,4 \times 10^5$	100,00
	24	$5,7 \times 10^{10}$	$1,3 \times 10^7$	99,98	$1,4 \times 10^{10}$	$1,2 \times 10^6$	99,98

Tabela 4. Médias das quantidades de fibra em detergente ácido (FDA) no afluente e efluente e suas reduções durante a co-digestão anaeróbia das excretas suínos com doses crescentes de glicerina bruta e diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH).

Dose	TRH	FDA		
		Afluente (g)	Efluente (g)	Redução (%)
0	10	11,96	6,95	41,87
	17	8,64	2,76	68,09
	24	5,54	1,48	73,21
5	10	16,05	7,59	52,68
	17	11,53	3,57	69,01
	24	7,48	0,98	86,87
10	10	22,17	5,85	73,59
	17	13,49	3,89	71,14
	24	9,81	2,05	79,14
15	10	20,89	4,45	78,72
	17	12,53	1,55	87,66
	24	9,07	0,96	89,38

Tabela 5. Valores médios dos teores de N, P e K (em gramas no afluente e efluente) e reduções destes teores durante co-digestão de excretas de suínos e glicerina bruta em diferentes tempos de retenção hidráulica (TRH).

Dose	TRH	Nitrogênio			Fósforo			Potássio		
		Afluente	Efluente	Redução (%)	Afluente	Efluente	Redução (%)	Afluente	Efluente	Redução (%)
0	10	2,06	1,62	21,36	1,09	0,84	22,94	0,10	$5,4 \times 10^{-3}$	94,60
	17	1,59	0,98	38,36	0,79	0,56	29,11	0,07	$2,4 \times 10^{-3}$	96,57
	24	1,08	0,58	46,30	0,51	0,33	35,29	0,05	$9,0 \times 10^{-4}$	98,20
5	10	2,33	1,69	27,47	1,04	1,01	2,88	0,10	$6,1 \times 10^{-3}$	93,90
	17	1,77	1,07	39,55	0,75	0,63	16,00	0,07	$2,7 \times 10^{-3}$	96,14
	24	1,08	0,41	62,04	0,49	0,24	51,02	0,05	$6,7 \times 10^{-4}$	98,66
10	10	2,29	1,60	30,13	1,07	0,92	14,02	0,16	$8,8 \times 10^{-3}$	94,50
	17	1,46	1,06	27,40	0,65	0,59	9,23	0,09	$3,5 \times 10^{-3}$	96,11
	24	1,06	0,63	40,57	0,47	0,36	23,40	0,07	$1,5 \times 10^{-3}$	97,86
15	10	1,82	1,39	23,63	0,99	0,87	12,12	0,14	$7,5 \times 10^{-3}$	94,64
	17	1,13	0,57	49,56	0,60	0,36	40,00	0,08	$1,8 \times 10^{-3}$	97,75
	24	0,80	0,40	50,00	0,43	0,26	39,53	0,06	$9,4 \times 10^{-4}$	98,43



## APÊNDICE II



Figura 1. Corte transversal de biodigestor semi-contínuo.

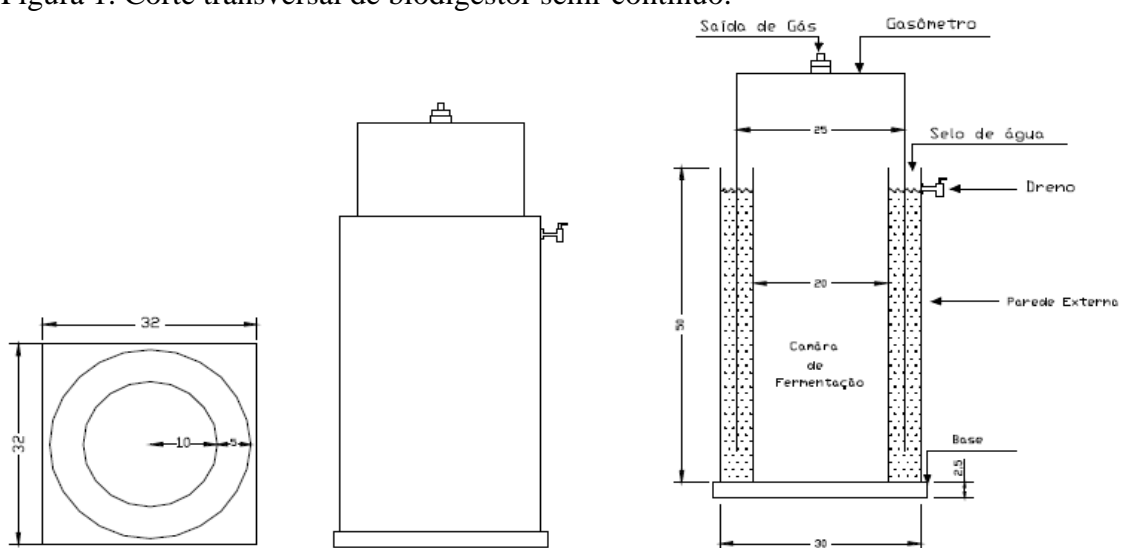


Figura 2. Esquema dos gasômetros experimentais.



Figura 3. Biodigestores experimentais de modelo semi-contínuos.



Figura 4. Deslocamento vertical do gasômetro após produção de biogás.

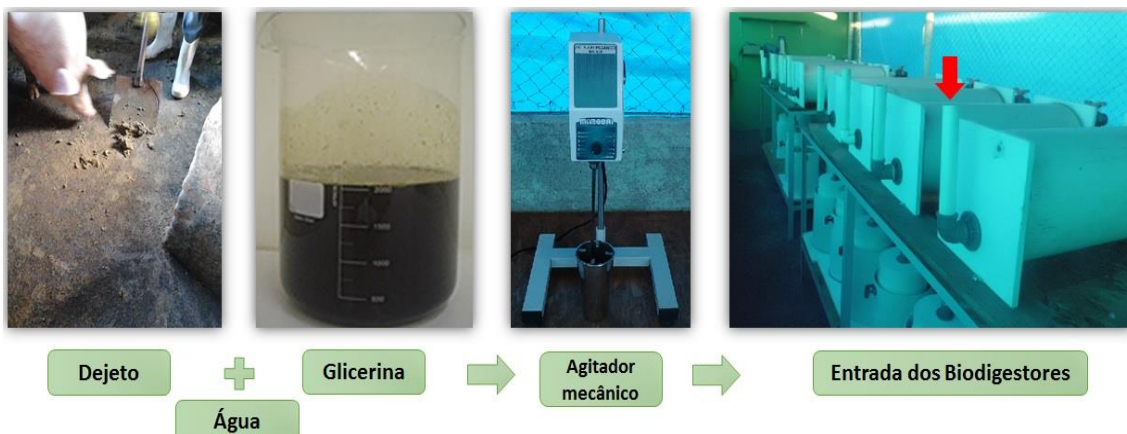


Figura 5. Esquema demonstrando coleta por raspagem e preparação do substrato adicionado aos biodigestores experimentais.



Figura 6. Amostra de entrada e saída dos biodigestores em bandejas após secagem em estufa de circulação forçada, análise de sólidos totais em estufa a 105° e cadinhos após mufla para análise de sólidos voláteis.



Figura 7. Balança analítica utilizada para pesagem das amostras.



Figura 8. Queima do biogás após mensuração diária.



Figura 9. Tubos após análise da demanda química de oxigênio utilizando digestor e espectrofotômetro.



Figura 10. Análise do NMP de coliformes pela técnica dos tubos múltiplos.



Figura 11. Digestão ácida de material para análise de fósforo e potássio.



Figura 12. Análise do teor de potássio em fotômetro de chama.





Figura 13. Tubos após digestão sulfúrica, destilação e titulação para determinar o teor de nitrogênio pelo método de Kjeldahl.