

ALICE WATTE SCHWINGEL

**USO DE GLICEROL COMO FONTE DE CONVERSÃO ENERGÉTICA NOS
PROCESSOS DE CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E ENSILAGEM**

Botucatu

2017

ALICE WATTE SCHWINGEL

**USO DE GLICEROL COMO FONTE DE CONVERSÃO ENERGÉTICA NOS
PROCESSOS DE CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA E ENSILAGEM.**

Tese apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp Câmpus
de Botucatu, para obtenção do título
Doutor em Agronomia (Energia na
Agricultura).

Orientador: Jorge de Lucas Junior

Coorientadora: Ana Carolina Amorim
Orrico

Botucatu

2017

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - DIRETORIA TÉCNICA DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

S415u Schwingel, Alice Watte, 1990-
 Uso de glicerol como fonte de conversão energética nos processos de co-digestão anaeróbia e ensilagem / Alice Watte Schwingel. - Botucatu : [s.n.], 2017
 86 p. : grafs., ils., tabs.

 Tese (Doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
 Orientador: Jorge de Lucas Junior
 Coorientador: Ana Carolina Amorim Orrico
 Inclui bibliografia

 1. Biodiesel. 2. Ensilagem. 3. Glicerina. 4. Resíduos de animais. I. Lucas Junior, Jorge de. II. Orrico, Ana Carolina Amorim. III. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. IV. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

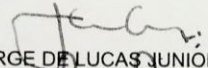
**TÍTULO DA TESE: USO DE GLICEROL COMO FONTE DE CONVERSÃO
ENERGÉTICA NOS PROCESSOS DE CO-DIGESTÃO
ANAERÓBIA E ENSILAGEM**

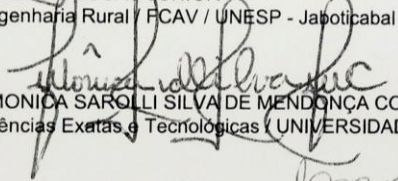
AUTORA: ALICE WATTE SCHWINGEL

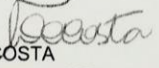
ORIENTADOR: JORGE DE LUCAS JUNIOR

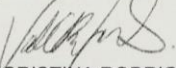
COORIENTADOR: ANA CAROLINA AMORIM ORRICO

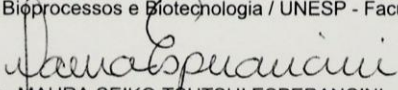
Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Doutora em AGRONOMIA
(ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JORGE DE LUCAS JUNIOR
Depto de Engenharia Rural / FCAV / UNESP - Jaboticabal


Profa. Dra. MONICA SAROLLI SILVA DE MENDONÇA COSTA
Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas / UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ


Profa. Dra. LAURA VANESSA CABRAL DA COSTA
Departamento de Engenharia / UNIARA - Araraquara/SP


Profa. Dra. VALERIA CRISTINA RODRIGUES SARNIGHAUSEN
Depto de Biotecnologia e Biotecnologia / UNESP - Faculdade de Ciências Agrônômicas de Botucatu


Profa. Dra. MAURA SEIKO TSUTSUI ESPERANCINI
Dep de Economia, Sociologia e Tecnologia / Faculdade de Ciências Agrônômica - UNESP

Botucatu, 26 de janeiro de 2017

*A Deus pelo amor e por nunca desistir de mim. Aos meus pais,
Lúcia e Marco. E ao Pablo, meu companheiro desta vida.*

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Lúcia e Marco, pelo amor sem medidas, incentivo e esforço que sempre fizeram por mim, obrigada pela nossa família.

Às minhas irmãs, Ângela e Anailce, obrigada por tantos momentos de alegria e amizade. Aos 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.

Ao meu orientador, Dr. Jorge de Lucas Junior, pela oportunidade, paciência, exemplo de profissional. Que Deus possa retribuir o que não está ao meu alcance e abençoe grandemente o senhor e sua família.

À minha querida co-orientadora, Dra. Ana Carolina Amorim Orrico, pelo apoio e amizade, obrigada por tantos ensinamentos, conselhos e por ser tão atenciosa. Que Deus a abençoe grandemente.

Ao professor Dr. Marco Antonio Previdelli Orrico Junior, pelo apoio, orientação em pesquisas e pela atenção dedicada. Assim como a Dra. Ana Carolina, o senhor sempre será lembrado com muito carinho por fazer parte de momentos tão importantes da minha vida.

Aos meus amigos, Aldo Fava, Nilsa Lima, Natália Sunada, Fábio Luiz, Débora Manarelli, Carla Crone, Franciely Neves, Adriano Silveira e Walter Teixeira, pelo auxílio, convivência e amizade, sempre os lembrarei com muito carinho.

Às amigas de Botucatu Ana Júlia, Tahila e Larissa pela convivência e momentos inesquecíveis.

Aos companheiros de disciplinas do curso, pela força, amizades e momentos de descontração.

Ao Programa de Pós-graduação em Agronomia (Energia na Agricultura) da Universidade Estadual Paulista-UNESP de Botucatu pela oportunidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida durante o curso de doutorado.

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

RESUMO

A produção de biodiesel gera altas quantidades de glicerina bruta de baixa qualidade, com baixo conteúdo de glicerol, que requer purificação para atender o mercado consumidor ou pode ser usado em sistemas de reciclagem, nos quais os resíduos poluentes resultarão em energia limpa ou energia na forma de alimento. Para empregar esta glicerina nesses sistemas, ela deve estar associada a outro resíduo de modo a equilibrar a digestão do meio e aumentar o rendimento energético ou estar associado a uma forrageira com características que suporte sua inclusão no processo de ensilagem. Com esta pesquisa, objetivou-se avaliar a influência de conteúdos de glicerol na composição da glicerina (40% (G40), 60% (G60) e 80% (G80)) sobre o desenvolvimento da co-digestão anaeróbia com excretas de aves de postura com as inclusões de níveis de glicerol de 0, 1, 2, 3 e 4% dos sólidos totais (ST) e também com níveis de glicerol de 0, 2, 4 e 6% na matéria seca (MS) ensilada sobre o desempenho do processo de ensilagem de capim *Urochloa brizantha* cv. Piatã. O delineamento experimental utilizado nos dois experimentos foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo, com análise da interação entre os dois fatores (pureza das glicerinas e níveis de glicerol). O efeito das purezas foi avaliado por teste de média e das doses de glicerol por contrastes ortogonais, a fim de encontrar as doses ideais por meio dos modelos ajustados. A pureza das glicerinas teve efeito semelhante para maioria dos parâmetros avaliados. A inclusão de 2,5% de glicerol gerou a maior produção de biogás por SV (1654,1 L kg_{adicionado}⁻¹). Com 2,6% de glicerol obteve-se a maior produção de biogás por ST e máximas produções de metano por ST e SV (1058,91 L kg_{adicionado}⁻¹), possibilitando incremento de 34,7 e 36,3% nas produções específicas de metano por ST e SV adicionados, respectivamente. A maior redução de ST (60,97%) foi observada com a inclusão de 2,2% de glicerol e com 2,4% obteve-se a maior redução de SV (73,6%). Com 2,1% de glicerol na G40 houve redução de 55,4% na DQO, já com 2,6% de glicerol houve 50,4 e 50,5% de redução para G60 e G80, respectivamente. Na ensilagem foram observados aumentos nas populações de bactérias ácido lácticas, alcançando 7,58 Log UFC/g de silagem com a dose de 6% de glicerol, e de bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas em função da dose de glicerol. O glicerol influenciou positivamente os valores nutricionais e para conservação do valor máximo (4,6%) de PB do capim, encontrou-se como dose ideal a inclusão de 2,9% de glicerol. Portanto, pode-se concluir que a pureza da glicerina

teve um efeito sobre estes processos de co-digestão e ensilagem. Considerando os altos custos do processo de purificação, é possível indicar a utilização a partir da G40 com inclusões de até 2,6% de glicerol aos ST para melhorar a co-digestão com dejetos de galinha de postura e de até 6% de glicerol sem prejuízos ao processo de ensilagem de capim Piatã.

Palavras-chave: Biodiesel, conservação de forragem, excretas de galinhas, resíduos energéticos.

SUMMARY

Biodiesel production generates high amounts of low-quality crude glycerin, with low glycerol content, which requires purification to meet the consumer market or even to be used in recycling systems, in which the polluting residues will result in clean energy or energy component of animal food. In order to employ this glycerin in those systems, it must be associated with another residue so as to balance the digestion medium and increase energy yield or be associated with a forage with characteristics that support its inclusion in the ensilage process. This research aimed to evaluate the influence of glycerol contents within glycerin composition [40% (G40), 60% (G60) and 80% (G80)] and addition of glycerol levels (0, 1, 2, 3 and 4% of total solids - TS) on anaerobic co-digestion with laying-hen manure and also with glycerol levels of 0, 2, 4 and 6% (of the ensiled dry matter) on the performance of the grass ensilage process *Urochloa brizantha* cv. Piatã. The experimental design, in the two experimentals, was completely randomized in a double factorial design, with analysis of the interaction between both factors (glycerin purity and glycerol additions). Purity effect was assessed by mean tests and glycerol doses by orthogonal contrasts to find optimal doses through adjusted models. G40 showed performance 3.5% and 2.8% lower than the G60 and G80, respectively, over biogas productions by TS_{added}, and even lower biogas and methane productions by COD_{reduced}. The inclusion of 2.5% glycerol generated the largest biogas production by VS (1654.1 L kg_{added}⁻¹). The highest biogas production by TS was obtained with 2.6% glycerol, and the highest methane production by TS and VS (1058.91 L kg_{added}⁻¹), increasing in 34.7 and 36.3% specific methane productions by TS and VS added, respectively. The highest TS reduction (60.97%) was observed with inclusion of 2.2% glycerol; and with 2.4%, the highest VS reduction (73.6%) was obtained. Adding 2.1% glycerol in G40 promoted a reduction of 55.4% in COD; and with 2.6% glycerol, reductions of 50.4 and 50.5% for G60 and G80, respectively. In the silages were observed high in populations of lactic acid bacteria, obtaining 7.58 CFU/g of silage with a dose of 6% of glycerol and facultative anaerobic mesophilic bacteria as a function of glycerol dose. Glycerol positively influenced the nutritional values and for the conservation of the maximum value (4.6%) of PB of the grass, it was found as an ideal dose the inclusion of 2.9% of glycerol. Therefore, we can conclude that the purity of glycerin had an effect on these co-digestion and ensilage process.

Considering the high costs of the purification process, it is possible to indicate the use from the G40 with inclusions of up to 2.6% glycerol for TS to improve co-digestion with laying residues and up to 6% glycerol to DM in the ensilage process Piatã grass.

Key words: Biodiesel, energy waste, chicken excreta, forage conservation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1. Uso da glicerina bruta na melhoria do processo de biodigestão anaeróbia: efeito da qualidade do resíduo e dose de glicerol

Página

Figura 1. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada.....	46
Figura 2. Comportamento e modelos de predição das produções de biogás por sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) adicionados (A) e reduzidos (B) em biodigestores batelada operados com dejetos de galinhas de postura e glicerol.	51
Figura 3. Comportamentos e modelos de predição das produções específicas de metano por sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) adicionados (A) e reduzidos (B), teores de metano no biogás (C) e comportamento da produção acumulada de metano para cada dose (D).....	53
Figura 4. Comportamento do efeito do glicerol sobre os valores de pH (potencial hidrogeniônico dos substratos de entrada e saída dos biodigestores batelada.	55
Figura 5. Modelos de predição do comportamento de redução dos sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) durante co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas e postura e glicerol.	56
Figura 6. Modelos de predição do efeito das doses de glicerol sobre o comportamento de redução da demanda química de oxigênio (DQO) das glicerinas contendo 40 (G40), 60 (G60) e 80% (G80) de glicerol durante co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas e glicerol.	57

CAPÍTULO 2. Glicerol como fonte energética suplementar no processo de ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã

Página

Figura 1. Modelos de predição do comportamento de fibra em detergente neutro (FDN) nas silagens de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã e glicerol.....	71
Figura 2. Modelos de predição do efeito das glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol sobre a população de bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas de silagens de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã em relação às doses de glicerol...	73

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1. Uso da glicerina bruta na melhoria do processo de biodigestão anaeróbia: efeito da qualidade do resíduo e dose de glicerol

Página

Tabela 1. Características de composição in natura dos substratos adicionados aos biodigestores batelada.....	45
Tabela 2. Características do material inicial e do biofertilizante após co-digestão anaeróbia para cada condição experimental.	48
Tabela 3. Produções específicas de biogás e metano por sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) adicionados e reduzidos durante co-digestão de dejetos de galinhas de postura com glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol.....	49

CAPÍTULO 2. Glicerol como fonte energética suplementar no processo de ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã

Tabela 1. Perdas fermentativas, cv. Piatã com a inclusão de valores nutricionais e potencial hidrogeniônico (pH) de silagens de <i>Urochloa brizantha</i> sem glicerina (SG) e com glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol.	68
Tabela 2. Perdas fermentativas, pH e composição química das silagens de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã em função das diferentes doses de glicerol na MS ensilada.	69
Tabela 3. População microbiana (Log UFC g ⁻¹ de silagem) na silagem de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã obtida sem glicerina (SG) com a inclusão de glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol.....	72

SUMÁRIO

	Página
1 INTRODUÇÃO GERAL	19
2 REVISÃO DE LITERATURA	20
2.1 Biodiesel e glicerina	20
2.2 Biodigestão de dejetos animais.....	26
2.3 Ensilagem de capins tropicais	32
3 CAPÍTULO 1 – Uso da glicerina bruta na melhoria do processo de biodigestão anaeróbia: efeito da qualidade do resíduo e dose de glicerol	39
3.1 Introdução	42
3.2 Material e Métodos	44
3.3 Resultados e Discussão	47
3.4 Conclusão	58
3.5 Referências Bibliográficas	58
4 CAPÍTULO 2 - Glicerol como fonte energética suplementar no processo de ensilagem de <i>Urochloa brizantha</i> cv. Piatã	62
4.1 Introdução	64
4.2 Material e Métodos	65
4.3 Resultados e Discussão	67
4.4 Conclusão	74
4.5 Referências Bibliográficas	75
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	77
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79

1. INTRODUÇÃO GERAL

O Brasil comprometeu-se a mitigar a emissão de poluentes durante a Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (COP-15), estabelecendo a meta de deixar de emitir cerca de 1 bilhão de tonelada equivalente de CO₂ até 2020. Para alcançar este objetivo, são necessárias várias ações, como a ampliação da eficiência energética. Desta forma, o incentivo à produção do biodiesel aliou a necessidade de atender ao compromisso assumido e a intenção do governo de incentivar a agricultura familiar nacional na época, criando assim, o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB), determinando a utilização de um percentual mínimo obrigatório do biodiesel no diesel comercializado no país (BRASIL, 2015).

A produção de biodiesel no Brasil encontra-se em torno de 3,9 milhões de m³ ao ano e a glicerina bruta, subproduto da fabricação do biodiesel, vem sendo gerada na proporção média de 10% deste total (REN21, 2016; LARSEN et al., 2013). Observa-se, porém, um entrave ao sucesso da produção do biodiesel devido ao excedente de aproximadamente 175 mil m³ anuais de glicerina bruta.

Além da quantidade deste resíduo, o que também compromete sua utilização é a baixa qualidade, pelos elevados teores de umidade e contaminantes que podem representar um processo ineficiente da extração de energia, como o excesso de lipídeos, e ainda, teores elevados de sódio e outros elementos.

Segundo Larsen (2009), os custos para instalação de uma fábrica de purificação de glicerina bruta são significantes, comparados ao custo de funcionamento de uma usina de biodiesel, pois necessitam de 15 a 20 funcionários, enquanto que para uma fábrica somente de biodiesel há necessidade de cerca de 2 a 3 pessoas no setor operacional. Diante deste cenário, foram testadas glicerinas com três diferentes níveis de glicerol (40, 60 e 80%) para avaliação da interferência do grau de pureza, já que a purificação incide em maiores custos.

O ensaio de co-digestão anaeróbia foi executado com dejetos de aves de postura junto à três glicerinas distintas, cada uma com inclusão baseada em quatro níveis de glicerol como fonte de carbono. A escolha por estes resíduos deve-se a importância do setor avícola para a economia brasileira, mas que também, devido a sua alta tecnificação, é responsável por grande concentração de animais em uma área restrita, causando acúmulo acentuado de dejetos. Estes dejetos, no entanto, possuem

características em sua composição que podem gerar boas quantidades de biogás e metano em co-digestão anaeróbia com outros resíduos ricos em carbono.

Já o ensaio de ensilagem foi realizado objetivando melhorar a qualidade do processo fermentativo, evitando maiores perdas do valor nutritivo durante ensilagem de capim Piatã, com idade de corte de 60 dias. Foram adicionados três glicerinas distintas, cada uma com inclusão baseada em três níveis de glicerol como fonte de carboidratos, já que a qualidade do processo depende, principalmente, do teor de carboidratos solúveis, da capacidade tampão e do teor de umidade da forragem.

Com este trabalho, objetivou-se indicar duas alternativas para a destinação do excedente de glicerina ao avaliar a possibilidade da interferência da pureza da glicerina e/ou o nível de glicerol na composição da glicerina no desenvolvimento da co-digestão anaeróbia com excretas de aves de postura e no processo de ensilagem do capim *Urochloa brizantha* cv. Piatã.

A tese foi dividida em dois capítulos, sendo o primeiro capítulo intitulado “Adição de glicerinas com diferentes teores de glicerol em co-digestão com dejetos de galinhas de postura”, redigido conforme as normas da revista *Journal of Cleaner Production*; o segundo capítulo intitulado “Glicerol como fonte energética suplementar no processo de ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã”, redigido conforme as normas da revista *Ciência Agrônômica*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Biodiesel e glicerina

A crescente demanda mundial por combustíveis, principalmente os de origem fóssil, gerou uma grande preocupação, devido às reservas limitadas de petróleo e pelo alarmante crescimento de graves problemas de poluição (MORA et al. 2015). Como consequência desta problemática, nos últimos anos, houve uma intensificação em pesquisas sobre combustíveis oriundos de fontes renováveis, com destaque para os biocombustíveis etanol e biodiesel. Os biocombustíveis surgem, portanto, como alternativa para minimizar os altos índices de poluição, com consequentes benefícios sociais e econômicos.

Para incentivar a produção dos biocombustíveis muitos países criaram benefícios especiais para empresas geradoras e, segundo a *Unidad de Planeación*

Minero Energética (UPME, 2003), implementaram leis com exigências de incorporação de quantidades mínimas dos mesmos na composição dos combustíveis fósseis para abastecimento de veículos, sem que o seu desempenho seja comprometido.

No Brasil, os biocombustíveis foram considerados como alternativa importante somente nas crises do petróleo, de 1973 a 1974 e, especialmente, de 1979 a 1980, ano este em que o país foi pioneiro ao registrar uma patente sobre o processo de produção de biocombustível biodiesel (JARDINE; BARROS, 2016). Como consequência de anos de pesquisas e esforços, em 13 de janeiro de 2005 foi publicada a Lei 11.097 (BRASIL, 2005) que discorre sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira com a regularização do setor feita pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP) e que implementou o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel.

Assim, o governo incentivou a produção do biodiesel e, através de leis e medidas provisórias constantemente reavaliadas, determinou a utilização de um percentual mínimo obrigatório do biodiesel no diesel comercializado no país, iniciando com 2% e atualmente autorizou a inclusão de 8% em 2016, com aprovação de aumento para 10% até 2018 (BRASIL, 2016).

A produção de biodiesel aumentou consideravelmente nos últimos anos devido aos incentivos e à essa aceitação de uma alternativa mais sustentável, obtendo-se, desta maneira, uma produção mundial de cerca de 30,1 bilhões de litros em 2015, dos quais o Brasil, como segundo maior produtor, participou com 13% do montante ao produzir 3.937.269.000 de litros de biodiesel, obtendo aumento de 15% em relação a 2014 (REN21, 2016).

De acordo com o Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 (BRASIL, 2015) do Ministério de Minas e Energia do Brasil, a matéria-prima representa cerca de 80% do custo de produção do biodiesel e para o próximo decênio estima-se que o óleo de soja ainda será o insumo mais importante do processo produtivo, já que, desde a implantação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), ocupa o primeiro lugar como matéria-prima, seguido do sebo bovino, óleo de algodão e por óleos vegetais de culturas menos expressivas (mamona, dendê e girassol).

O uso do biodiesel como combustível de produção sustentável contribui para melhoria também social, ambiental e econômica. A inclusão do biodiesel na matriz energética brasileira e o incentivo ao crescimento do setor certamente traz benefícios

políticos e econômicos para o Brasil, assim como minimização de problemas ambientais. No entanto, com a ampliação de sua produção, há também o aumento da geração de um coproduto de potencial poluidor chamando de glicerina bruta, uma vez que a cada 100 litros de biodiesel são gerados cerca de 10 litros deste resíduo (LARSEN et al., 2013). Estima-se, então, que em 2015, conforme a produção de biodiesel relatada no *Renewables 2016 Global Status Report* (REN21, 2016), o volume de glicerina bruta produzido foi próximo aos 400 milhões de litros.

O montante gerado, atualmente, causa grande apreensão devido à sua limitada demanda comercial, já que a cada ano aumenta-se a diferença entre geração e demanda, com perspectivas de resultar em um excedente anual de 2,4 bilhões de litros até 2024 (BRASIL, 2015). Para destinação deste montante de glicerina bruta, as empresas necessitam de um bom planejamento, pois antes do incentivo governamental a solução baseava-se nas técnicas de purificação para uso do glicerol puro, pois o mercado absorvia toda a produção. Além disso, deve-se considerar que este resíduo possui alta carga orgânica e composição variável que podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

A glicerina bruta é obtida após a reação de transesterificação do óleo vegetal ou gordura animal durante a produção do biodiesel e neste processo podem ser utilizadas duas rotas alcoólicas, a etílica ou a metílica, que podem influenciar nas características da glicerina e seus futuros destinos, já que com maior quantidade de metil poderá ser considerada tóxica para fermentação anaeróbia. Segundo descrito por Kocsisová e Cvengos (2006), uma glicerina oriunda de um processo que utilizou metanol como álcool e um catalisador básico, pode apresentar: de 50 a 60% de glicerol, de 12 a 16% de bases na forma de sabões, 15 a 18% de ésteres metílicos de ácidos graxos de cadeia longa, de 8 a 12% de metanol, e 2 a 3% de água e outras impurezas. Desta maneira, o tipo do catalisador (ácido ou básico) é um fator que interfere nas características do biodiesel e da glicerina e, portanto, a política de filtração ou purificação parcial da glicerina bruta de cada usina determinará suas composições.

O teor do glicerol na glicerina bruta pode variar em função de alguns fatores que surgem devido a escolha da matéria-prima para o biodiesel. Na composição da glicerina bruta encontram-se, geralmente, um mínimo de 30% de substâncias, além do glicerol, que são consideradas como impurezas para as indústrias consumidoras de glicerina pura e comprometem sua valorização. As principais impurezas são: o catalisador, álcool, ácidos graxos, óleo residual, ésteres, água, sabões e sais. Ainda,

de acordo com Thompson e He (2006) a glicerina bruta também pode conter uma variedade de elementos, tais como cálcio, magnésio, fósforo e enxofre.

Para adquirir alto valor de mercado, a glicerina é então purificada até que alcance as exigências das aplicações industriais. A purificação consiste em um processo de refino, que geralmente é realizado por destilação, com posterior tratamento usando carvão ativo. Lopes et al. (2014) destacam a destilação como o método mais utilizado e que deve ser feita à pressões reduzidas, de 0,600 a 1,330 kPa absoluto, com temperatura limite de 204 °C, a fim de prevenir a polimerização e a decomposição da glicerina em acroleína.

Outra forma de refino é realizado por processos de troca iônica, buscando operações mais simples e possível menor consumo de energia. A purificação por troca iônica é feita com a passagem do material filtrado através de consecutivos leitos de resina aniônica fraca e de resinas mistas de cátion e ânion fortes, com eficiências de 90% de remoção para soluções aquosas diluídas de glicerol, contendo de 20 a 40% de material glicérico (MENDES; SERRA, 2012). Por meio das resinas elimina-se sais, ácidos graxos livres, impurezas que conferem cor e odor, entre outras impurezas minerais presentes e a concentração de glicerina ocorre devido a evaporação do solvente (LOPES et al., 2014).

Após passar pelo processo de purificação, o glicerol é comumente utilizado por indústrias de cosméticos, fármacos, têxtil, tintas, alimentos, entre outros, porém o grau de pureza deve estar maior do que 95% para maioria destes produtos. Apesar dos parâmetros estabelecidos pelo governo brasileiro exigirem no mínimo 80% de glicerol nas glicerinas, apenas 36,8% da produção das usinas seguem este padrão (OLIVEIRA et al., 2013).

A qualidade da glicerina bruta pode ser melhorada com o aumento do teor de glicerol utilizando também um tratamento com ácidos fortes (hidrólise ácida), alcançando concentração entre 78 e 82% (KOCSISOVÁ; CVENGOS, 2006). Por isso, comercialmente, são identificadas diferentes categorias de glicerinas em função do teor de glicerol, já que a quantidade de impurezas afetará seu valor de mercado devido à sua qualidade como matéria-prima ser comprometida para maioria dos processos. Na literatura, ainda é difícil um consenso entre os pesquisadores sobre qual porcentagem de glicerol na glicerina que a considera dentro das categorias comerciais.

Segundo Costa (2008) e Oliveira et al. (2011), na indústria de biodiesel podem ser obtidos basicamente quatro tipos de glicerina, gerando, logo após a separação do biodiesel, a glicerina bruta com baixo teor de glicerol (40 a 70%) e grandes quantidades de impurezas. Quando esta glicerina inicial passa por algum processo, como a hidrólise ácida, para remoção de ácidos graxos, sabões e excesso de álcool, ela é chamada de glicerina loira e apresenta ainda água e sais junto ao teor de glicerol entre 75 e 85%. A glicerina loira pode passar pela bidestilação a vácuo e tratamento com absorventes para ser obtida a glicerina de grau farmacêutico com teor de glicerol superior a 99%, objetivando alcançar setores farmacêuticos, de higiene e cosméticos. Já para ser utilizada em alimentos é necessário uma glicerina de grau alimentício com garantia de pureza total (100% de glicerol).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (BRASIL, 2015), o grau de pureza é um fator fundamental para ampliar o mercado da glicerina e para agregar valor comercial ao produto, porém o processo de tratamento é custoso, sendo um investimento difícil principalmente para os produtores em menor escala. Uma unidade de refino com capacidade para processar 150 toneladas diárias de glicerina e alto nível de automação, pode custar mais de 12 milhões de dólares e para manter-se em operação poderia exigir anualmente em torno de US\$ 1,98 milhão (BIOMERCADO, 2014).

Fiuza et al. (2014) ressaltam a falta de iniciativas brasileiras visando conquistar patentes que envolvem tecnologia de purificação da glicerina. Segundo os autores, no Brasil geralmente é feita a destilação e, na maioria dos processos faz-se uso de um tratamento prévio com ácido e/ou base, mas há necessidade de novas ações devido aos elevados volumes produzidos que permanecem estocados nas indústrias geradoras por falta de aplicação. Desta forma, além de estimular o desenvolvimento de processos tecnológicos para a purificação de glicerina bruta, deve-se também ser incentivadas novas aplicações para a glicerina (FIUZA et al., 2014).

Diversos pesquisadores buscam encontrar processos que possam absorver a glicerina bruta com características o mais próximo possível da sua forma original, visando opções mais simplificadas e objetivando a melhoria do processo que recebe este resíduo. A incorporação aos processos de biodigestão anaeróbia, configurando uma co-digestão por juntar-se com outros resíduos, foi uma das alternativas encontradas para obter, além da degradação dos resíduos, a produção de fertilizante orgânico e potencialização das produções de biogás e metano.

A glicerina bruta é indicada para digestão anaeróbia por possuir alto teor de carbono (C) oriundo, principalmente, do glicerol, entretanto, afim de obter bons resultados de produção de biogás, é recomendado a co-digestão junto à resíduos ricos em nitrogênio (N), pois segundo Zhang et al. (2014), uma relação C/N muito elevada significa degradação muito rápida do nitrogênio e resulta em baixos rendimentos de biogás.

Um dos primeiros trabalhos sobre co-digestão anaeróbia da glicerina bruta com resíduos agropecuários foi o de Amon et al. (2006). Em ensaio com substratos oriundos de silagem de milho, de dejetos suínos e de farelo de canola, os autores obtiveram elevados valores de produção de biogás e, principalmente, de metano, com a adição de 3 e 6% de glicerina bruta. Com a adição de 6% de glicerina bruta, o rendimento do biogás foi de $1.114 \text{ NI (kg SV)}^{-1}$ e do metano $617 \text{ NI (kg SV)}^{-1}$, ou seja, com a adição de 6% de glicerina bruta, houve um incremento de 270% no rendimento específico do biogás.

O Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) autorizou o uso da glicerina na alimentação animal desde 2010, mas estabeleceu um padrão de qualidade, com as seguintes exigências: glicerol (mínimo de 800 g/kg de alimento); umidade (máximo 130 g/kg); metanol (máximo 159 mg/kg) e sódio e matéria mineral (podendo variar pelo processo produtivo) (OLIVEIRA, 2013).

A glicerina bruta também vem sendo utilizada na alimentação animal como uma fonte energética, com autores relatando sucesso de sua adição em dietas de peixes, suínos, frangos, caprinos e bovinos. De acordo com Rodrigues e Rondina (2013), para os ruminantes, o glicerol é absorvido diretamente pelo epitélio ruminal, metabolizado no fígado e direcionado para a gliconeogênese pela ação da enzima glicerol quinase, que o converte em glicose. Segundo os mesmos autores, uma parte do glicerol no rúmen pode ser transformada em propionato, que por sua vez é metabolizado a oxaloacetato, por meio do ciclo de Krebs, no fígado, e pode ser utilizado para formar glicose pela via gliconeogênica. Assim, quando a glicerina bruta faz parte da dieta do animal, ela possui potencial como substrato gliconeogênico para ruminantes (KREHBIEL, 2008).

Ressalta-se ainda, a importância desta obtenção de energia para alimentação de ruminantes, pois, quando o alimento fornecido pode ser aproveitado mais eficientemente pelos animais, pode-se considerar a qualidade da dieta como uma forma de mitigação de gases de efeito estufa, devido à redução da produção de

metano via eructação, como observado em trabalhos realizados na Austrália e Canadá que foram citados por Beserra et al. (2016), onde constatou-se que para cada 1% de acréscimo de gordura na dieta de ruminantes, pode-se reduzir em até 6% a quantidade de metano produzido por kg de matéria seca consumida.

O uso da glicerina bruta no processo de ensilagem começou a ser estudado após na alimentação animal já estar constatado que auxilia no aumento da eficiência alimentar dos animais, portanto teve-se a segurança do resíduo não afetar negativamente a saúde e desempenho dos animais que irão consumi-la, principalmente porque servirá de substrato a ser consumido pelos microrganismos conservadores do material durante a ensilagem.

Objetivando avaliar o efeito do glicerol nas silagens de milho e girassol, Martins et al. (2014) incluíram ao material verde, 0, 15, 30 e 45% de glicerol, com base na matéria seca (MS). Os autores constataram que, conforme aumentaram as doses, em ambas as silagens os teores de MS, carboidratos não fibrosos (CNF) e nutrientes digestíveis totais (NDT) foram incrementados e houve redução de proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA), concluindo então que o glicerol nas silagens avaliadas contribui com o aumento no valor nutritivo, compensando possíveis perdas de qualidade no processo de ensilagem.

Por ser facilmente utilizada como substrato energético para o crescimento microbiano, a glicerina bruta pode acelerar o processo de fermentação, reduzindo perdas e promovendo maior produção de ácido lático na silagem. A glicerina ao melhorar processo de fermentação, pode auxiliar também na redução da produção de efluente (comum em silagens de capins tropicais) e conseqüentemente na qualidade do produto final (DUARTE, 2015).

2.2. Biodigestão de dejetos animais

A biodigestão anaeróbia é utilizada em larga escala para degradação de resíduos orgânicos que possuem características propícias para recuperação energética. 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 conseqüente tratamento da fração orgânica (AMORIM et al., 2004).

Para degradar resíduos orgânicos em um sistema de biodigestão é preciso, inicialmente, conhecer o material para confirmar se esta é a melhor alternativa para

diminuir sua carga orgânica e patógenos, tendo assim um importante identificador sobre a geração dos produtos finais biofertilizante e biogás. Após a caracterização inicial dos resíduos pode-se escolher o melhor sistema de biodigestão, onde tem-se diferentes tipos de biodigestores (batelada e semi-contínuo, entre outros) que podem ser utilizados com distintos modos operacionais (com ou sem agitação, termofílica ou mesofílica, dentre outras).

O abastecimento dos biodigestores começa a ser realizado após o ajuste da composição inicial dos substratos, já que dependendo das características dos resíduos são necessárias adequações, como, por exemplo, a maior diluição em busca de menores teores de sólidos totais (ST). Posteriormente, já com o substrato no interior dos biodigestores, faz-se o acompanhamento da produção de biogás, sua composição, e outras operações que podem ser necessárias. O processo termina ou encerra um ciclo com o desabastecimento dos biodigestores para retirada do biofertilizante gerado.

O biogás gerado pode ser aproveitado pelo seu potencial energético, que é determinado pelo seu teor de metano, por meio da sua combustão para obtenção de energia térmica. Conforme afirmam Santos e Nardi Júnior (2013), o biogás gerado a partir da biodigestão anaeróbia é uma excelente opção de energia renovável e limpa, pois possui ótimo rendimento, com consequente diminuição do custo de energia elétrica dos produtores e com possibilidade de melhoria do setor energético brasileiro.

Os microrganismos presentes no meio em fermentação possuem diferentes funções nas etapas de degradação e necessidades ambientais muitas vezes distintas. Por isso, a sequência bioquímica de transformações metabólicas é influenciada por uma série de fatores (MIRANDA, 2009), como tempo de retenção hidráulica, temperatura, pH e teor de sólidos, além da composição do substrato, que são cruciais para eficácia deste processo (SOUZA et al., 2008).

A manutenção do meio em anaerobiose é a base para o início da fermentação dos resíduos, portanto o biodigestor deve garantir a impermeabilidade ao ar. O substrato inserido nestes biodigestores deve possuir teor de água adequado, normalmente com mais de 90% de umidade, pois seu excesso ou falta podem ser prejudiciais, assim como a presença de algumas substâncias que devem ser mantidos em baixas concentrações, como NaCl, Cu, Cr, NH₃, K, Mg, Ni (ARRUDA, 2002).

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 dos

resíduos energéticos e o teor de diluição no substrato. Em biodigestores batelada, o tempo de retenção hidráulica (TRH) varia em função das características do substrato e tecnologia operacional disponível, sendo que Farias et al. (2012) testaram biodigestão de dejetos avícolas em biodigestores batelada com um TRH de 150 dias, com temperatura média de 28°C, e relacionaram estes fatores com a significativa redução de coliformes observada.

A temperatura controlada pode ser uma aliada para um período de biodigestão abreviado e Arruda (2002) sugere que seja mantida em torno de 30°C, evitando mudanças bruscas para não afetar o desempenho microbiano. A fermentação termofílica (com temperaturas elevadas) tem atraído atenção devido à alta taxa de produção de biogás, em curto TRH e à destruição eficiente de patógenos, no entanto, o processo termofílico é mais sensível a mudanças no pH, ácidos graxos voláteis (AGV), amônia e substratos tóxicos quando comparada ao mesofílico (NIU et al., 2014), necessitando de ferramentas de alto controle de temperatura do sistema.

O valor de pH do substrato pode influenciar no desempenho das etapas quando encontra-se muito alcalino ou muito ácido, pois, mesmo os microrganismos necessitando de valores distintos nas diferentes etapas, as populações são sensíveis a grandes variações. De acordo com Calli et al. (2005), em um processo de biodigestão anaeróbia é possível que ocorra inibição quando o pH é superior a 7,4. Já para Ferrer et al. (2010), a gama de pH entre 6,1 e 8,3 pode ser considerada aceitável para biodigestão de resíduos orgânicos com ST entre 4 e 10%.

Entre as preocupações relacionadas com a composição, está a essencialidade de alguns nutrientes, principalmente carbono e nitrogênio, os quais devem estar em concentrações equilibradas, com uma relação C:N ideal entre 20:1 e 30:1 (FERNANDES, 2016). A concentração de nitrogênio excessiva de alguns resíduos, causa preocupação em decorrência da sobrecarga do sistema motivada pela inibição significativa da atividade metanogênica, dependendo das condições do reator e do grau de adaptação da comunidade microbiana (RAJAGOPAL et al 2013; VRIEZE et al. 2015). Segundo Niu et al. (2014), com a concentração de nitrogênio amoniacal total de 3000-4000 mg l⁻¹ considera-se que o meio está na margem da inibição.

A produção de metano também pode ser comprometida por altos teores de AGV dos substratos. Holm-Nielsen et al. (2008) realizaram um trabalho com objetivo de mensurar, com o *On-Line Near Infrared Monitoring* (NIR), os AGV gerados em um processo de fermentação de dejetos com resíduos orgânicos de indústria alimentícia

e glicerol puro (99,5% de glicerol), em reatores mantidos a 53°C. Conforme os autores aumentaram inclusão de glicerol de 3,5 para 6,5%, em relação ao volume total do digestor, houve maior produção de AGV, ocasionando sobrecarga, pois gerou inibição da etapa metanogênica e posterior colapso do sistema.

Em decorrência de sua elevada carga orgânica, os dejetos oriundos da produção avícola, especialmente as excretas e resíduos de galinhas de postura, são considerados resíduos com características que possibilitam o seu tratamento pela biodigestão anaeróbia e podem gerar alto volume de biogás e metano, não demonstrando ser um resíduo que possa gerar altos teores de AGV durante o processo.

A produção nacional de ovos é bastante representativa devido ao Brasil ser o 5º maior produtor (ANUALPEC, 2015), alcançando a marca histórica dos 39,5 bilhões de unidades em 2015, que superou em 6,1% a produção registrada no ano anterior (ABPA, 2016). Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2016), em junho de 2016, o número de aves de postura alojadas no país era de 142 milhões de cabeças e com este valor pode-se estimar a geração diária de 14,2 milhões de toneladas de excretas, já que cada animal excreta cerca de 100 gramas ao dia. Em razão destas quantidades elevadas e das características deste resíduo, faz-se necessária a utilização de sistemas adequados de tratamento e disposição.

As excretas de aves de postura são ricas em matéria orgânica e apresentam níveis de nitrogênio (N) muito superiores aos de dejetos bovinos, resíduos de alimentos, dejetos de suínos e resíduos de lodo ativo (QIAO et al. 2011). As dietas das aves de postura são ricas em constituintes digestíveis, como N e fósforo (P), o que torna mais fácil a degradação das suas excretas visando também a eliminação de microrganismos patogênicos como dos gêneros *Salmonella* e *Escherichia* (NADIA et al., 2015). Ressalta-se, no entanto, que a concentração de nutrientes nas excretas deve ser considerado para seu tratamento, já que a aplicação inadequada em campos, como adubo, pode levar à eutrofização dos recursos hídricos superficiais e à poluição do solo e das águas subterrâneas (GÜNGÖR-DEMIRCI; DEMIRER, 2004)

Em decorrência das diferenças nas dietas, manejo e coleta de resíduos podem haver distinções em suas composições. Abouelenien et al. (2014) encontraram nos dejetos de galinhas de postura: 75% de umidade e consequentes 25% de ST, dos quais 69,8% eram voláteis (SV). Estes autores verificaram nos ST a presença de 380g.kg⁻¹ de carbono orgânico total (COT) e 87g.kg⁻¹ de nitrogênio com 26,5 g.kg⁻¹ de

nitrogênio amoniacal. Já Zhang et al. (2014) relataram como características dos dejetos de galinhas: 28,8% de ST, com 65,2% de SV, possuindo nos ST 59,7 g.kg⁻¹ de COT e 5,4g kg⁻¹ de nitrogênio amoniacal, e, ainda, destacaram a relação C:N de 11,2 e o valor de pH de 6,91.

A composição dos dejetos de galinhas de postura mostra-se favorável para utilização em processos de reciclagem, com possibilidade de gerar boas quantidades de biogás em biodigestão e co-digestão anaeróbia. Orrico Junior et al. (2010) defendem que nos dejetos de aves de postura, há uma predominância de carboidratos solúveis, o que, em condições anaeróbias, seria benéfico ao processo de biodigestão, no entanto, ao entrar em contato com o meio, após a excreção pelo animal, inicia-se a oxidação dos seus constituintes, sendo os carboidratos e proteínas solúveis os mais degradados, o que faz com que rapidamente este resíduo tenha baixa relação C:N. A retirada diária dos dejetos nas propriedades produtoras de aves de postura pode não ser uma prática comum, principalmente por necessitar de deslocamento de mão-de-obra de outras atividades, no entanto, para alcançar maior eficiência energética, estes resíduos devem ser colocados em biodigestão com o menor período de acúmulo possível, conforme resultados encontrados no estudo de Farias et al. (2012).

Em relação ao conteúdo de N, nas excretas das aves o seu maior teor, segundo Abouelenien et al. (2010), é eliminado na forma de ácido úrico (70%) e juntamente com o não digerido (30%) podem gerar grandes quantidades de amônio não ionizado e íons amônio durante a biodigestão (CHEN et al., 2008). Este amônio (NH₄) quando em reação com água (H₂O) forma o hidróxido de amônio (NH₄OH) que alcaliniza o meio, podendo inibir as primeiras etapas microbiológicas e interromper o processo antes da ação das arqueas metanogênicas, principalmente das arqueas acetoclásticas mais sensíveis às alterações ambientais, às condições do processo e à presença de inibidores (ASTALS et al., 2013).

Para Abouelenien et al. (2010), claramente outros autores buscam alternativas para minimizar esta possível inibição do sistema pelo amônio, como a adição de água para diminuir concentração de ST para 10-11,5% feita por Bujoczek et al. (2000). Farias et al. (2012) também estipularam menores teores de ST (3 a 4%) para biodigestão de dejetos de galinhas de postura com diferentes dias de acúmulo (1, 8, 15 e 22 dias) e não observaram problemas indicativos de inibição do sistema, apenas relataram a maior degradação de SV (74,94%) e produção de biogás (384,77 l.kg⁻¹ SV) com o menor período de acúmulo. Desta maneira, é visível a potencialidade de

reciclagem energética destes resíduos avícolas, principalmente com estratégias eficientes de melhoria do processo.

Os dejetos de aves de postura também podem ser co-digeridos com outros resíduos para melhorar o equilíbrio do meio anaeróbio, conforme evidenciado com uso de outros tipos de dejetos como de bovino (GÜNGÖR-DEMIRCI; DEMIRER, 2004) ou de suínos (MAGBANUA et al., 2001).

Zhang et al. (2014) realizaram experimento comparando três resíduos de cereais em co-digestão com dejetos de galinha, mantendo todos com teor de 8% de ST, e em condições mesofílicas (35°C), e observaram que a co-digestão com talos de milho (TM) apresentou maiores produções cumulativas de biogás do que com palha de trigo (PT) e palha de arroz (PA). Após 60 dias de fermentação, os maiores teores de metano foram obtidos com a relação 50:50 (resíduo de galinha: resíduo de cereal) com produção de 345, 383 e 378 ml.g⁻¹ de SV reduzidos, utilizando PT, TM e PA, respectivamente. Em todos os ensaios de co-digestão, os autores observaram estabilidade do sistema devido às razões AGV/alcalinidade equilibradas e com melhoria do rendimento de biogás e metano, concluindo que a fermentação conjunta é mais eficiente do que a biodigestão de somente um dos resíduos avaliados.

A melhoria da digestão também foi observada por Abouelenien et al. (2014) ao avaliar a potencialidade da adição de uma mistura de vários resíduos agrícolas (resíduos de coco, de mandioca e grãos de café) com dejetos avícolas em sistemas termofílico e mesofílico, com obtenção de aumento da produção de metano de até 93% ao alcançar 502 ml.g⁻¹ VS à temperatura de 55°C e de até 50% com a produção de 506 ml.g⁻¹ VS aos 35°C, em comparação com o controle (sem adição de resíduos agrícolas). Os autores observaram também redução de 39% no acúmulo de amônio em relação a biodigestão dos resíduos avícolas isolados.

A co-digestão anaeróbia permite a melhoria da degradação da matéria orgânica de ambos os resíduos adicionados aos biodigestores, de maneira que possam ser diluídos possíveis compostos tóxicos e que o meio possa permanecer equilibrado, para obter o melhor rendimento de biogás explorando o potencial máximo dos microrganismos (KHALID et al., 2011).

Em decorrência da glicerina conter alto teor de carbono de fácil assimilação, pode-se considerar que sua qualidade, como co-produto de uma digestão anaeróbia, enriquece o processo, já que carbonos em estruturas mais complexas, como são os

ácidos graxos de cadeia longa, podem tornar-se tóxicos. Por isso o glicerol é indicado para co-digestão com resíduos animais que possuem N para equilibrar o meio.

Com dejetos de bovinos de leite, Simm et al. (2016) avaliaram a co-digestão com uma glicerina com elevada quantidade de lipídeos (78%) e menor conteúdo de glicerol (14%) nos níveis de 0, 5 10, 15 e 20% em relação aos 4% de ST do afluyente de biodigestores batelada. Os autores verificaram que a inclusão de glicerina bruta entre 3 e 8% dos ST promoveram o melhor desempenho do processo e com 6% foi obtida a maior produção de metano de 0,26 l.g⁻¹ de SV adicionados. Além disso, devido aos baixos níveis de inclusão recomendados, foi relatado pelos autores uma limitação do uso de glicerina rica em lipídeos em decorrência dos elevados valores de demanda química de oxigênio (DQO) gerados nos substratos (838,0 a 1856,9 g de O₂ por litro).

Em estudo realizado por Orrico Júnior e Orrico (2015) com dejetos ovinos, houve acréscimos nas produções de biogás até o nível de 15% de inclusão de glicerina (contendo 39,3% de glicerol), atingindo potenciais de 421,05 l.kg⁻¹ de SV adicionados e 83,2% de metano em biodigestores batelada.

Desta forma, observa-se que a recomendação de inclusão de glicerina bruta e glicerol pode variar de acordo com o sistema de digestão escolhido, características de composição da glicerina, sendo que o sistema pode ser afetado pelas particularidades do resíduo animal selecionado para compor o substrato.

2.3. Ensilagem de capins tropicais

Nas condições da Região Centro-Sul do Brasil, a estacionalidade é caracterizada por variações na disponibilidade e qualidade da forragem em resposta às alterações nas condições climáticas, as quais não permitem que as plantas forrageiras tenham crescimento uniforme durante o ano (REIS; ROSA, 2001 apud COIMBRA, 2016). Sendo assim, o produtor precisa estar preparado para alimentar os seus animais nesses períodos críticos, nos quais ocorre redução ou até mesmo escassez de alimento, caracterizado pelo vazio forrageiro (OLIVEIRA et al., 2008) e, como uma possibilidade, tem-se a silagem, que pode ser utilizada nesse período, pois, devido às suas características, permite armazenar grandes volumes de alimento, mantendo ou aumentando a densidade de ocupação de animais no campo, podendo assim aumentar a produção de carne ou leite e diminuir a utilização de outros produtos que elevam o custo da alimentação dos animais (BERNARDES et al., 2005).

O processo de ensilagem pode ser dividido em várias etapas em função de diversos procedimentos, iniciando-se pela escolha da espécie forrageira ou material a ser ensilado, plantio, condução da cultura, corte, desintegração e transporte, finalizando com o enchimento, compactação e vedação do silo. Para produção de silagem, há necessidade de uma espécie forrageira que ofereça produção elevada de massa por unidade de área para aproveitar melhor o espaço da propriedade, assim como que possua qualidade nutritiva para os animais.

As gramíneas forrageiras tropicais, de maneira geral, possuem alta produção por área, porém seu valor nutritivo tende a diminuir com o avanço do estado fisiológico, consequentemente, o produto obtido no processo de ensilagem também será de menor valor nutritivo se for colhido tardiamente (SILVEIRA, 2015). Este valor nutritivo das plantas forrageiras é determinado pela sua composição química, principalmente pelos teores de proteína bruta e de fibra em detergente ácido, responsáveis diretos pela digestibilidade da matéria seca (NUSSIO et al. 1998).

Com isso, prioriza-se a colheita de gramíneas em estágio imaturo de crescimento, visando maximizar conteúdos celulares solúveis e maior digestibilidade da fibra, pois com o avanço do crescimento da planta e a aproximação da floração, o declínio na digestibilidade é muito rápido (HARRISON et al., 1994). E segundo Fontaneli et al. (2012), apesar de elevar o rendimento da biomassa, o avanço no crescimento da planta reduz seu valor nutritivo.

As gramíneas forrageiras, sobretudo as do gênero *Brachiaria*, desempenham papel fundamental no desenvolvimento de algumas regiões, viabilizando as criações em solos ácidos e de baixa fertilidade natural (MACEDO, 2005). De acordo com Oliveira (2010), estima-se que as áreas de pastagens representam 210 milhões de hectares, ocupando em torno de 76% da superfície utilizada pela agricultura e 20% da área total do país e o gênero *Urochloa* spp. (antigo *Brachiaria*) é utilizado em 60% dessas áreas.

Entre as forrageiras tropicais, a *Urochloa brizantha* (Syn. *Brachiaria brizantha*) cv. Piatã vem ganhando espaço nas áreas destinadas ao cultivo de pastagens por ser considerada produtiva, apresentar maior acúmulo de folhas e maior tolerância a solos com má drenagem (PIMENTA, 2009). Além disso, apresenta aceitação pelos animais, dentre as diversas espécies do gênero (VALLE et al., 2007).

Os cultivares do gênero *Urochloa* dominam mais de 80% do mercado, cuja finalidade é para a formação de pastagens (BRITES et al., 2011). Trata-se de um

gênero que apresenta ampla adaptação de suas espécies às condições edafoclimáticas do cerrado, principalmente em regiões de solos ácidos e de baixa fertilidade (ALVIM et al., 2000).

De acordo com a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA, 2014), a *Urochloa brizantha* cv Piatã é adaptada a solos de média e boa fertilidade das zonas tropicais brasileiras, apresenta boa resposta à adubação, tolerância a fungos foliares e de raiz, florescimento precoce, produção de forragem de melhor qualidade. Também possui fácil estabelecimento, com consequente precocidade produtiva, elevada produtividade, especialmente de folhas no período seco do ano com aproximadamente 30% de suas folhas produzidas neste período (EMBRAPA, 2014), alta taxa de acúmulo e de crescimento de forragem, também sob pastejo, e boa qualidade forrageira (VALLE et al., 2011).

A produção média da forragem de capim Piatã é de 9,5 t ha⁻¹ de matéria seca ao ano e a qualidade da forragem produzida em uma área utilizada em sistema de pastejo rotacionado, durante três anos de avaliação, apresentou os teores de proteína de 9,5 % nas águas e 7,3 % no período de seca e digestibilidade de 59,9% nas águas e 51,9% na seca (EMBRAPA, 2014). Ainda, o capim Piatã apresenta características nutricionais significantes, possuindo os melhores resultados de valor nutritivo nos meses de Março a Maio, época em que as silagens são confeccionadas (EPIFANIO et al., 2014).

Euclides et al. (2008), observaram que os ganhos de peso por animal e por área são mais elevados do que aqueles adquiridos em pasto de *U. brizantha* cv Marandu, com média de 610 e 560 g por dia e 705 e 660 kg ha⁻¹ de peso corporal por ano, para os capins Piatã e Marandu, respectivamente.

Em decorrência deste valor nutritivo do capim Piatã, este cultivar está cada vez mais sendo cultivado para utilização em sistemas de criação extensivos e seu excedente visado para produção de silagem para fornecimento em períodos de escassez a campo, pois o valor nutritivo da silagem está diretamente relacionado à composição e à digestibilidade da forrageira original e a ensilagem tem como finalidade reter o máximo de nutrientes digestíveis da forragem original na sua forma conservada após um processo fermentativo eficiente (TOMICH, 2012).

Entretanto, o processo de ensilagem de capins está sujeito a perdas fermentativas, devido ao baixo teor de carboidratos solúveis, encontrado principalmente nas gramíneas tropicais no momento ideal de corte. Estas gramíneas

ainda demandam grande atenção na ensilagem para minimizar perdas devido ao baixo teor de matéria seca no ponto de corte. Por conseguinte, a determinação do teor de matéria seca no processo de ensilagem assume grande importância (REIS et al., 2011).

Para diminuir as perdas no processo de ensilagem de capins, práticas como emurchecimento ou a utilização de aditivos são comumente utilizadas (FONTANELI et al., 2011, SCHMIDT et al., 2014) com o objetivo de elevar o teor de matéria seca, a concentração dos carboidratos solúveis e melhorar a conservação do material ensilado.

Os aditivos possuem dois fundamentais propósitos na silagem que são influenciar o processo fermentativo, favorecendo a conservação, e melhorar o valor nutritivo, assim uma ampla variedade de aditivos podem ser utilizados na ensilagem e, os principais, incluem inoculantes bacterianos, enzimas e químicos (REIS, 2001). Faz-se uso de aditivos, que favoreçam o processo fermentativo, quando a forrageira não apresenta condições ideais para ser ensilada (baixo teor de MS ou baixo teor de carboidratos solúveis e elevada capacidade tampão).

O ingrediente utilizado como aditivo nas ensilagens de capins com alta umidade deve oferecer alto teor de MS para não favorecer o crescimento de leveduras e cooperar com a redução das perdas de efluentes (SANTOS et al., 2006). De acordo com Reis et al. (2003), silagens com menos de 30% de MS, podem apresentar altas quantidades de efluentes e fermentação por bactérias do gênero *Clostridium*, resultando em perdas consideráveis.

A polpa cítrica, o milho moído, resíduo da indústria de frutas, casca de café e melaço são alguns dos aditivos comumente utilizados para proporcionar a elevação dos níveis de carboidratos solúveis, e ainda, a glicerina bruta é evidenciada em alguns trabalhos como um aditivo promissor, capaz de enriquecer a densidade energética da silagem e inibir a atividade metabólica de alguns microrganismos prejudiciais à conservação e à qualidade da forragem (DIAS et al., 2014).

A glicerina pode ser utilizada como uma fonte energética alternativa na alimentação animal, particularmente para ruminantes, na qual o glicerol pode ser disponibilizado diretamente para produção de ácidos graxos de cadeia curta que são absorvidos no rúmen para obtenção de energia (RODRIGUES; RONDINA, 2013). De acordo com Ramos et al. (2011), a glicerina bruta pode ser adicionada às dietas à

base de forragem até um nível de 20% de inclusão sem qualquer efeito negativo no desempenho do crescimento.

A glicerina adicionada na dieta pode auxiliar no metabolismo proteico por agir sobre a retenção de aminoácidos ou nitrogênios, favorecendo a maior deposição da proteína corporal, além da função energética (CERRATE et al., 2006). Com o uso da glicerina na ensilagem é possível acrescentar às forragens maior valor energético na constituição do substrato dos silos e obter um produto final melhorado para beneficiar também os animais, por isso sua inclusão nas dietas já é tema de diversas pesquisas (LAGE et al, 2010; PYATT et al, 2007; PAGGI et al, 2004), entretanto, poucos são os trabalhos que estudam a inclusão da glicerina bruta na melhoria do processo de ensilagem de capins e na qualidade nutricional da silagem produzida (FRANÇA et al, 2012).

Quando a glicerina é incluída nas dietas animais, são observados benefícios, mas em excesso podem dificultar o seu desempenho. Parsons et al. (2009) avaliando o efeito de 0, 2, 4, 8, 12 e 16% na MS de glicerina na dieta de novilhas mestiças verificaram que, acima de 12% de inclusão deste ingrediente, reduziu o ganho de peso e a eficiência alimentar. Já, Schröder e Südekum (1999) verificaram que até 10% de glicerina substituindo o amido na dieta de vacas leiteiras não depressiu o consumo, a digestibilidade ruminal, a síntese microbiana e a digestibilidade total dos nutrientes.

Embora haja benefícios do uso da glicerina bruta na alimentação animal, sua inclusão ainda pode apresentar algumas limitações, pois de acordo com o código de regulamentação federal (Ct.F.R 582.1320) da Food and Drug Administration (2013), a glicerina pode ser utilizada na alimentação animal quando o resíduo do metanol na glicerina não ultrapassar 150 mg kg⁻¹ de glicerina, pois este composto no organismo animal pode ser oxidado no fígado a formaldeído e este a ácido fórmico, que é uma substância tóxica. Entretanto, conforme Lammers et al. (2008), um aspecto que deve ser considerado é que o potencial efeito prejudicial do metanol incorporado às rações pode ser desprezado quando a ração for peletizada, uma vez que a temperatura atingida na peletização é mais alta que a temperatura de vaporização do metanol.

Outro fator limitante na utilização direta da glicerina bruta durante a alimentação animal é o resíduo do catalisador, que dependendo de qual for utilizado, hidróxido de sódio ou hidróxido de potássio, sucederá à geração de uma glicerina bruta com níveis diferenciados de Na ou K, que devem ser avaliados para possível utilização da glicerina nas formulações de rações animais (PENZ JUNIOR; GIANFELICE, 2008).

Busca-se então, estratégias para utilizar níveis mais baixos de inclusão de glicerina de maneira direta nas dietas dos animais ou o uso de glicerol no processo de ensilagem para possibilitar destinação de maiores quantidades do resíduo glicerina. O glicerol, principal constituinte da glicerina bruta, pode ser utilizado como fonte de carbono para a fermentação anaeróbia pelos microrganismos (SOUSA FILHO et al., 2012). Além disso, o glicerol pode servir de fonte de energia para os microrganismos fermentativos, podendo servir como substituinte de diversos carboidratos, podendo também melhorar a degradabilidade ruminal, a digestibilidade da silagem e melhorar a estabilidade anaeróbia do material ensilado, conforme observado por Gomes (2013) em um experimento utilizando glicerina na ensilagem de cana-de-açúcar.

Da mesma forma, Martins et al. (2014), avaliando as características bromatológicas e fermentativas de silagem de milho e girassol com glicerol (0, 15, 30 e 45%) com base na matéria seca, observaram que houve incremento nos teores de matéria seca, carboidratos não fibrosos e nutrientes digestíveis totais em ambos os materiais testados (milho e girassol). Os autores relataram também redução de proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido com a inclusão de glicerol e este pode ser incluído até 45% a mais na silagem de milho para obter o mesmo teor de nutrientes digestíveis totais da silagem de girassol.

Portanto, este coproduto do biodiesel favorece a fermentação da forragem e promove a acidificação do material, porém para a escolha de um determinado nível de glicerina, considera-se o custo, disponibilidade do subproduto ou a restrição do consumo (MARTINS, 2014). Deste modo, a adição de glicerina no início do processo de ensilagem, participa dos processos fermentativos da silagem, podendo propiciar boa conservação da massa ensilada e elevados teores de matéria seca e extrato etéreo, além de reduzir os componentes fibrosos presentes na parede celular da planta, elevando, consequentemente, os teores de carboidratos não fibrosos do alimento (MENÊSES, 2012).

Porém, ainda são necessários mais estudos para comprovar a eficiência da adição de glicerina ao processo de ensilagem utilizando capins tropicais, principalmente para evidenciar se há interferência do nível de pureza entre as várias glicerinas comerciais e para encontrar níveis ideais de inclusões baseados no teor de glicerol inserido, objetivando, assim, a melhoria da qualidade do material ensilado e destinação do resíduo (glicerol) como uma fonte energética para o processo.

3. CAPÍTULO 1 – Uso da glicerina bruta na melhoria do processo de biodigestão anaeróbia: efeito da qualidade do resíduo e dose de glicerol

Uso da glicerina bruta na melhoria do processo de biodigestão anaeróbia: efeito da qualidade do resíduo e dose de glicerol

Alice Watte Schwingel^{1*}, Jorge de Lucas Junior², Ana Carolina Amorim Orrico³

¹Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, Brasil. CEP 18610-307.

² Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, Brasil. CEP 14884-900.

³Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil. CP 364, CEP: 79804-970.

RESUMO: Com esta pesquisa, objetivou-se avaliar a influência dos conteúdos de glicerol na composição da glicerina (40% (G40), 60% (G60) e 80% (G80)) e a inclusão de níveis de glicerol (0, 1, 2, 3 e 4% dos sólidos totais - ST), sobre o desenvolvimento da co-digestão anaeróbia com excretas de aves de postura. O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo, com análise da interação entre os dois fatores (pureza das glicerinas e níveis de glicerol). Foram avaliadas as produções específicas de biogás e metano e reduções de ST, sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) durante o processo de co-digestão anaeróbia. O efeito das purezas foi avaliado por teste de média e das doses de glicerol por contrastes ortogonais, a fim de encontrar as doses ideais por meio dos modelos ajustados. Com a glicerina G40 houve desempenho inferior em 3,5% e 2,8% em relação à G60 e G80, respectivamente, sobre as produções de biogás por ST adicionados, e, ainda, menores produções de biogás e metano por DQO reduzida. A inclusão de 2,5% de glicerol gerou a maior produção de biogás por SV (1654,1 L kg_{adicionado}⁻¹). Com 2,6% de glicerol obteve-se a maior produção de biogás por ST (1272,0 L kg_{adicionado}⁻¹) e máximas produções de metano por ST (815,09 L kg_{adicionado}⁻¹) e SV (1058,91 L kg_{adicionado}⁻¹), possibilitando incremento de 34,7 e 36,3% nas produções específicas de metano por ST e SV adicionados, respectivamente. A maior redução de ST (60,97%) foi observada com a inclusão de 2,2% de glicerol e com 2,4% obteve-se a maior redução de SV (73,6%). Com 2,1% de glicerol na G40 houve redução de 55,4% na DQO, já com 2,6% de glicerol houve 50,4 e 50,5% de redução para G60 e G80, respectivamente. Portanto, houve efeito da pureza das glicerinas e, considerando os altos custos do processo de purificação, é possível indicar a utilização da G40 com inclusão de 2,6% de glicerol aos ST para melhorar a co-digestão com dejetos de galinha de postura.

Palavras-chave: Biodiesel, resíduos, excretas de aves, poedeiras, resíduos energéticos.

Use of crude glycerin in the improvement of the anaerobic biodigestion process: effect of residue quality and glycerol dose

Alice Watte Schwingel^{1*}, Jorge de Lucas Junior², Ana Carolina Amorim Orrico³

¹*School of Agricultural Sciences, State University of São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, Brazil. Zip Code 18610-307.*

²*School of Veterinary Medicine and Animal Science, State University of São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, Brazil. Zip Code 14884-900.*

³*School of Agricultural Sciences, Federal University of the Great Dourados, Dourados, MS, Brazil. PO Box 364, Zip Code: 79804-970.*

ABSTRACT: This research aimed to evaluate the influence of glycerol contents within glycerin composition [40% (G40), 60% (G60) and 80% (G80)] and addition of glycerol levels (0, 1, 2, 3 and 4% of total solids - TS) on anaerobic co-digestion with laying-hen manure. The experimental design was completely randomized in a double factorial design, with analysis of the interaction between both factors (glycerin purity and glycerol additions). Evaluations were performed for specific biogas and methane productions and reductions of total solids (TS), volatile solids (VS) and chemical oxygen demand (COD) during the process. Purity effect was assessed by mean tests and glycerol doses by orthogonal contrasts to find optimal doses through adjusted models. G40 showed performance 3.5% and 2.8% lower than the G60 and G80, respectively, over biogas productions by TS_{added}, and even lower biogas and methane productions by COD_{reduced}. The inclusion of 2.5% glycerol generated the largest biogas production by VS (1654.1 L kg_{added}⁻¹). The highest biogas production by TS (1272.0 L kg_{added}⁻¹) was obtained with 2.6% glycerol, and the highest methane production by TS (815.09 L kg_{added}⁻¹) and VS (1058.91 L kg_{added}⁻¹), increasing in 34.7 and 36.3% specific methane productions by TS and VS added, respectively. The highest TS reduction (60.97%) was observed with inclusion of 2.2% glycerol; and with 2.4%, the highest VS reduction (73.6%) was obtained. Adding 2.1% glycerol in G40 promoted a reduction of 55.4% in COD; and with 2.6% glycerol, reductions of 50.4 and 50.5% for G60 and G80, respectively. Therefore, we may conclude glycerin purity have an effect on this co-digestion process. Given that, and considering the high costs of purification processes, we should recommend G40 with the addition of 2.6% glycerol to TS to the improving co-digestion with laying-hen waste.

Key words: Biodiesel, waste, poultry manure, laying hens, energy residue.

3.1. Introdução

A crescente demanda mundial por energia tem provocado preocupação devido à utilização contínua de recursos naturais não renováveis em proporções superiores às de sua geração e extração, como é o caso dos combustíveis fósseis, que, de acordo com Agência Internacional de Energia (AIE), representam 87% de todo o combustível consumido no mundo (Carvalho et al., 2014). De acordo com Santos et al. (2012), é constante a procura por fontes renováveis alternativas para o incremento da matriz energética. Dentre as alternativas, os biocombustíveis (etanol e biodiesel) ganharam espaço no mercado, com possibilidade de amenizar, ainda, os altos índices de poluição.

No Brasil, o governo determinou a inclusão obrigatória de 8% de biodiesel no diesel comercializado em 2016, com aprovação de aumento para 10% até 2018 (BRASIL, 2016). Esta inclusão do biodiesel certamente trouxe benefícios políticos e econômicos, no entanto, com a ampliação de sua produção há também o aumento da geração de um co-produto de potencial poluidor, que é a glicerina bruta, já que a cada 100 litros de biodiesel são gerados cerca de 10 litros deste resíduo (Larsen et al., 2013).

A apreensão quanto a geração de glicerina deve-se ao montante atual brasileiro e sua demanda comercial, pois, em 2014 chegou-se a marca de 311,8 mil m³ de glicerina bruta (ANP 2015) e para 2024 é estimado um excedente de 2,4 bilhões de litros de capacidade (BRASIL, 2015). Além disso, este resíduo possui alta carga orgânica e composição variável que podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

O método de extração do biodiesel (com rota etílica ou metílica e com catalisador ácido ou básico) e a matéria prima utilizada (vegetal ou animal), bem como a política de filtração ou purificação parcial da glicerina bruta, de cada usina, são fatores que interferem nas características do biodiesel e da glicerina. Apesar dos parâmetros estabelecidos pelo governo exigirem no mínimo 80% de glicerol nas glicerinas, apenas 36,8% da produção das usinas seguem este padrão (Oliveira et al., 2013).

De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2015), o grau de pureza é um fator fundamental para ampliar o mercado da glicerina e agregar valor comercial ao produto, já que para ser utilizada na indústria química, alimentícia e farmacêutica ela precisa ser considerada pura, porém o processo de tratamento é custoso, sendo um investimento difícil principalmente para os produtores em menor escala.

De acordo com Chuah et al. (2017), apesar da contribuição do biodiesel para redução das emissões de gases de efeito estufa, ainda são necessárias tecnologias mais limpas para intensificação da sua produção. Desta maneira, além do incentivo à otimização da produção de combustíveis oriundos de fontes renováveis, deve-se buscar a reciclagem dos resíduos gerados, principalmente que possam proporcionar ainda mais energia limpa.

A preocupação com o destino dos resíduos gerados também afeta a produção animal, já que os sistemas intensivos, como de galinhas poedeiras, concentram-se o número de animais e a quantidade de dejetos por eles produzidos. Estes dejetos contém alta carga orgânica que possibilita seu tratamento por meio da biodigestão anaeróbia, no entanto, podem apresentar excessiva concentração de nitrogênio, que causa preocupação em decorrência de uma possível sobrecarga do sistema motivada pela inibição significativa da atividade metanogênica (Vrieze et al. 2015). Entre as alternativas para evitar a sobrecarga, a combinação destes dejetos com outro resíduo rico em carbono, como a glicerina, equilibra o meio para adequada atividade dos microrganismos.

Dentre as alternativas para o aproveitamento da glicerina bruta excedente tem-se também o uso na co-digestão anaeróbia visando uma destinação sustentável, com a degradação dos resíduos e produção de fertilizante orgânico, além da potencialização e agilidade das produções de biogás e metano. No entanto, o sucesso da co-digestão pode ser influenciado pela composição da glicerina bruta, devido à variabilidade dos teores de glicerol e impurezas, que segundo Thompson e He (2006), contam com água, ácidos graxos, metanol e alguns metais.

A glicerina bruta é indicada para digestão anaeróbia por possuir alto teor de carbono (C) oriundo, principalmente, do glicerol, entretanto, para adequar o meio às necessidades dos microrganismos, afim de obter bons resultados de produção de biogás, é recomendado a co-digestão junto à resíduos ricos em nitrogênio (N), pois segundo Zhang et al. (2014), uma relação C:N muito elevada significa degradação muito rápida do nitrogênio e resulta em baixos rendimentos de biogás e vice-versa.

Ressalta-se, ainda, a influência da qualidade do C presente na glicerina para que ocorra maior eficiência do processo de digestão, pois quando se apresenta em estruturas mais complexas, como são os ácidos graxos de cadeia longa, pode dificultar o seu aproveitamento pelos microrganismos anaeróbios. Em trabalho conduzido por Simm et al. (2016) foi realizada a co-digestão dos dejetos de bovinos

leiteiros e glicerina bruta, contendo 14% de glicerol e 78% de lipídeos, o que resultou em elevada participação da fração lipídica na composição dos substratos. Os autores recomendaram a inclusão de glicerina bruta entre 3 e 8% dos ST e atribuíram a limitação do uso de glicerina aos elevados valores de demanda química de oxigênio (DQO) nos substratos (838.0 a 1856.9 g de O₂ por litro), com a possível acidificação do meio.

Em estudo realizado por Orrico Junior et al. (2016) foi utilizada glicerina bruta contendo 39,3% de glicerol na co-digestão com os dejetos de suínos, em biodigestores semi-contínuos operados com tempo de retenção de 24 dias, sendo recomendadas as inclusões de 4 a 6% dos ST. Apesar da maior pureza da glicerina utilizada no estudo de Orrico Junior et al. (2016), observa-se que a recomendação de inclusão deste produto nos substratos em co-digestão se manteve similar a efetuada por Simm et al. (2016), persistindo assim o questionamento sobre a influência da qualidade da glicerina, e não somente do seu conteúdo em glicerol, para o desempenho da co-digestão.

Diante do exposto, a pesquisa teve como objetivo testar as seguintes hipóteses: (i) a pureza da glicerina interfere no desenvolvimento da co-digestão anaeróbia com excretas de aves de postura, (ii) o nível de glicerol na composição da glicerina influencia no processo e (iii) existe interação entre as interferências, da pureza da glicerina e do nível de glicerol, sobre o desempenho do processo.

3.2. Material e Métodos

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, campus de Jaboticabal, coletando-se os dejetos gerados no setor de Avicultura da mesma Universidade e foram utilizados a área experimental e Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias para execução e análises do ensaio. A glicerina bruta foi obtida por doação de empresa local produtora de biodiesel.

Para a execução do ensaio, foi utilizado delineamento inteiramente casualizado no esquema fatorial duplo 4x5, sendo constituído pelos fatores: pureza da glicerina (tratamento controle com 0% e glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol em sua composição) e teores de glicerol (0, 1, 2, 3 e 4% em relação aos ST adicionados aos biodigestores). Cada tratamento contou com 4 repetições (biodigestores) em batelada.

Com o objetivo de acelerar o início da produção de biogás utilizou-se, além dos dejetos e glicerinas, inóculo previamente preparado com dejetos de galinhas de postura e de bovinos, sendo considerado pronto após 90 dias de biodigestão, quando apresentou e manteve o teor de metano acima de 75%. O inóculo possuía no momento dos abastecimento 7,1% de ST, dos quais 67,4% eram sólidos voláteis (SV) e uma demanda química de oxigênio (DQO) de 326,3g de O₂/l. Em todas as parcelas experimentais o inóculo foi adicionado na mesma proporção dos ST para evitar influência no processo.

Os dejetos de galinhas de postura foram coletados por raspagem do piso inferior às gaiolas de criação de sistema convencional, onde acumulam-se restos de ração e penas junto às excretas produzidas em 24 horas. Após a coleta, os dejetos foram homogeneizados e analisados, contendo em sua composição: 40,1% de ST, sendo 77,5% SV, e DQO igual a 451,9g O₂.kg de dejetos⁻¹.

A glicerina bruta possuía 96,0% de ST, 14,2% de glicerol, 6,1% de metanol, 74,7% de lipídeos, e demanda química de oxigênio (DQO) igual a 1532g de O₂/l de glicerina. Para obtenção das distintas purezas foram calculadas as necessidades de inclusão de glicerina pura (contendo 99,5% de glicerol) junto à bruta, por meio de equações algébricas, ou seja, para alcançar 100 gramas de glicerina com 40% de glicerol (G40) foram misturados 69,75g de glicerina bruta e 30,25g de glicerina pura. Da mesma forma foram calculadas as proporções das glicerinas para obtenção dos teores de 60% (G60) e 80% (G80) de glicerol.

Os substratos contendo glicerina, dejetos de galinha de postura, inóculo e água para diluição foram preparados para que todos os tratamentos estivessem com teor de ST de 4%, sendo homogeneizados em liquidificador e adicionados aos biodigestores simultaneamente (Tabela 1). Os biodigestores permaneceram 105 dias em fermentação, em condições de temperatura ambiente, abrigados de luz solar e chuva durante todo o período experimental.

Tabela 1. Características de composição *in natura* dos substratos adicionados aos biodigestores batelada.

Pureza	Glicerol (%)	Glicerina (kg)	Dejeto (kg)	Inóculo (kg)	Água (kg)
	0	0.0000	0.114	0.073	1.110
G40 ¹	1	0.0013	0.113	0.073	1.112
	2	0.0027	0.110	0.073	1.114
	3	0.0040	0.107	0.073	1.116

	4	0.0054	0.104	0.073	1.118
	0	0.0000	0.114	0.073	1.110
	1	0.0007	0.115	0.073	1.111
G60 ²	2	0.0013	0.113	0.073	1.112
	3	0.0020	0.112	0.073	1.113
	4	0.0026	0.110	0.073	1.114
	0	0.0000	0.114	0.073	1.110
	1	0.0006	0.115	0.073	1.111
G80 ³	2	0.0011	0.114	0.073	1.112
	3	0.0017	0.113	0.073	1.113
	4	0.0022	0.111	0.073	1.114

¹Glicerina contendo 40% de glicerol; ²Glicerina contendo 60% de glicerol; ³Glicerina contendo 80% de glicerol.

Os biodigestores batelada de bancada (Figura 1) usados seguiram o modelo utilizado por Sunada et al. (2014), portanto foram construídos com 2 cilindros retos de PVC, ambos com uma de suas extremidades fechadas, sendo o cilindro de 100mm (gasômetro) de diâmetro inserido com sua extremidade aberta voltada para parte vedada do cilindro de 250mm, permanecendo entre eles espaço suficiente para manter um volume de água onde o menor cilindro ficou apoiado para propiciar condições anaeróbias e armazenar o gás produzido. Dentro do cilindro de 100mm foi mantido recipiente (câmara fermentadora) de 65mm de diâmetro com capacidade para armazenar 1,3 litros de substrato em fermentação e na extremidade fechada do cilindro havia apenas uma abertura para o momento da descarga do biogás.

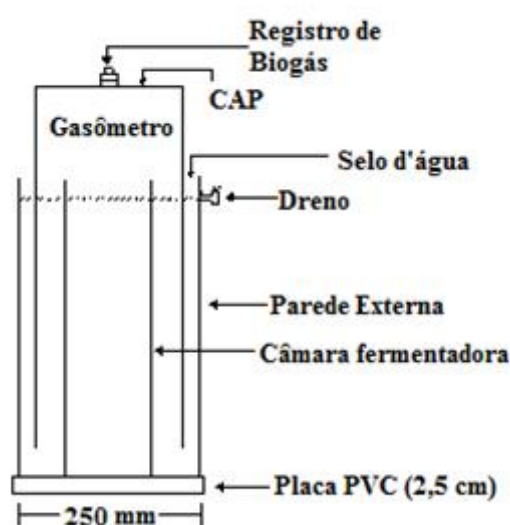


Figura 1. Representação esquemática de biodigestor modelo batelada de bancada.

As mensurações das produções de biogás foram realizadas pelo deslocamento vertical dos gasômetros e calculados considerando sua área interna, corrigindo-se, ainda, os valores de acordo com as condições normais de temperatura e pressão.

A análise da composição do biogás foi realizada semanalmente para determinar o volume de metano produzido, utilizando para isso cromatógrafo de fase gasosa Finigan GC-2001, equipado com as colunas Porapack Q peneira molecular e detector de condutividade térmica em analisador de gases GA - 21 Plus. As produções específicas de biogás e metano foram calculadas considerando-se os volumes (litros) produzidos e as quantidades (quilogramas) de ST, SV e DQO adicionados e reduzidos.

As análises de ST, SV, DQO e potencial hidrogeniônico (pH) foram realizadas no início e final do processo (afluente e efluente) segundo metodologia descrita pela APHA (2012). O carbono foi determinado segundo Kiehl (1985) e o nitrogênio total kjedahl (TKN) foi obtido de acordo com Silva e Queiroz (2006). As reduções dos constituintes foram calculadas por diferença entre os valores de entrada e saída dos biodigestores.

Os resultados gerados no ensaio de co-digestão anaeróbia foram submetidos à análise de variância, aplicando teste de Scott-Knott para avaliar o efeito da pureza da glicerina e contrastes ortogonais foram utilizados para avaliar os efeitos dos níveis de glicerol de ordem linear, quadrático ou cúbico, sendo as análises realizadas pelo software R (versão 3.1.0 for Windows).

3.3. Resultados e Discussão

As características químicas e a composição do material inicial (afluente) e o biofertilizante final (efluente) para cada condição experimental testada são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2. Características do material inicial e do efluente após co-digestão anaeróbia para cada condição experimental.

Afluente								Efluente					
Pureza	Glicerol (%)	pH	ST (g.kg ⁻¹)*	SV (g.kg ⁻¹)	DQO (g O ₂ .kg ⁻¹)	TKN (%)**	C:N	pH	ST (g.kg ⁻¹)	SV (g.kg ⁻¹)	DQO (g O ₂ .kg ⁻¹)	TKN (%)	C:N
G40 ¹	0	7.58	39.13	25.37	579.41	3.39	5.86	7.95	21.95	12.72	309.16	2.78	4.17
	1	7.54	39.93	25.17	586.38	2.71	8.21	8.01	17.01	8.91	331.93	2.75	4.53
	2	7.38	39.95	23.84	584.27	2.66	8.60	8.03	15.53	7.98	323.71	2.73	4.44
	3	7.33	39.92	22.61	581.85	2.64	8.67	8.01	15.70	7.86	334.45	2.70	4.64
	4	7.19	39.97	21.45	580.09	2.58	8.76	8.04	16.56	8.72	347.52	2.62	4.98
G60 ²	0	7.58	39.13	25.37	579.41	3.39	5.86	7.95	21.95	12.72	309.16	2.78	4.17
	1	7.47	39.98	25.84	587.19	2.83	8.12	8.05	16.47	8.65	323.12	2.65	4.57
	2	7.29	39.93	25.17	585.01	2.75	8.46	8.03	15.61	8.12	313.32	2.52	4.66
	3	7.27	39.92	24.48	583.05	2.62	8.91	8.06	17.03	8.99	306.52	2.57	4.47
	4	7.26	39.87	23.84	580.87	2.54	9.07	8.04	17.97	9.33	320.25	2.59	4.63
G80 ³	0	7.58	39.13	25.37	579.41	3.39	5.86	7.95	21.95	12.72	309.16	2.78	4.17
	1	7.49	39.97	25.92	586.69	3.00	7.42	8.04	18.15	9.86	312.79	2.82	4.15
	2	7.44	39.94	25.38	584.46	2.98	7.74	8.02	17.54	9.75	308.99	2.82	4.11
	3	7.44	39.95	24.8	582.35	2.83	8.15	8.02	17.81	9.54	303.66	2.91	3.92
	4	7.38	39.92	24.28	580.13	2.77	8.39	7.97	19.06	10.20	321.59	2.87	4.20

¹Glicerina contendo 40% de glicerol; ²Glicerina contendo 60% de glicerol; ³Glicerina contendo 80% de glicerol. pH: potencial hidrogeniônico. ST: sólidos totais. SV: sólidos voláteis. DQO: demanda química de oxigênio. TKN: Total Kjeldahl nitrogen. C/N: relação carbono:nitrogênio. *(g.kg⁻¹) por quilo de afluente ou efluente in natura. **(%) concentração nos ST

As distintas proporções de glicerol contidos nas glicerinas estudadas ocasionaram efeito significativo sobre a maioria produções de biogás e metano, conforme médias expostas na Tabela 3.

Tabela 3. Produções específicas de biogás e metano por sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV) e demanda química de oxigênio (DQO) adicionados e reduzidos durante co-digestão de dejetos de galinhas de postura com glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol.

Parâmetros	Controle	Glicerinas			¹ CV (%)
		G40	G60	G80	
L _{biogás}	54.87b	57.31 ^a	59.17a	57.44a	5.78
L _{biogás} kg ⁻¹ STa*	1044.01c	1199.24b	1252.27a	1241.97a	4.54
L _{biogás} kg ⁻¹ SVa*	1341.02b	1568.83a	1619.80a	1600.87a	5.37
L _{biogás} kg ⁻¹ DQOa*	79.92a	73.00b	73.78b	72.44b	6.83
% metano	57.90b	63.81 ^a	63.87a	62.82a	2.54
L _{metano} kg ⁻¹ STa*	604.97b	765.24a	793.50a	781.19a	6.12
L _{metano} kg ⁻¹ SVa*	776.85b	1001.06a	1026.40a	1005.51a	6.01
L _{metano} kg ⁻¹ DQOa*	46.40a	46.57 ^a	46.75a	45.50a	8.14
L _{biogás} kg ⁻¹ STr**	1967.16b	2077.38a	2124.00a	2104.36a	5.31
L _{biogás} kg ⁻¹ SVr**	2060.91b	2195.23a	2241.08a	2249.50a	5.61
L _{biogás} kg ⁻¹ DQOr**	192.21a	163.76b	151.40c	148.70c	8.11
L _{metano} kg ⁻¹ STr**	1139.86b	1325.61a	1345.88a	1321.45a	5.99
L _{metano} kg ⁻¹ SVr**	1193.65b	1400.65a	1420.08a	1412.73a	6.12
L _{metano} kg ⁻¹ DQOr**	111.69a	104.48b	95.93c	93.36c	9.66

¹CV = coeficiente de variação; *a = adicionados; **r = reduzidos; Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística (p<0.05) entre as glicerinas.

Em todas as variáveis, o tratamento controle, sem glicerina, mostrou-se com valores inferiores aos demais, reforçando também a potencialidade do glicerol co-digerido com dejetos de galinhas ao incrementar em 17, 21 e 19% as produções de L_{biogás} kg⁻¹ SVa com G40, G60 e G80, respectivamente, e alcançar incremento de 29, 32 e 29% nas produções de L_{metano} kg⁻¹ SVa. Nos parâmetros em que houve diferença entre as três glicerinas (L_{biogás} kg⁻¹ STa, DQO adicionada e reduzida e L_{metano} kg⁻¹ DQOr), pode-se constatar que a G40 obteve desempenho inferior.

Em relação às produções específicas por DQOr como o cálculo foi realizado considerando-se as produções de biogás ou metano em relação à quantidade de DQO reduzida durante o processo, é possível concluir que os

maiores valores indicam maiores rendimentos em produção de gás com menor remoção da DQO. Neste trabalho, como as produções de biogás e metano não demonstraram diferença entre as purezas (Tabela 3), entende-se, já pelas produções específicas por DQOr, que a G60 e G80 foram mais eficientes também na redução da DQO, pois com a G40 apresentando maiores valores neste índice, o que evidencia sua menor eficiência de remoção da carga orgânica. Desta forma, para o melhor resultado deste parâmetro, a glicerina intermediária G60 mostrou-se melhor que as demais por ter menor custo de purificação que a G80.

Utilizando uma glicerina com teor de glicerol próximo a G60 (66,7%), Haitl et al. (2012) também encontraram elevados valores para a de produção específica de metano. Os autores avaliaram a co-digestão de silagem de milho com dejetos bovino ou suíno em biodigestores batelada, mantidos em temperatura de 38,5°C, sob agitação com TRH de 14 dias e alcançaram 474 l kg⁻¹ SVa com dejetos bovino e 547 l kg⁻¹ SVa com dejetos suíno ao incluir 1,5% (com base no volume de inóculo) de glicerina, demonstrando assim, o grande potencial de co-digestão do glicerol com resíduos energéticos de animais.

As maiores produções de biogás e metano obtidas com resíduo de galinha de postura e glicerina são benéficas, pois podem possibilitar a geração de energia elétrica necessária para produção de ovos. A glicerina G40 possui menor custo de purificação que a G60 e G80 e apresentou semelhança estatística nos principais parâmetros de geração de biogás observado na Tabela 3.

Deste modo, pode-se indicar o uso da G40 e com os resultados gerados com a dose ideal de glicerol pode-se estimar o possível retorno de energia para produção animal, já que foi observado grande potencial de geração de biogás. Em um aviário com 100.000 galinhas, se considerado a estimativa de produção diária de dejetos de 100 gramas por animal, podem ser produzidos 10 mil quilogramas de dejetos, e, com estes resíduos energéticos possuindo 40% de ST, semelhantemente ao utilizado neste trabalho, tem-se quatro mil quilos de ST, que aliados à inclusão ideal de 2,6% de glicerol (Figura 2A), podem gerar cerca de 5.088 m³ de biogás por dia e um total de 2.849.280 m³ em 80 semanas (um lote de criação).

Santos e Nardi Junior (2013) mencionam que 1m³ de biogás equivale a aproximadamente 1,3 kWh de energia, apesar deste valor ser genérico e

dependente da unidade *CHP* (calor e potencial combinado), pois em uma unidade maior que 600kW pode-se obter rendimento de até 2,2 kWh.m⁻³. Com a conversão energética no cenário mais pessimista (1,3 kWh) a co-digestão dos dejetos produziram 3.704.064 kwh ao longo das 80 semanas, o que seria capaz de suprir o consumo de energia elétrica calculado por Girotto (2008) em 219.400 kWh por lote de 100 mil animais, e desta forma, além de sanar a necessidade do aviário, haveria excedente em energia elétrica na propriedade.

Para avaliar o efeito das doses de glicerol foram estimados modelos de predição, pois não foram encontradas interações entre os fatores pureza e glicerol nas variáveis de produção específica de biogás e metano. O comportamento das produções específicas de biogás e metano durante a co-digestão dos substratos preparados com os dejetos de galinhas de postura e doses crescentes de glicerol apresentaram efeitos linear ($L_{\text{biogás}} \text{ kg}^{-1} \text{ ST}$) ou quadrático ($p < 0.05$) conforme apresentado na Figura 2.

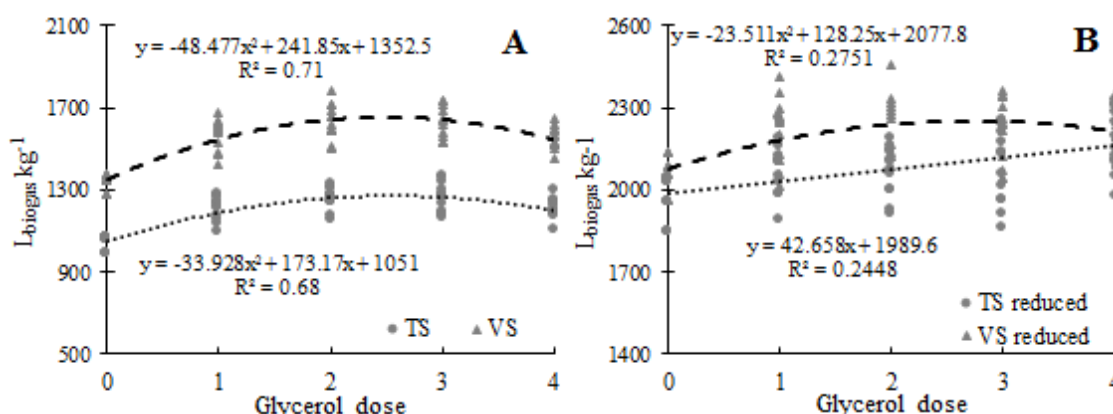


Figura 2. Comportamento e modelos de predição das produções de biogás por sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) adicionados (A) e reduzidos (B) em biodigestores batelada operados com dejetos de galinhas de postura e glicerol.

Os modelos ajustados referentes às produções específicas de biogás por sólidos adicionados demonstram que a dose de 2,6% de glicerol alcançou a maior produção de biogás por STa (1272,0 L kg⁻¹), enquanto a inclusão de 2,5% de glicerol gerou a máxima produção do biogás por SVa (1654,1 L kg⁻¹). Quando utilizadas as doses ideais de glicerol foi possível obter 21,8 e 23,6% de incremento nas produções específicas de biogás por ST e SV, respectivamente.

Ao comparar estes resultados com os encontrados por Farias et al. (2012) observa-se ainda maior acréscimo nas produções (318,4% para L kg⁻¹ ST e

329,9% para $L\ kg^{-1}\ SV$), tendo os autores utilizado substrato de dejetos de poedeiras com 1 dia de acúmulo, 3 e 4% de ST e 10% de inóculo nestes sólidos. O afluente utilizado por Farias et al. (2012) permaneceu em digestão por 150 dias, enquanto o TRH deste trabalho foi de 105 dias, ou seja, como as produções de biogás foram mais altas em um menor TRH indicam maior qualidade do inóculo, dejetos ou ambos. A qualidade dos substratos é definida pelo equilíbrio do conteúdo em fermentação, havendo, portanto, resultados inferiores de produções específicas de biogás e metano quando há maior discrepância em alguns nutrientes disponibilizados, como é o caso do nitrogênio (N).

Neste estudo constatou-se menor produção de biogás e metano nos substratos sem a inclusão de glicerol, sendo inferior até mesmo em relação às maiores inclusões, o que evidencia o efeito da maior concentração de N neste tratamento, já que nos demais a inclusão de carbono resultou em maior equilíbrio da relação C:N (Tabela 2).

Nas excretas das aves, o maior teor de N, segundo Abouelenien et al (2010), é excretado na forma de ácido úrico (70%) e juntamente com o não digerido (30%) podem gerar grandes quantidades de amônio não ionizado e íons amônio durante a biodigestão (Chen et al., 2008). Este amônio (NH_4) quando em reação com água (H_2O) forma o hidróxido de amônio (NH_4OH) que alcaliniza o meio, podendo inibir as primeiras etapas microbiológicas e interromper o processo antes da ação das arqueas metanogênicas, principalmente das arqueas acetoclásticas mais sensíveis às alterações ambientais, às condições do processo e à presença de inibidores (Astals et al., 2013).

Para as produções específicas de metano os máximos rendimentos foram de 815,1 e 1058,9 $L\ kg^{-1}\ ST$ e SV adicionados (Figura 3A), respectivamente, com a dose ideal de inclusão de glicerol para ambos de 2,6% (em relação aos ST do substrato). Esses valores representam aumento de 34,7 e 36,3% quando confrontados aos resultados obtidos sem adição de glicerol, demonstrando a relevância da adição do glicerol para alcançar melhora no processo na produção de metano. Conforme acréscimo de glicerol, observou-se comportamento ascendente nas produções específicas de metano por ST reduzidos (Figura 3B), alcançando a máxima produção com 2,7% de glicerol (1444,7 $L_{metano}\ kg^{-1}\ SV$ reduzidos).

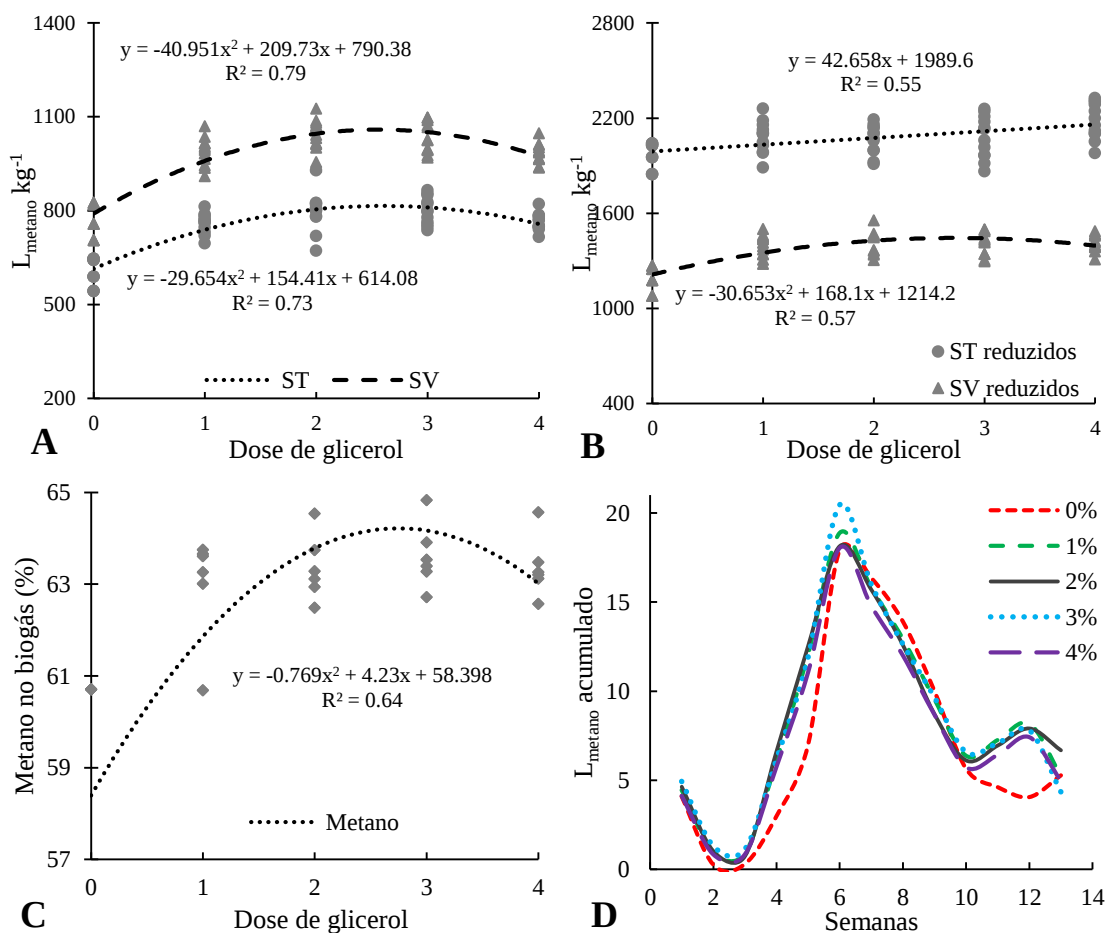


Figura 3. Comportamentos e modelos de predição das produções específicas de metano por sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) adicionados (A) e reduzidos (B), teores de metano no biogás (C) e comportamento da produção acumulada de metano para cada dose (D).

A produção de metano, segundo Vrieze et al (2015), é muito influenciada pelas características do inóculo, já que em uma análise de sequenciação filogenética realizada pelos autores em cinco substratos distintos houve a prevalência de comunidades microbianas específicas em diferentes condições, com correlações claras entre as bactérias e arqueas com os parâmetros operacionais. As elevadas concentrações de amônia oriundas dos dejetos animais são conhecidos por afetar negativamente ou inibir a metanogênese dependendo das condições do reator e o grau de adaptação da comunidade microbiana (Rajagopal et al., 2013; Vrieze et al., 2015). Esta inibição na produção de metano não foi observada claramente nos substratos contendo glicerol, provavelmente pelo equilíbrio obtido entre os teores de carbono disponíveis, pois apesar de encontrado uma queda na produtividade de metano com o uso acima

de 2,8% de glicerol, todas as inclusões mostraram-se superiores ao tratamento sem glicerol.

Os teores médios de metano (Figura 3C) no biogás são essenciais para determinar o sucesso da co-digestão, pois o valor do biogás depende do seu poder calorífico para ser usado como fonte energética e demonstra o quanto o substrato foi capaz de equilibrar o meio para ação dos microrganismos (Orrico Junior e Orrico, 2015). O aumento da concentração média de metano foi observado com a inclusão do glicerol, sendo o maior teor no biogás (64,2%) alcançado com a dose de 2,8% de glicerol (nos ST), o que indica um aumento de 10,9% em relação ao resultado obtido sem o uso do glicerol (57,9%). Estes valores médios confirmam a afirmação de Galbiatti et al. (2010), sobre o biogás conter entre 40 e 80% de metano, dependendo de fatores como carga orgânica, pressão e temperatura durante a fermentação.

A maior concentração de metano advinda do uso de glicerol ocasiona, concomitantemente, o aumento do poder calorífico do biogás. Considerando o poder calorífico do CH_4 de 50 MJ kg^{-1} (Chin et al., 2013), sem o glicerol foram alcançados no biogás 29 MJ kg^{-1} e com o uso de 2,8% de glicerol estima-se a obtenção de $32,1 \text{ MJ kg}^{-1}$, o que valorizou, portanto, o biogás gerado, já que seu valor é fundamentado pela energia gerada após sua combustão.

Na Figura 3D pode-se observar o efeito benéfico do glicerol em adequar o meio, ao antecipar, aumentar e prolongar a produção de metano em relação ao tratamento somente com dejetos. Com 14 dias de fermentação, os tratamentos com glicerol já apresentavam 50% de metano no biogás e o tratamento sem glicerol somente 37%, alcançando os 3% apenas na terceira semana. Portanto, as diferentes cargas orgânicas dos tratamentos interferem no desenvolvimento do processo, como observado por Galbiatti et al. (2010), que não padronizaram os afluentes e não utilizaram inóculo para iniciar mais brevemente a produção de biogás e metano.

Com base nas produções e proporções de metano é possível verificar que o glicerol trouxe benefícios e não houve efeito negativo suficiente da adição do glicerol, mesmo com as maiores proporções, para inibir o processo. A junção dos dejetos de galinha de postura com o glicerol manteve o substrato de entrada com pH próximo da neutralidade, conforme apresentado na Figura 4.

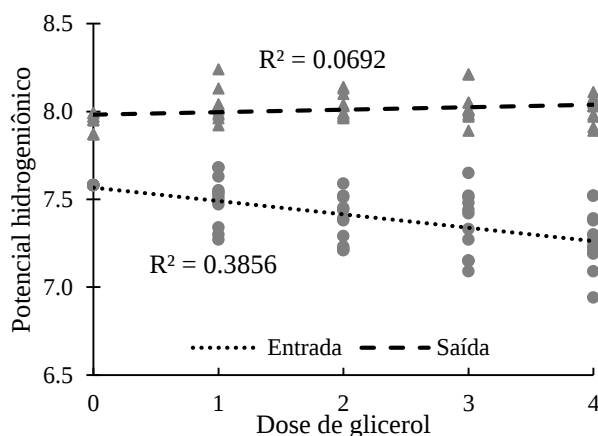


Figura 4. Comportamento do efeito do glicerol sobre os valores de pH (potencial hidrogeniônico dos substratos de entrada e saída dos biodigestores batelada).

Em virtude das excretas das galinhas possuírem elevada quantidade de N com potencialidade de geração rápida de amônio (Chen et al., 2008), é comum a ocorrência da formação de NH_4OH na presença de água, facilitando a perda de N na forma de amônia, e criação de um substrato alcalino para os microrganismos. A alcalinização do meio poderia inibir as primeiras etapas da biodigestão, porém, com a inclusão do glicerol foram obtidos valores de pH decrescente sem apresentar diferença significativa.

As médias dos valores do pH de entrada para as doses 0, 1, 2, 3 e 4% de glicerol observadas na Tabela 2 e Figura 4, não demonstraram inibição do processo, mesmo com 0 e 1% acima de 7,4, destoando do sugerido por Calli et al. (2005), que defendem possível inibição quando o pH é superior a este valor. De acordo com Ferrer et al. (2010), a gama de pH entre 6.1 e 8.3 pode ser considerada aceitável para biodigestão de resíduos orgânicos com ST entre 4 e 10%, portanto, nesta pesquisa os valores de pH dos afluentes e efluentes mantiveram-se próximos aos ideais, sendo observados na saída dos biodigestores fertilizantes com pH de 7,95 para dose 0; 8,03 para as doses 1, 2 e 3 e 8,02 para 4% de glicerol.

O pH de biofertilizantes próximo a neutralidade é positivo também para sua aplicação no solo, pois não interfere nas práticas comuns de correção eventualmente necessárias, como é o caso da calagem realizada em solo com acidez (abaixo de 5,5) que objetiva, segundo Lepsch (2010), evitar o mal desenvolvimento da maioria das plantas em decorrência dos fenômenos colaterais desencadeados pelo aumento de íons de hidrogênio. Com os valores

de pH obtidos nas condições testadas (Tabela 2), fica evidente a ocorrência da manutenção adequada da população de microrganismos, principalmente pelas altas produções de biogás e metano e, conseqüentemente, reduções satisfatórias dos sólidos.

As reduções dos constituintes sólidos (ST e SV) corroboram com os valores de produção de biogás e valores de pH, demonstrando que a adição do glicerol foi benéfica, conforme modelos de predição expostos na Figura 5.

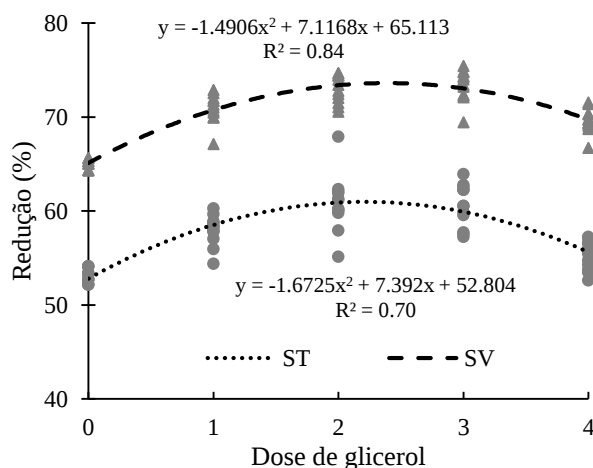


Figura 5. Modelos de predição do comportamento de redução dos sólidos totais (ST) e sólidos voláteis (SV) durante co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas e postura e glicerol.

Conforme o modelo de predição, a maior redução de ST (61,0%) foi observada com a inclusão de 2,2% de glicerol nos ST do afluente, já com a inclusão de 2,4% de glicerol foi obtida a maior redução de SV (73,6%). Farias et al. (2012) encontraram 62,0% de remoção de ST e 74,9% de redução dos SV ao avaliarem dejetos de aves de postura com tempo de estocagem de um dia, e estes maiores valores podem estar relacionados aos níveis de SV dos afluentes, que conforme relatado pelos autores foi de 97,1% e neste trabalho foi em média de 77,3%, e ainda, ao maior TRH (150 dias) utilizado pelos autores.

Com a adição do glicerol houve aumento da biodegradabilidade do substrato, pois com 2,2% de glicerol observou-se melhora de 14,9% na remoção dos ST e com 2,4% a redução de SV alcançou acréscimo de 13,1%, comparados ao tratamento sem glicerol. Esta melhoria na biodegradabilidade ocorre devido ao glicerol disponibilizar nutrientes facilmente assimiláveis pelos microrganismos, proporcionando maior eficiência do processo pela degradação acentuada (Jensen et al., 2014), com conseqüente maior produção de biogás e metano e menor custo de geração de energia.

Os fatores avaliados (glicerina e glicerol) evidenciaram interação somente para variável de remoção de DQO, apresentada na Figura 6.

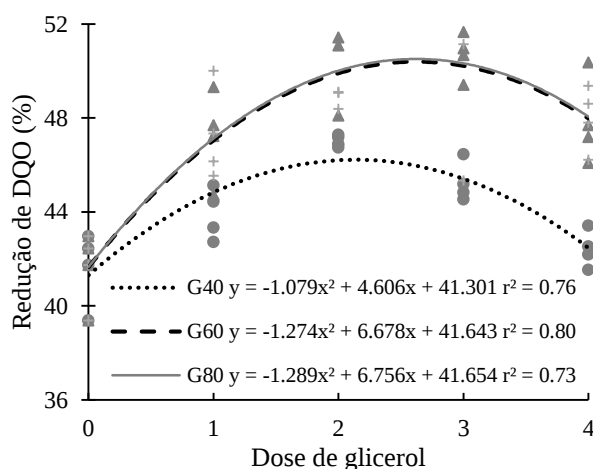


Figura 6. Modelos de predição do efeito das doses de glicerol sobre o comportamento de redução da demanda química de oxigênio (DQO) das glicerinas contendo 40 (G40), 60 (G60) e 80% (G80) de glicerol durante co-digestão anaeróbia de dejetos de galinhas e glicerol.

Os valores encontrados para a redução de DQO expressos na Tabela 2 e na Figura 6, mostram comportamento quadrático para as três glicerinas, possibilitando a determinação do ponto máximo ideal de adição de glicerol, aos ST, de 2,1% com a G40 e 2,6% de glicerol com G60 e G80, demonstrando que o maior teor de glicerol da G80 não proporcionou melhores condições para maiores reduções de DQO dos substratos em relação à G60. Deste modo, com a similaridade nos resultados, é possível baratear o processo com uso de uma glicerina menos purificada.

O processo apresentou reduções máximas de DQO de 55,4; 50,4; e 50,5% para G40, G60 e G80, respectivamente. Os substratos permaneceram nos biodigestores por 105 dias e poderiam ter maior remoção da DQO com a seleção de um TRH maior, já que Orrico Júnior (2010), também utilizando biodigestores batelada, constataram incremento de 9,9% de remoção de DQO, de dejetos suínos alimentados com sorgo, ao comparar o TRH de 90 (54,5% DQO_{removida}) e 120 dias (59,9% DQO_{removida}) testados. No entanto, em sistemas que geram volumes altos de resíduos, a permanência por longo tempo nos biodigestores demandará um espaço físico maior, acarretando em maior custo para o tratamento.

Com adição excessiva de glicerina, sem considerar seus teores de carbono oriundos do glicerol ou lipídeos, pode-se dificultar o processo de remoção da

DQO, já que, segundo Cirne et al. (2007), concentrações superiores à 670 gramas de DQO por litro de afluente podem ser prejudiciais devido ao acúmulo de ácidos graxos de cadeia longa de maior dificuldade de degradação, o que pode ocorrer, principalmente, quando a glicerina possui maiores teores de lipídeos, ou seja, menor pureza. Ao mesmo tempo, os lipídeos podem constituir uma barreira física entre os microrganismos e a matéria orgânica. Simm et al. (2016), cogitaram esta possibilidade quando encontraram baixas reduções durante a co-digestão batelada de dejetos bovinos e glicerina com alto teor de lipídeos, que apresentaram entre 838 e 1857 gramas de O_2 por litro de afluente.

Diante disso, a fixação de doses de glicerol nos ST dos afluentes mostra-se importante também para manutenção de concentrações aceitáveis de O_2 nos afluentes, que neste trabalho variaram entre 580 e 587 gramas de O_2 por litro. Com alcance, superior a 50%, de reduções de DQO durante a co-digestão, observa-se a eficiência do processo anaeróbio em diminuir os riscos ambientais, que podem ser causados devido às elevadas cargas orgânicas dos resíduos antes do tratamento, produzindo, ainda, biofertilizantes que passam a oferecer concentrações de minerais de valor para uso agrícola.

3.4. Conclusão

As glicerinas com distintos teores de pureza não interferem negativamente na co-digestão com dejetos de galinhas de postura quando os níveis de inclusão de glicerol são fixados, portanto, nas condições de execução do estudo, é indicada a utilização da glicerina com 40% de glicerol. A inclusão entre 2,1 e 2,6% de glicerol (nos ST) melhora as reduções de ST, SV e DQO, assim como aumenta as produções específicas de biogás e metano durante o processo.

3.5. Referências Bibliográficas

Abouelenien, F., Fujiwara, W., Namba, Y., Kosseva, M., Nishio, N., Nakashimada, Y. 2010. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. *Bioresour. Technol.* 101, 6368–6373. Doi: 10.1016/j.biortech.2010.03.071.

ANP - Agência Nacional do Petróleo. 2015. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Online document available from: <<http://www.anp.gov.br>>. (accessed 25.03.16).

APHA, American Public Health Association. 2012. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22 ed. Washington, 1.360p.

Astals, S; Nolla-Ardèvol, V; Mata-Alvarez, J. 2013. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability. *Journal of Biotechnology*. 166, 97-104. Doi: 10.1016/j.jbiotec.2013.05.004.

BRASIL. 2015. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE.

BRASIL. 2016. Lei n. 13.263, de 23 de março de 2016. Dispõe sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. *Diário Oficial da República Federativa do Brasil*. Atos do Poder Legislativo, Brasília, DF, 24 mar. Seção 1, p.1. <http://www.impresanacional.gov.br/>. (accessed 25.03.16).

Calli, B., Mertoglu, B., Inanc, B., Yenigun, O. 2005. Effect of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors. *Process Biochem.* 40, 1285-1292.

Carvalho, N.L., Bortolini, J.G., Barcellos, A.L. 2014. Biocombustíveis: uma opção para o desenvolvimento sustentável. *Revista gestão e desenvolvimento em contexto- Gedecon*, special ed. 2 (2), 32-50.

Chen, Y., Cheng, J.J., Creamer, K.S. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. *Bioresour. Technol.* 99 (10), 4044-4064. Doi: 10.1016/j.biortech.2007.01.057.

Chin, M.J., Poh, P.E., Tey, B.T., Chan, E.S., Chin, K.L. 2013. Biogas from palm oil mill effluent (POME): opportunities and challenges from Malaysia's perspective *Renew. Sustain. Energy Rev.* 26, 717-726.

Cirne, D.G., Paloumet, X., Björnsson, L., Alves, M.M., Mattiasson, B. 2007. Anaerobic digestion of lipid-rich waste – Effects of lipid concentration. *Renew. Energy*. 32 (6), 965-975. Doi: 10.1016/j.renene.2006.04.003.

Farias, R.M., Orrico Junior, M.A.P., Orrico, A.C.A., Garcia, R.G., Centurion, S.R., Fernandes, A.R.M. 2012. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. *Cienc. Rural*. 42 (6), 1089-1094. Doi: 10.1590/S0103-84782012005000031.

Ferrer, I., Vázquez, F., Font, X. 2010. Long term operation of a thermophilic anaerobic reactor: Process stability and efficiency at decreasing sludge retention time. *Bioresour. Technol.* 101, 2972-2980. Doi: 10.1016/j.biortech.2009.12.006.

Galbiatti, J.A., Caramelo, A.D., Silva, F.G., Gerardi, E.A.B., Chiconato, D.A. 2010. Estudo qualitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*. 14 (4), 432-437. Doi: 10.1590/S1415-43662010000400013.

Giroto, AF. 2008. Custo de produção de ovos, first ed. Embrapa Suínos e Aves, Concórdia.

Haitl, M., Vítěz, T., Koutný, T., Kukla, R., Lošák, T., Gaduš, J. 2012. Use of G-phase for biogas production. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 60 (6), 89-95. Doi: 10.11118/actaun201260060089.

Jensen, P.D., Astals, S., Lu, Y., Devadas, M., Batstone, D.J. 2014. Anaerobic codigestion of sewage sludge and glycerol, focusing on process kinetics, microbial dynamics and sludge dewaterability. *Water Research*. 67, 355-366. Doi: 10.1016/j.watres.2014.09.024.

Kiehl, E.J. 1985. Fertilizantes orgânicos. 5.ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 492p.

Larsen, A.C., Gomes, M.M., Gomes, S.D., Zenatti, D.C., Torres, D.G.B. 2013. Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch industry effluent. *Eng. Agrícola, Jaboticabal*. 33 (2), 341-352. Doi: 10.1590/S0100-69162013000200013.

Lepsch, I.F. 2010. Formação e conservação do solo, second ed. Oficina de textos, São Paulo.

Oliveira, J.S., Antoniassi, R., Freitas, S.C., Müller, M.D. 2013. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. *Cienc. Rural*. 43 (3), 509-512. Doi: 10.1590/S0103-84782013000300022.

Orrico Junior, M.A.P., Orrico, A.C.A. 2015. Quantification, Characterization, and anaerobic digestion of sheep manure: the influence of diet and addition of crude glycerin. *Environ. Prog. Sustain. Energy*. 34 (4), 1038-1043. Doi: 10.1002/ep.12097.

Orrico Junior, M.A.P., Schwingel, A.W., Centurion, S.R., Orrico, A.C.A. 2016. Co-digestion of swine excreta associated with increasing levels of crude glycerin. *R. Bras. Zootec.*, 45 (3), 101-106.

Rajagopal, R., Masse, D.I., Singh, G. 2013. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. *Bioresour. Technol.* 143, 632-641. doi:10.1016/j.biortech.2013.06.030.

Santos, E.L.B., Nardi Junior, G. 2013. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. *Tekhne e Logos*. 4 (2), 80-90.

Santos, J.I., Rogério, F., Migliavacca, R.A. 2012. Efeito da Adubação Potássica na Cultura do Crambe. *Biosci. J.* 28 (3), 346-350.

Silva, D. J.; Queiroz, A. C. 2006. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos, 3 ed. Viçosa-MG: Editora UFV, 235p.

Simm, S., et al. Crude glycerin in anaerobic co-digestion of dairy cattle manure increases methane production. *Scientia Agrícola*. Aceito para publicação. 2016.

Sunada, N.S., Lucas Junior, J., Orrico, A.C.A., Orrico Junior, M.A.P., Schwingel, A.W., Costa, M.S.S.M. 2014. Addition of lipolytic enzyme in anaerobic co-digestion of swine manure and inclusion levels of waste vegetable oil. *International Journal of Agricultural Policy and Research*. 2, 468-474.

Thompson, J.C., He, B.B. 2006. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks, *Appl. Eng. Agric.* 22 (2), 261-265. Doi: 10.13031/2013.20272.

Vrieze, J., Gildemyn, S., Vilchez-Vargas, R., Jáuregui, R., Pieper, D.H., Verstraete, W., Boon, N. 2015. Inoculum selection is crucial to ensure operational stability in anaerobic digestion. *Appl Microbiol Biotechnol.* 99, 189-199. Doi: 10.1007/s00253-014-6046-3

Zhang, T., Yang, Y., Liu, L., Han, Y., Ren, G., Yang, G. 2014. Improved Biogas Production from Chicken Manure Anaerobic Digestion Using Cereal Residues as Co-substrate. *Energy Fuels*. 28, 2490-2495. Doi: 10.1021/ef500262

4. CAPÍTULO 2 - Glicerol como fonte energética suplementar no processo de ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã

Glicerol como fonte energética suplementar no processo de ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã

Alice Watte Schwingel^{1*}, Jorge de Lucas Junior², Ana Carolina Amorim Orrico³

¹Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, SP, Brasil. CEP 18610-307.

² Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, Brasil. CEP 14884-900.

³Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, MS, Brasil. CP 364, CEP: 79804-970.

RESUMO: Esta pesquisa foi realizada com objetivo de verificar se as glicerinas com distintos conteúdos de glicerol (40% (G40), 60% (G60) e 80% (G80)) possibilitam melhorias no processo fermentativo e no valor nutritivo da silagem de *Urochloa brizantha* cv BRS Piatã e se há interferência da inclusão de doses fixas de glicerol (0, 2, 4, e 6%) na matéria seca (MS) ensilada. O delineamento utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial duplo, com análise da interação entre os dois fatores (pureza das glicerinas e níveis de glicerol). Foram observadas diferenças nos valores de pH, com valores inferiores a 4,5 com uso das três purezas e maior queda (2,0) entre pH inicial e final com 6% de glicerol. Não foi encontrada diferença significativa dos fatores sobre as perdas por gases (PG), no entanto, com 6 e 3,4% de glicerol obteve-se as menores perdas de matéria seca (PMS) e perdas por efluente (PE), respectivamente. O glicerol proporcionou redução dos teores de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e hemicelulose em relação ao tratamento controle. Para conservação do valor máximo (4,6%) de PB do capim, encontrou-se como dose ideal a inclusão de 2,9% de glicerol. Foram observados aumentos das bactérias com adição das três glicerinas e com a dose de 6% de glicerol obteve-se 7,58 Log UFC/g de bactérias ácido lácticas. Conclui-se que glicerinas com teor de glicerol acima de 40% beneficiam o processo de ensilagem de capim Piatã e, de maneira geral, a dose de 6% de glicerol na MS ensilada apresentou os melhores resultados.

Palavras-chave: biodiesel, glicerina, conservação de forragem, silagem

Glycerol as supplementary energy source in the ensilage process of *Urochloa brizantha* cv. Piatã

ABSTRACT: This research was carried out to verify that glycerin with different contents of glycerol [40% (G40), 60% (G60) and 80% (G80)] allows improvements in the fermentation process and in the nutritive value of *Urochloa Brizantha* cv BRS Piatã silage and if there is interference from the inclusion of fixed doses of glycerol (0, 2, 4, and 6%) in the ensiled dry matter (DM). The design was completely randomized in a double factorial scheme, with an analysis of the interaction between the two factors (glycerin purity and glycerol levels). Differences were observed in pH values, with lower values than 4.5 with use of the three purities and higher drop (2.0) between initial and final pH with 6% of glycerol. No significant differences were found in the factors on GL, however, with 6 and 3.4% of glycerol, the lowest DML and EL were obtained, respectively. Glycerol provided reduced levels of neutral detergent fiber (NDF), acid

detergent fiber (ADF) and hemicellulose in relation to the control treatment. In order to preserve the maximum value (4.6%) of PB of the grass, the inclusion of 2.9% of glycerol was the ideal dose. Increases of the bacteria with addition of the three glycerins were observed and at the dose of 6% of glycerol there were obtained 7.58 Log CFU / g of lactic acid bacteria. It is concluded that glycerines with glycerol content above 40% benefit the silage process of Piatã grass and, in general, the 6% glycerol dose in ensiled DM presented the best results.

Key words: biodiesel, glycerin, forage conservation, silage

4.1. Introdução

O processo de ensilagem de gramíneas forrageiras é utilizado para garantir o fornecimento de alimento de menor custo aos animais confinados ou em períodos de pouca oferta a campo, conservando grande parte do seu valor nutritivo, e permitindo armazenamento por períodos longos (COAN et al., 2007). A ensilagem do excedente de capim *Urochloa brizantha* cv. Piatã mostra-se como alternativa para produtores, pois além do seu alto valor nutritivo e tolerância a insetos, vem sendo utilizado em sistemas intensivos em decorrência de bons resultados apresentados, como a produção encontrada por Dim et al. (2015) de 4612,51 kg ha⁻¹ de matéria seca (MS) total com plantas atingindo 60 centímetros de altura, por ciclo.

Durante a fase de fermentação ativa da ensilagem, é essencial a disponibilidade de compostos nitrogenados, ácidos orgânicos e açúcares solúveis, principalmente hexoses (glicose e frutose) e pentoses (xiloses e ribose) para proliferação das bactérias produtoras de ácido acético e láctico (McDONALD et al., 1991; SANTOS et al., 2010). No entanto, no momento do corte, sobretudo em estágio senescente, as gramíneas tropicais apresentam teores de carboidratos solúveis abaixo dos ideais. Utilizando forrageiras com idades de rebrota maiores para ensilagem, normalmente, são observados aumentos da fração indigestível das silagens, como relatado por Vasconcelos et al. (2009), que avaliando a taxa de degradação da MS da fração potencialmente degradável da silagens de capim-mombaça, observaram valores de 0,0197; 0,0168; 0,0166 e 0,0130% para as idades de 35; 45; 55 e 65 dias, respectivamente.

Para melhorar a qualidade do processo e do produto final é frequente o uso de aditivos estimulantes e nutrientes complementares junto à forrageira (MCDONALD et al., 1991). De acordo com Jobim et al. (2008), com o uso de aditivos com alta

concentração de energia pode-se melhorar o valor nutricional da silagem. Portanto, o uso de fontes energéticas de baixo custo, como o resíduo da produção do biodiesel, glicerina, complementam a composição da forrageira e podem auxiliar na conservação do alimento. Além de melhorar o processo, busca-se uma correta destinação do montante de glicerina bruta gerado, já que em 2014 chegou-se a 311,8 mil m³ de glicerina bruta (ANP 2015) e para 2024 é estimado um excedente de 2,4 bilhões de litros de capacidade (BRASIL, 2015). Além disso, este resíduo possui alta carga orgânica e composição variável que podem ser prejudiciais ao meio ambiente.

A glicerina pode adicionar, à ensilagem, energia de fácil assimilação pelos microrganismos. Martins et al. (2014) descrevem melhoras na qualidade nutricional de silagens com aumento dos níveis de carboidratos não fibrosos (CNF) de 36,2% para 62,8% na silagem de milho utilizando 45% de glicerol e com a mesma inclusão aumentou em 15% os CNF da silagem de girassol, proporcionando assim incrementos nos valores de nutrientes digestíveis totais. Desta maneira, o estudo do uso da glicerina para produção de ensilagem mostra-se interessante para estabelecer absorção de maiores quantidades deste resíduo, já que consiste em fornecimento indireto aos animais

Nesse contexto, este estudo foi desenvolvido com o objetivo de testar as seguintes hipóteses: (i) a pureza da glicerina interfere no desenvolvimento da ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã (ii) o nível de glicerol incluído na MS ensilada influencia no processo e (iii) existe interação entre os fatores, pureza da glicerina e nível de glicerol, sobre o desempenho da ensilagem.

4.2. Material e Métodos

O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Biomassa do Departamento de Engenharia Rural da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, pertencente à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. As gliceras utilizadas foram adquiridas em indústrias de biodiesel localizadas na região de Jaboticabal-SP e produzidas a partir da mesma matéria prima. O capim Piatã, para ensaio de ensilagem, foi obtido no setor de Forragicultura desta Universidade.

O delineamento utilizado foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 4x4, com o primeiro fator referente ao grau de pureza do resíduo glicerina (40, 60 e 80% na composição) junto a um tratamento controle sem glicerina (SG) e o outro fator

composto por quatro doses de glicerol (0, 2, 4, 6% da MS ensilada), com três repetições por tratamento (mini silos).

A forrageira utilizada foi o capim Piatã cultivado em uma área de 0,2 ha. Um corte de uniformização a 10 cm do solo foi realizado para padronizar a área (início do verão). Os cortes foram feitos manualmente a uma altura de 10 cm do solo após atingir os 60 dias de idade e posteriormente triturados para obter um tamanho de partícula entre 1 e 2 cm.

A glicerina bruta possuía, 96,0% de ST, 14,2% de glicerol, 6,1% de metanol, 74,7% de lipídeos, e demanda química de oxigênio (DQO) igual a 1532g de O₂/l de glicerina. Para obtenção das distintas purezas foram calculadas as necessidades de inclusão de glicerina pura (contendo 99,5% de glicerol) junto à bruta, por meio de equações algébricas, ou seja, para alcançar 100 gramas de glicerina com 40% de glicerol (G40) foram misturados 69,75g de glicerina bruta e 30,25g de glicerina pura. Da mesma forma foram calculadas as proporções das glicerinas para obtenção dos teores de 60% (G60) e 80% (G80) de glicerol.

Os mini silos de PVC utilizados apresentaram diâmetro de 20 cm, altura de 50 cm, volume útil de 15 litros e foram vedados com lona plástica semelhante a utilizada em ensilagens a campo. No fundo de cada silo foi adicionado areia para drenagem do efluente e sobre ela uma tela fina de plástico e um pano de algodão para evitar o contato da forragem com a areia.

Todos os componentes do balde, assim como a forragem acondicionada, foram pesados para determinação das perdas fermentativas. A abertura foi realizada após 80 dias do fechamento e neste momento pesou-se novamente o conjunto para mensuração das perdas por gases (JOBIM et al. 2007), da produção de efluente e da recuperação de MS.

Amostrou-se, de maneira representativa, aproximadamente 300g de silagem de cada tratamento para determinação da primeira matéria seca (a 65°C por 72 horas). Posteriormente as amostras foram submetidas as análises de matéria seca definitiva (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MM) e extrato etéreo (EE) (AOAC, 1990). A fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram determinadas de acordo com (MERTENS, 2002).

Os carboidratos não fibrosos (CNF) e carboidratos totais (CHOT) foram obtidos por meio das equações: $CNF = 100 - (FDN + PB + EE + MM)$ e $CHOT = 100 - (PB + EE + MM)$ (SNIFFEN et al., 1992). A obtenção do extrato aquoso e a mensuração do

pH do material antes e depois da ensilagem foi realizada segundo metodologia proposta por Kung Junior et al. (1984).

Para as análises microbiológicas foi coletada uma amostra de 25 g de cada silo e colocada em erlenmeyers contendo 250 mL de água peptonada estéril (1% de peptona) e agitada durante 10 minutos. A partir do extrato obtido, foram preparadas diluições decimais de 10^{-1} a 10^{-7} para avaliação das populações de microrganismos. O número de bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas foi determinado em placa contendo Agar Nutriente e incubado a 35°C. As bactérias ácido lácticas foram numeradas em placas contendo o meio de cultivo MRS (Difco) e incubadas em jarras de anaerobiose a 35°C. O meio de cultura DG18 (Dichloran glycerol) foi utilizado para a contagem de fungos filamentosos e meio YEPD acrescido de 0,4% de nistatina (para evitar o crescimento para contagem de fungos filamentosos e 48 horas para contagem de leveduras (BRAVO-MARTINS et al. 2006).

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando como fontes de variação as purezas das glicerinas e as doses de glicerol. Contrastes ortogonais foram utilizados para avaliar os efeitos de ordem linear, cúbico e quadrático das idades da planta e dos níveis de glicerina bruta. As análises foram feitas utilizando o software R (versão 3.1.0 for Windows).

4.3. Resultados e Discussão

A inclusão de glicerinas ocasionou efeito significativamente positivo na maioria das variáveis analisadas no processo de ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã, mas não ocasionou interação entre os fatores, por isso o efeito simples de cada fator foi apresentado separadamente, com os dados do efeito das glicerinas explanado na Tabela 1.

Tabela 1. Perdas fermentativas, cv. Piatã com a inclusão de valores nutricionais e potencial hidrogeniônico (pH) de silagens de *Urochloa brizantha* sem glicerina (SG) e com glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol.

Parâmetros	Controle SG	Glicerinas			p-valor	Desvio Padrão
		G40	G60	G80		
pH	4,78 ^a	4,43a	4,36a	4,24a	0,364	0,25
Perdas MS	18,34b	15,84a	14,46a	13,64a	0,023	2,77
PG	5,72 ^a	4,43a	4,26a	4,20a	0,239	1,10
PE	6,32b	4,88a	3,75a	4,24a	0,006	1,49
MS (%)	28,37b	29,74b	31,00a	31,54a	0,003	1,43
MM (%)	7,97 ^a	8,10a	8,49a	8,36a	0,165	0,47
PB (%)	3,87 ^a	3,97a	4,57a	4,68a	0,011	0,59
EE (%)	1,75b	6,77a	5,76a	2,81b	0,004	3,02
FDA (%)	41,15a	29,42b	31,48b	30,31b	0,008	9,64
Hemicelulose (%)	29,76a	22,56b	25,17b	25,89b	0,001	6,33
CNF	15,49b	29,58a	24,53a	27,96a	0,008	3,38
CHOT	86,4 ^a	81,16b	81,18b	84,15a	0,003	7,50

¹CV: coeficiente de variação; MS: matéria seca, PG: perdas por gases, PE: perdas por efluente, MM: matéria mineral, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, FDN: fibra em detergente neutro, FDA: fibra em detergente ácido, CNF: carboidratos não fibrosos, CHOT: carboidratos totais. Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística ($p < 0.05$) entre as glicerinas.

A adição de glicerina favoreceu o ambiente para conservação de nutrientes e contribuiu para manutenção de um pH favorável para os microrganismos, semelhantemente ao tratamento controle, com valores melhores aos esperados nas silagens de capins tropicais, por comumente possuírem valores acima de 5,0 (AMARAL et al., 2008). Os resultados de perdas fermentativas não revelaram efeito significativo entre as glicerinas testadas, somente PMS e PE revelaram efeito das glicerinas em relação ao tratamento SG, com comportamento das médias decrescente conforme aumentou-se a pureza do aditivo.

Os benefícios esperados com a inclusão de glicerina foram observados nos valores nutricionais, com melhorias significativas quando comparados com o tratamento controle. Houve efeito das purezas nos valores de MS, onde G60 e G80 apresentaram maiores teores de matéria conservada em relação à SG e G40. O acréscimo de MS também foi observado por Figueiredo et al. (2014) ao adicionar até 15% de torta de dendê ao capim Piatã, com relato de aumento do teor de MS de 16,5 para 25,2%, ou seja, acréscimo de 52,7%. Com este mesmo resíduo de dendê, obtido a partir da produção de biodiesel de palma, Oliveira et al. (2011) encontraram aumento

linear no teor de MS da silagem de capim Marandu com inclusão de 0, 8, 16 e 24% de torta, obtendo 22,3% com a dose 0 e 38,1% de MS com 24% de bagaço.

A maioria dos parâmetros avaliados não demonstraram interação entre os fatores testados, portanto, os resultados de efeito simples das doses de glicerol são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2. Perdas fermentativas, pH e composição química das silagens de *Urochloa brizantha* cv. Piatã em função das diferentes doses de glicerol na MS ensilada.

Parâmetros	Dose de glicerol (%)				Desvio Padrão	p-valor		
	0	2	4	6		Linear	Quadrática	Cúbica
pH	4,78	4,41	4,31	4,30	0,25	< 0,001	0,003	0,460
Perdas MS	18,34	15,23	13,14	12,19	2,77	< 0,001	0,054	0,389
PG	5,72	4,39	3,62	3,66	1,10	< 0,001	0,008	0,806
PE	6,32	3,81	4,53	5,16	1,49	0,136	0,001	0,077
MS (%)	28,37	31,26	30,86	30,17	1,43	0,007	< 0,001	0,09
Cinzas (%)	7,97	8,42	8,42	8,11	0,47	0,134	0,13	0,13
PB (%)	3,91	4,77	4,35	3,97	0,59	0,701	< 0,001	0,023
EE (%)	1,75	3,17	4,53	7,63	3,02	< 0,001	0,253	0,583
FDN (%)	70,91	61,38	55,00	48,05	9,64	0,003	0,415	0,599
FDA (%)	41,15	34,49	30,49	26,23	6,33	< 0,001	0,218	0,502
Hemicelulose (%)	29,76	26,89	24,51	22,21	3,38	< 0,001	0,547	0,848
CNF	15,45	22,26	27,70	32,23	7,50	< 0,001	0,362	0,937
CHOT	86,36	83,64	82,70	80,28	3,04	< 0,001	0,831	0,322

pH: potencial hidrogeniônico, MS: matéria seca, PG: perdas por gases, PE: perdas de efluente, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, FDA: fibra em detergente ácido, CNF: carboidratos não fibrosos, CHOT: carboidratos totais.

Foi observada redução significativa dos valores de pH das silagens em função da inclusão de glicerol. Esse resultado indica que nos tratamentos com glicerol houve maior produção de ácidos graxos de cadeia curta, que são fundamentais para que o processo de ensilagem ocorra de maneira satisfatória, principalmente se a queda de pH ocorrer de forma rápida nas fases iniciais da fermentação. Conforme aumentou-se as doses de glicerol foram observados quedas de 1,19; 1,68; 1,90 e 1,99 pontos entre o pH inicial e o final para as doses 0, 2, 4 e 6%, respectivamente, o que pode estar relacionada com uma rápida queda de pH esperada para melhorar a fermentação.

Houve menores PMS e PE em função das doses de glicerol. As PMS decresceram conforme aumentou-se a dose de glicerol adicionada, apresentando

menor perda (13,28%) com 6% de glicerol. Já para PE, foi possível encontrar, pelo modelo quadrático, a dose ideal de 3,42% para proporcionar a menor perda (3,7%).

As PMS e de gases foram de 18 e 6% para o tratamento com 0% de glicerol e 12 e 4% para o tratamento com 6%, respectivamente, o que equivale a uma redução de 34 e 36% destas perdas. O mesmo comportamento foi observado por Dias et al. (2014) para as perdas gasosas (% da MS), conforme foi adicionado glicerina bruta na ensilagem da cana-de-açúcar, as perdas por gases foram diminuídas, caracterizando a resposta do aditivo em reduzir perdas durante o processo de fermentação. Esse dado mostra que o glicerol favorece o processo de fermentação, reduzindo as perdas e consequentemente melhorando a qualidade do produto final.

O modelo de predição do comportamento de recuperação de MS demonstrou como ideal a dose de 3,6% de glicerol na MS ensilada para obtenção de 31,35% de MS na silagem, que corresponde a 10,5% superior ao SG. A partir do acréscimo de MS, pode-se verificar a contribuição do resíduo glicerina para otimização do processo de fermentação, principalmente com a constatação do comportamento semelhante em relação a recuperação de PB. Os baixos teores de PB do capim piatã ensilado comparado com os 9,1% de PB observados por Azevedo et al. (2012), deve-se, provavelmente, ao estágio de maturidade mais avançado das plantas utilizadas (60 dias). Para conservação do valor máximo (4,6%) de PB do capim após a ensilagem, encontrou-se como dose ideal 2,9% de glicerol.

Em um processo de ensilagem de capim Piatã com milho, Costa et al. (2011) encontraram teor de 10,8% de proteína com a adição de 15% de milho, o que representou aumento de 52% em relação à não adição, e os autores atribuíram este aumento a duas possibilidades: o aditivo em questão possuía teor proteico considerável que contribuiu para o acréscimo na silagem e também apresentava maior teor de MS, o que pode restringir a atividade degradante da fração proteica da silagem feita por *Clostridium*, o que encaixa-se melhor com o presente estudo devido à glicerina possuir característica energética e não contribuir diretamente para os teores de PB.

Os teores de glicerol e gorduras residuais (extrato etéreo) presentes nas glicerinas também contribuíram para aumentar os teores de EE e CNF, o que proporcionou melhorias na concentração energética das silagens de capim Piatã.

França et al. (2012) utilizaram as doses de 0, 5, 10 e 15 % de glicerina bruta (base MS) na ensilagem do milho e, também obtiveram aumento linear do teor de CNF, nutrientes digestíveis totais e da digestibilidade “in vitro” da matéria seca.

A avaliações das frações fibrosas demonstraram efeito das purezas, com reduções nos teores de FDN, FDA, e hemicelulose (Tabela 1). Este comportamento deve-se ao fato de que as glicerinas apresentam em sua composição apenas carboidratos não fibrosos, o que acaba colaborando para redução dos constituintes fibrosos, como também pode ser observado nos valores de CHOT e nos CNF, onde os tratamentos com glicerina apresentaram maiores teores destes últimos carboidratos. Em relação aos resultados de CNF, nota-se que a média dos tratamentos sem a glicerina foi a mais baixa (15,49%), seguida das média da G40, G80 e G60, provavelmente, devido a contribuição dos carboidratos e lipídeos contidos nas impurezas.

O efeito da interação das purezas das glicerinas e das doses de glicerol sobre os teores de FDN também foi linear, com maiores reduções conforme acréscimo nas doses (Figura 1).

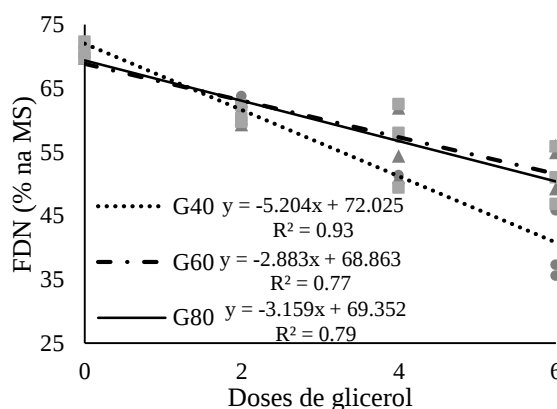


Figura 1. Modelos de predição do comportamento de fibra em detergente neutro (FDN) nas silagens de *Urochloa brizantha* cv. Piatã e glicerol.

Utilizando as doses de 0, 2 e 4% de glicerol as glicerinas apresentaram semelhança estatística, no entanto, a G60 e G80 foram superiores à G40 quando o teor de glicerol foi de 6%, demonstrando que a partir desta inclusão a maior proporção de impurezas da G40 interfere na obtenção de melhores resultados de redução de FDN e para inclusão de doses mais altas é recomendado maior purificação.

O teor de FDN de uma forrageira possui correlação negativa com capacidade que o animal tem de ingerir a forragem, ou seja, quanto maior for o teor de FDN menor será o consumo voluntário de forragem. Para Van Soest (1994) teores de FDN superiores a 60% da MS reduzem a capacidade de consumo voluntário da forragem pelos animais e conseqüentemente, reduzem o desempenho animal. Neste trabalho foi possível observar que doses de glicerol acima de 3% foram fundamentais para manter os teores de FDN abaixo de 60%, colaborando para o aumento do consumo de forragem. Martins et al. (2014), observaram reduções de 25% FDN quando adicionaram 45% de glicerina nas silagens de milho e girassol.

A boa conservação da composição química da silagem produzida com a adição das glicerinas é justificável pelo equilíbrio do pH para níveis favoráveis aos microrganismos conservadores, conforme corroborado pelas menores perdas fermentativas observadas. Na Tabela 3 são apresentados os resultados das populações (Log UFC g⁻¹ silagem) de alguns microrganismos presentes nas silagens produzidas em relação às glicerinas testadas.

Tabela 3. População microbiana (Log UFC g⁻¹ de silagem) na silagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã obtida sem glicerina (SG) com a inclusão de glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol.

Parâmetros	Controle SG	Glicerinas			p-valor	¹ CV (%)
		G40	G60	G80		
Bactérias ácido lácticas	7.22b	7.46a	7.47a	7.60a	0.001	1.69
Bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas	6.92b	7.34a	7.48a	7.67a	0.002	3.54
Leveduras	0.83b	2.07a	3.67a	2.16a	0.032	11.46
Fungos filamentosos	0.77a	0.92a	1.26a	0.26a	0.276	12.55

¹CV: coeficiente de variação; Médias seguidas de letras minúsculas diferentes na mesma linha evidenciam diferença estatística (p<0.05) entre as glicerinas.

Não houve diferença significativa entre as três purezas testadas, no entanto, todas as glicerinas apresentaram resultados superiores de microrganismos desejáveis e de leveduras, mas nenhum tratamento resultou em grandes quantidades de fungos filamentosos, o que é positivo para obtenção de silagem de qualidade.

Foram encontradas populações de bactérias ácido lácticas e mesofílicas anaeróbias facultativas de 7,22 e 6,92 Log UFC/g sem a adição de glicerina bruta e 7,60 e 7,67 Log UFC/g com a adição da G80, respectivamente. O aumento destas

bactérias demonstra os efetividade da glicerina em melhorar o processo, já que em outros estudos sobre a dinâmica da população de bactérias, como as ácido lácticas avaliadas por Coan et al. (2007) na ensilagem do capim Marandu com adição de polpa cítrica, não obtiveram diferenças no número de bactérias no produto final com as doses de 0, 5 e 10% de polpa cítrica em relação ao capim Marandu e obtiveram média de 6,0 Log UFC/g de silagem, valor inferior aos deste trabalho.

Por conseguinte, Silva et al. (2014) consideraram que a maior produção de ácido láctico pode levar a menores perdas de MS em silagens, considerando-se que a fermentação láctica resulta em mínimas perdas, ao passo que as fermentações acética e butírica estão associadas a fermentações secundárias e perdas de MS na forma de gases. Conforme apresentado na Tabela 1, as menores perdas observadas não demonstraram diferença significativa, mesmo demonstrando comportamento adequado com relação ao das populações bacterianas.

Com relação ao efeito das doses de glicerol, houve interação com as purezas das glicerinas sobre os resultados da população de bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas (Figura 2).

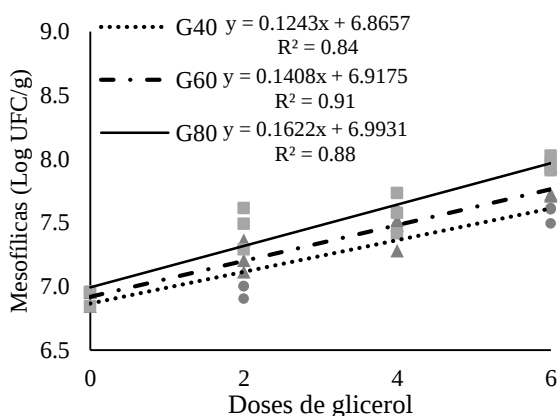


Figura 2. Modelos de predição do efeito das glicerinas contendo 40, 60 e 80% de glicerol sobre a população de bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas de silagens de *Urochloa brizantha* cv. Piatã em relação às doses de glicerol.

Os modelos de predição evidenciaram como ideal a dose de 6% de glicerol para os dois grupos de bactérias avaliados, pois resultou nas maiores concentrações de bactérias mesofílicas anaeróbias facultativas alcançando 7,52, 7,54, e 7,68 Log UFC/g de silagem para G40, G60 e G80, respectivamente, e 7,58 Log UFC/g das ácido lácticas, valor este superior em 5% em relação a não inclusão do glicerol. Estas bactérias são essenciais para sucesso do processo, uma vez que a produção de ácido

lático auxilia na queda do pH, melhora a conservação e palatabilidade do alimento e seleção de grupos de microrganismos desejáveis, controlando a população de grupos que deterioram a silagem.

O aumento das leveduras com a glicerina e com o glicerol não era desejado e não favorece a ensilagem, pois em condição de anaerobiose elas desempenham um papel importante na deterioração da silagem, já que convertem açúcares em etanol, CO₂ e água, gerando conseqüentemente silagens com baixos teores de ácidos láctico e acético. De acordo com Bravo-Martins et al. (2006), além de prejudicar em anaerobiose, quando a ensilagem é feita de maneira inadequada ou após sua abertura, as leveduras agem com a presença de oxigênio, utilizando os açúcares residuais, ácido láctico e proteína, o que acarreta em aquecimento e perda no valor nutritivo das silagens.

Da mesma forma, não são desejados fungos filamentosos em grandes quantidades, pois em anaerobiose também quebram o açúcar e o ácido láctico pela via normal da respiração, hidrolisando e metabolizando, ainda, a celulose e outros componentes da parede celular. Apesar dos aspectos negativos, a quantidade de fungos e leveduras identificada não traz preocupações maiores no que se refere a qualidade nutricional e sanitária das silagens, pois foram encontradas populações médias entre as três glicerinas de 2,63 Log UFC/g de leveduras e 0,81 Log UFC/g de fungos filamentosos, o que segundo Guim et al. (2002) são valores baixos e comuns em silagens de boa qualidade.

4.4. Conclusão

A adição de glicerinas, com as purezas avaliadas, não interferiu negativamente no desempenho da ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã, demonstrando que o processo é favorecido pela inclusão deste resíduo e suporta também glicerinas menos purificada, contendo 40% de glicerol.

A dose de 6% de glicerol proporcionou ambiente favorável à proliferação de bactérias desejáveis e presença de microrganismos indesejáveis dentro de um limite adequado, causando melhorias fermentativas e conseqüentes benefícios para composição química da silagem produzida. Para obtenção de uma silagem com a

conservação máxima dos teores de PB e MS indica-se a inclusão de 2,9 a 3,6% de glicerol na MS ensilada, seguindo as condições deste trabalho.

4.5. Referências Bibliográficas

AMARAL, R. C. et al. Estabilidade aeróbia de silagens do capim-marandu submetidas a diferentes intensidades de compactação na ensilagem. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 37, p.977-983, 2008.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALITICAL CHEMISTS – AOAC. *Official Methods of Analysis*. 15 ed. Arlington, Virginia: 1990. 1117p.

ANP - Agência Nacional do Petróleo. Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. 2015. Documento online. Disponível em: <http://www.anp.gov.br>>. Acesso em: 26 de outubro de 2016.

AZEVEDO, A. C. C. G. et al. Chemical composition of xaraes and piata grass silage under wilting. *Gl. Sci Technol.*, Rio Verde, v. 5, n. 3, p. 147–155, set/dez. 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. Plano Decenal de Expansão de Energia 2024 / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília: MME/EPE. 2015.

BRAVO-MARTINS, C. E. C. et al. Chemical and microbiological evaluation of ensiled sugarcane with different additives. *Brazilian Journal of Microbiology*, v.37, p.499-504, 2006.

COAN, R. M. et al. Dinâmica fermentativa e microbiológica de silagens dos capins tanzânia e marandu acrescidas de polpa cítrica peletizada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.36, p.1502-1511, 2007.

COSTA, K. A. P. et al. Silage quality of *Brachiaria brizantha* cultivars ensiled with diferente levels of millet meal *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.63, n.1, p.188-195, 2011.

DIAS, A. M. et al. Ureia e glicerina bruta como aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.66, p.1874-1882, 2014.

FIGUEREDO, R. S. et al. Silage quality of Piata palisadegrass with palm kernel cake. *Semina: Ciências Agrárias, Londrina*, v. 35, n. 1, p. 505-518, jan./fev. 2014.

GUIM, A. et al. Estabilidade aeróbica de silagens de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, schum) emurcheado e tratado com inoculante microbiano. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, p. 2176-2185, 2002.

JOBIM, C. et al. Avanços metodológicos na avaliação da qualidade da forragem conservada. *Revista Brasileira de Zootecnia*, p.101-119, 2007.

JOBIM, C. C. et al. Silagens de grãos de milho puro e com adição de grãos de soja, de girassol ou ureia. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 43, n. 5, p. 649-656, 2008.

KUNG JUNIOR, L. et al. Added ammonia or microbial inocula for fermentation and nitrogenous compounds of alfalfa ensiled at various percents of dry matter. *Journal of Dairy Science*, v.67, p.299-306, 1984.

MARTINS, A. S. et al. Glycerol inclusion levels in corn and sunflower silages. *Ciência Agrotecnologia*, v.38, p.497-505, 2014.

MCDONALD, P. et al. *The biochemistry of silage*. 3th ed. Chalcombe Publications, New York. 1991.

MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fibre in feeds with refluxing beakers or crucibles: collaborative study. *J. Assoc. Off. Assoc. Chem. Int.* 85, 1217–1240. 2002.

OLIVEIRA, R. L. et al. Torta de dendê oriunda da produção do biodiesel na ensilagem de capim-massai. *Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal*, Salvador, v. 12, n. 4, p. 881-892, 2011.

SANTOS, M. V. F. et al. Fatores que afetam o valor nutritivo da silagens de forrageiras. *Archivos de Zootecnia*, v. 59, p. 25-43, 2010.

SILVA, E. T. P. et al. Nutritional and fermentation parameters of Xaraés grass silage produced with bacterial additive. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*, Maringá, v. 36, n. 3, p. 265-269, jul.-set., 2014.

SNIFFEN, C. J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.

VASCONCELOS, W. A. et al. Valor nutritivo de silagens de capim-mombaça (*Panicum maximum* Jacq.) colhido em função de idades de rebrotação. *Rev. Bras. Saúde Prod. An.*, v.10, n.4, p.874-884 out/dez, 2009.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o aumento da produção brasileira do biodiesel cresce também a preocupação com o destino da glicerina bruta produzida durante o processo. A produção de glicerina bruta está muito acima da demanda interna, o que obriga as indústrias a buscar alternativas para minimizar os gastos despendidos para purificá-la ou para melhorar o baixo ganho obtido com a exportação do resíduo do biodiesel por valores irrisórios. Muitas empresas necessitam optar pela doação deste produto, mas se processos comuns, como os de fermentação anaeróbia, podem comportar e obter benefícios com sua utilização, pode-se agregar valor a um resíduo com potencial poluente. Portanto, a busca por novas alternativas de utilização deste resíduo industrial são fundamentais tanto para garantir a estabilidade econômica como ambiental das empresas produtoras de biodiesel.

O processo de co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos gera energia considerada limpa pela produção do biogás, e para esta transformação ocorrer estão envolvidas várias etapas que necessitam de equilíbrio do meio para os microrganismos, por isso buscam-se resíduos que possam se complementar para suprir a deficiência de nutrientes um do outro.

Este trabalho possibilitou alcançar boas respostas sobre o uso da glicerina com dejetos avícolas. As glicerinas com distintos teores de pureza não interferiram negativamente na co-digestão com dejetos de galinhas de postura quando os níveis de inclusão de glicerol foram fixados, o que permitiu que fosse indicada a utilização da glicerina com menor custo de purificação com 40% de glicerol. A inclusão entre 2,1 e 2,6% de glicerol (nos ST) mostrou-se a melhor para obter as maiores reduções de sólidos e de matéria orgânica, bem como redução da necessidade de oxigênio para degradação, por tratar-se de uma anaerobiose, e melhorando também as produções específicas de biogás e metano durante o processo.

A otimização da geração de energia limpa com uso conjunto dos resíduos agroindustriais, dejetos avícolas e glicerina, em co-digestão anaeróbia, mostra-se como alternativa promissora para uma destinação ambientalmente adequada de ambos, e ainda, pode auxiliar na economia financeira de propriedades produtoras beneficiadas pelo suprimento de energia advinda do biogás. A aplicação desta conversão energética considerada limpa provoca menor necessidade de geração de

energia em sistemas não sustentáveis e, concomitantemente, contribui para preservação de recursos naturais.

Ressalta-se ainda, a importância da exploração de práticas usuais de maneira mais eficiente para contribuir com a lucratividade de produções sem que para isso sejam gerados efeitos ambientalmente indesejados em escalas com potencialidade de minimização do impacto, como a inevitável emissão de metano pelos bovinos. Para isso, pode-se trabalhar aspectos nutricionais e de obtenção de energia para alimentação de ruminantes, pois, quando o alimento fornecido pode ser aproveitado mais eficientemente pelos animais, pode-se considerar a qualidade da dieta como uma forma de mitigação de gases de efeito estufa, devido à redução da produção de metano via eructação por quilo de matéria seca consumida.

A ensilagem de alimentos excedentes é uma prática que contribui para evitar o desperdício e colabora para economia de produtores que buscam alternativas mais baratas, já que o processo pode ser feito com inúmeras espécies forrageiras, dentre elas os capins tropicais por possuir boa produtividade e qualidade nutricional. Assim, a ensilagem, além de garantir alimento em períodos escassos, quando realizada adequadamente pode ser um processo que suporta altas quantidades do resíduo glicerina bruta, já que, em conjunto com o material vegetal, a glicerina contribui para uma fermentação mais eficiente que resultará em um alimento conservado com características favoráveis à eficiente aproveitamento animal.

Recomenda-se, após a execução deste trabalho, a utilização da glicerina bruta com 40% de glicerol na ensilagem do capim Piatã, para promover a melhoria tanto do processo fermentativo como no valor nutritivo da silagem, sendo a dose de 6% de glicerol a que apresentou os melhores resultados para a maioria dos parâmetros avaliados. Estes resultados demonstram que a glicerina bruta possui um grande potencial para ser utilizada como um aditivo estimulador da fermentação nos processos de ensilagem, principalmente quando se utiliza capins com idade mais avançada e com baixos teores de carboidratos solúveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUELENIEN, F., et al. Improved methane fermentation of chicken manure via ammonia removal by biogas recycle. *Bioresour. Technol.*, v. 101, p. 6368–6373, 2010.

ABOUELENIEN, F., et al. Enhancement of methane production from co-digestion of chicken manure with agricultural wastes. **Bioresource Technology**, v. 159, p. 80–87, 2014.

ALVIM, M. J.; BOTREL, M. A.; XAVIER, D. F. As principais espécies de *Brachiaria* utilizadas no país. **Comunicado Técnico 22**, Juiz de Fora, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, p. 1-4, 2002.

AMON, T. H., et al. 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, p. 16-24, 2004.

ANUÁRIO DA PECUÁRIA BRASILEIRA (ANUALPEC). São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, 2015.

ARRUDA, M. H. et al. Dimensionamento de biodigestor para geração de energia alternativa. **Rev. Cient. Elet. de Agron.**, Garça, v. 1, n. 2, p. 1-8, dez. 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PROTEÍNA ANIMAL (ABPA). **Relatório Anual 2016**. São Paulo, 2016. Disponível em: <http://abpa-br.com.br/storage/files/versao_final_para_envio_digital_1925a_final_abpa_relatorio_anual_2016_portugues_web1.pdf>. Acesso em: 15 ago. 2016.

ASTALS, S; NOLLA-ARDEVOL, V; MATA-ALVAREZ, J. Thermophilic co-digestion of pig manure and crude glycerol: Process performance and digestate stability. **Journal of Biotechnology**, v. 166, p. 97-104. 2013.

BERNARDES, T. F.; SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A. **Importância do planejamento na produção e uso da silagem**. Editora UFLA, 2005. 121-176 p.

BESERRA, V. A.; CESAR, A. S.; PERES, A. A. C. Adoção da glicerina bruta na dieta animal e seu impacto no produto final. *Arch. Zootec.*, v. 65, n. 250, p. 259-266. 2016.

BIOMERCADO. **Custo-benefício de uma planta de refino de glicerina**. 2014. Disponível em: <http://biomercado.com.br/not_detalhe.php?noticia=1154>. Acesso em: 15 abr. 2016.

BRASIL. Lei n. 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Casa Civil - Subchefia para Assuntos Jurídicos, Brasília, DF. 2005.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia, Empresa de Pesquisa Energética. **Plano Decenal de Expansão de Energia 2024** / Ministério de Minas e Energia. Empresa de Pesquisa Energética. Brasília, DF, 2015.

BRASIL. Lei n. 13.263, de 23 de março de 2016. Dispõe sobre os percentuais de adição de biodiesel ao óleo diesel comercializado no território nacional. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Atos do Poder Legislativo, Brasília, DF, 24 mar., p.1. 2016. Seção 1.

BRITES, F.H.R.; JUNIOR, C.A.; TORRES, F.E. Germinação de semente comum, escarificada e revestida de diferentes espécies forrageiras tropicais. **Bioscience Journal**, Uberlandia, MG, v.27, n.4, p.629-634, Jul/Aug. 2011.

BUJOCZEK, G., et al. High solid anaerobic digestion of chicken manure. **J. Agric. Eng. Res.**, v. 76, p. 51–60. 2000.

CALLI, B. et al. Effect of high free ammonia concentrations on the performances of anaerobic bioreactors. **Process Biochem.**, v.40, p. 1285-1292. 2005.

CERRATE, S.; YAN, F.; WANG, Z.; COTO, C. et al. Evaluation of glycerine from biodiesel production as a feed ingredient for broilers. **International Journal of Poultry Science**, Faisalabad, v.5, n.11, p.1001-1007, 2006.

CHEN, Y., CHENG, J.J., CREAMER, K.S. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. **Bioresour. Technol.**, v. 99, n.10, p. 4044-4064. 2008.

COSTA, R. Glicerina, o tamanho do problema. **Biodieselbr**, Curitiba, v. 1, n. 3, p. 16-20, fev./mar. 2008.

DIAS, A.M.; ÍTAVO, L.C.V.; ÍTAVO, C.C.B.F. et al. Ureia e glicerina bruta como aditivos na ensilagem de cana-de-açúcar. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, Belo Horizonte, v.66, p.1874-1882, 2014.

DIAS-FILHO, M. B.; ANDRADE, C. M. S. Pastagens no ecossistema do Trópico Úmido In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2005, Goiânia, **Anais...** Goiânia: SBZ, p.95-104. 2005.

DUARTE, J. A. V. **Glicerina bruta na ensilagem de *Urochloa brizantha* cv. Piatã**. 2015. 52f. Dissertação de Mestrado (Zootecnia) – Faculdade de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2015.

EMBRAPA GADO DE CORTE. Informativo Piatã. (2014). Disponível em: <http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/123641/1/Folder-Piata-Final-2014.pdf>. Acessado em 18 nov. 2015.

EPIFANIO, P. S. et al. Composição bromatológica da silagem de capim-piatã ensilado com diferentes níveis de farelos da indústria do biodiesel. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 35, p. 491-504, 2014.

EUCLIDES, V. P. B., et al. Produção de forragem e características da estrutura do dossel de cultivares de *Brachiaria brizantha* sob pastejo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.43, n.12, p.1805-1812, dez. 2008.

FARIAS, R.M., et al. Biodigestão anaeróbia de dejetos de poedeiras coletados após diferentes períodos de acúmulo. **Ciência. Rural**, v. 42, n. 6, p. 1089-1094. 2012.

FERNANDES, A. **Água residuária de laticínio em co-digestão com dejetos de bovinos leiteiros**. 2016. 63f. Dissertação de Mestrado (Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2016.

FERRER, I., VÁZQUEZ, F., FONT, X. Long term operation of a thermophilic anaerobic reactor: Process stability and efficiency at decreasing sludge retention time. **Bioresour. Technol.**, v. 101, p. 2972-2980, 2010.

FIUZA, R.P.; MIRANDA, C.S.; FIUZA JUNIOR, R.A. Processos de purificação de glicerina bruta. **Cadernos de Prospecção**, v. 7, n. 1, p. 32-41. 2014.

FONTANELI, R., et al. Forrageiras para integração lavoura-pecuária na região sul-brasileira. Synergismus scyentifica UTFPR, Pato Branco, v. 6, n. 2, 2011. Disponível em: <<http://revistas.utfpr.edu.br/pb/index.php/SysScy/article/viewArticle/1429>> Acesso em 19 nov. 2016.

FONTANELI, R. S. et al. Forrageiras para integração lavoura-pecuária-floresta na região sul-brasileira / editores, Renato Serena Fontaneli, Henrique Pereira dos Santos, Roberto Serena Fontaneli. 2. Ed. **Brasília**, DF: Embrapa, 2012. 544p.

FOOD AND DRUG ADMINISTRATION. [2013]. Disponível em: <<http://www.fda.gov/default.htm>> Acessado em: 10 nov. 2016. (C.F.R 582.1320) da Food and Drug Administration (2013)

FRANÇA, A.B. et al. Parâmetros fermentativos de silagem de milho com adição de glicerina bruta In: 49ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2012, Brasília. **Anais...**, Brasília, DF, 2012.

GOMES, M. A. B. Glicerina na qualidade de silagens de cana-de-açúcar e de milho e na produção de oócitos e de embriões in vitro de bovinos. 2013. 90f. **Tese** (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2013.

GÜNGÖR-DEMIRCI, G., DEMIRER, G.N. Effect of initial COD concentration, nutrient addition, temperature and microbial acclimation on anaerobic treatability of broiler and cattle manure. **Bioresour. Technol.**, v. 93, p. 109–117. 2004.

HARRISON, J. H.; BLAUWIEKEL, R.; STOKES, M. R. Symposium: Utilization of grass silage. Fermentation and utilization of grass silage. **Journal of Dairy Science**, v. 77, n. 10, p 3209-3225, 1994.

HOLM-NIELSEN, J. B., et al. On-line near infrared monitoring of glycerol-boosted anaerobic digestion processes: evaluation of process analytical technologies. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 99, p. 302-313. 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção de Ovos de Galinha**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=7&z=t&o=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1>>. Acesso em: 13 set. 2016.

JARDINE, J. G.; BARROS, T. D. **Árvore do conhecimento: Agroenergia**. Disponível em: <<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj8n3kmr02wyiv809gkz514c1vjh7.html>>. Acesso em: 23 dez. 2016.

KHALID, A., et al. The anaerobic digestion of solid organic waste. **Waste Management**, v. 31, p. 1737-1744, 2011.

KOCSISOVÁ, T.; CVENGROS, J. G-phase form methyl ester production – splitting and refining. **Petroleum e Coal**, v. 48, n. 2, p. 1-5, jun. 2006.

KREHBIEL, C. R. Ruminal and physiological metabolism of glycerin. **Journal of Animal Science**, v. 86 (Suppl.), p. 392. 2008.

LAGE, J. F. et al. Glicerina bruta na dieta de cordeiros terminados em confinamento. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.45, n.9, p.1012-1020, 2010.

LAMMERS, P. et al. Growth performance, carcass characteristics, meat quality, and tissue histology of growing pigs fed crude glycerin – supplemented diets. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 86, p. 2962-2970, 2008.

LARSEN, A.C. **Co-digestão anaeróbia de glicerina bruta e efluente de fecularia**. 2009. 41f. **Dissertação** (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciencias Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2009.

LARSEN, A.C. et al. Anaerobic co-digestion of crude glycerin and starch industry effluent. **Eng. Agrícola**, Jaboticabal. v. 33, n. 2, p. 341-352. 2013.

LOPES, A. P. et al. Purificação de glicerina residual obtida na produção de biodiesel a partir de óleos residuais. **Rev. Virtual Quim.** v. 6, n. 6, p. 1564-1582. 2014.

MACEDO, M. C. M. Pastagens no ecossistema Cerrados: evolução das pesquisas para o desenvolvimento sustentável. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBZ. p.56-84, 2005.

MAGBANUA, B.S., ADAMS, T.T., JOHNSTON, P., Anaerobic co-digestion of hog and poultry waste. **Bioresour. Technol.**, v. 76, p. 165–168, 2001.

MARTINS, A. S. et al. Glycerol inclusion levels in corn and sunflower silages. **Ciência Agrotecnologia**, Lavras, v.38, p.497-505, 2014.

MCDONALD, L. G.; MANZANO, R. P.; PEDREIRA, C. G. S. Valor alimentício em plantas do gênero *Cynodon*. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGENS:

MANEJO DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15, Piracicaba, 1998. **Anais...** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luís de Queiroz, 1998, p.242-245.

MENDES, D.B.; SERRA, J.C.V. Glicerina: uma abordagem sobre a produção e o tratamento. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 13, n. 20, p. 01-09, jul./dez. 2012

MENÊSES, N. N. Uso da glicerina bruta na ensilagem de capim elefante (*Pennisetum purpureum*, shum). 2012. 98f. **Dissertação** (Mestrado em Ciência Animal) - Universidade Federal do Tocantins, Araguaína, 2012.

MIRANDA, A. P. **Suínos em diferentes fases de crescimento alimentados com milho ou sorgo: desempenho, digestibilidade e efeitos na biodigestão anaeróbia**. 123p. 2009. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2009.

MORA, J.A.H. et al. Evaluación de rutas alternativas de aprovechamiento de la glicerina obtenida en la producción de biodiésel: una revisión. **Ingeniería y Desarrollo**. Universidad del Norte, v. 33, n. 1, p. 126-148, 2015.

NADIA, O. F., et al. Investigation of physico-chemical properties and microbial community during poultry manure co-composting process. **Journal of Environmental Science**, v. 28, p. 81-94, 2015.

NIU, Q., et al. Characterization of methanogenesis, acidogenesis and hydrolysis in thermophilic methane fermentation of chicken manure. **Chemical Engineering Journal**, v. 244, p. 587–596, 2014.

OLIVEIRA, J. T.; FONTANELI, R. S.; SANTOS, H. P. - Produção, distribuição estacional e valor nutritivo de gramíneas anuais, para minimizar a deficiência de forragem no vazio forrageiro outonal. **Trabalhos técnico - científico**, p. 23. 2008.

OLIVEIRA, L. E.V. Estabelecimento de pastagens. Sobral: Programa de Pós-Graduação em Zootecnia UVA/Embrapa, 2010.

OLIVEIRA et al. Perspectivas da utilização de coprodutos do biodiesel na produção de bovinos de corte. In: Simpósio Matogrossense de Bovinos de Corte, 1., 2011, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá-MT, 2011, p.131-150.

OLIVEIRA, J.S. et al. 2013. Composição química da glicerina produzida por usinas de biodiesel no Brasil e potencial de uso na alimentação animal. **Cienc. Rural**, v. 43, n. 3, p. 509-512.

OLIVEIRA, E.M. Glicerina na alimentação de cordeiros ½ Dorper ½ Santa Inês: consumo, digestibilidade, desempenho, características quantitativas da carcaça e qualitativas da carne. 2013. 66f. **Dissertação** (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

ORRICO JUNIOR, M.A.P. et al. Compostagem dos resíduos da produção avícola: cama de frangos e carcaças de aves. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 3, p. 538-545,

2010. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162010000300018&lng=en&nrm=iso>.

ORRICO JUNIOR, M.A.P., ORRICO, A.C.A. Quantification, Characterization, and anaerobic digestion of sheep waste: the influence of diet and addition of crude glycerin. **Environ. Prog. Sustain. Energy**, v. 34, n. 4, p. 1038-1043, 2015.

QIAO, W. et al. Evaluation of biogás production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment, **Renew. Energy**, v. 36, p. 3313–3318, 2011.

PAGGI, R.A.; FAY, J.P.; FAVERIN, C. In vitro ruminal digestibility of oat hay and cellulolytic activity in the presence of increasing concentrations of short -chain acids and glycerol. **Journal of Agricultural Science**, Toronto, v.142, p.89-96, 2004.

PARSONS, G. L.; SHELOR, M. K.; DROUILLARD, J. S. Performance and carcass traits of finishing heifers fed crude glycerin. **Journal of Animal Science**, Champaign, v. 87, p. 653-657, 2009.

PENZ JUNIOR, A. M.; GIANFELICE, M. O que fazer para substituir os insumos que podem migrar para a produção de biocombustível. **Acta Scientiae Veterinariae**, Porto Alegre, v. 36 (Supl 1), p.107-117, 2008.

PIMENTA, L. Capim novo a caminho. **Revista ABCZ**, Uberaba, v.50, p.18-20, 2009.

PIMENTEL, J. J. O. et al. Efeito da suplementação proteica no valor nutritivo de silagens de milho e sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 1042-1049, 1998.

PYATT, A.; DOANE, P.H.; CECAVA, M.J. **Effect of crude glycerin in finishing cattle diets. Journal of Animal Science**, Champaign, v.85, p.412, 2007.

RAJAGOPAL, R., MASSE, D.I., SINGH, G. A critical review on inhibition of anaerobic digestion process by excess ammonia. **Bioresour. Technol.**, v. 143, p. 632-641, 2013.

RAMOS, M. H.; KERLEY, M. S.; Effect of dietary crude glycerol level on ruminal fermentation in continuous culture and growth performance of beef calves. **Journal of Animal Science**, Champaign, p. 892-899, 2011.

REIS, W. et al. Características da carcaça de cordeiros alimentados com dietas contendo grãos de milho conservados em diferentes formas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Viçosa, v.30, p. 1308-1315, 2001.

REIS, R. A.; COAN, R. M.; VIEIRA, B. R. Silagens de capins tropicais: Valor alimentício. In: **Anais do IV Simpósio: Produção e utilização de forragens conservadas**. JOBIM, C. C.; CECATO, U.; CANTO, M. W. (Org.). Maringá: Sthampa, 2011. 292 p.

REIS, R. A.; ROSA, B. Suplementação volumosa: conservação do excedente das pastagens. In: **SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM**, 18, 2001 Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 193-232.

REIS, R. A., et al. **Volumosos na produção de ruminantes: valor alimentícios de forragens**. 1.ed, Jaboticabal: Editora Funep, 2003, 264p.

REN21. 2016. Renewables 2016 Global Status Report (Paris: REN21 Secretaria). ISBN 978-3-9818107-0-7.

RODRIGUES, F.V.; RONDINA, D. Alternativas de uso de subprodutos da cadeia do biodiesel na alimentação de ruminantes: glicerina bruta. **Acta Veterinaria Brasilica**, Mossoró, v.7, n.2, p.91-99, 2013.

SANTOS, E. L. B.; NARDI JUNIOR, G. Produção de biogás a partir de dejetos de origem animal. **Tekhne e Logos, Botucatu**, SP, v. 4, n. 2, ago. 2013.

SANTOS, E. M.; ZANINE, A. M. Silagem de Gramíneas Tropicais. **Colloquium Agrariae**, Presidente Prudente, v. 2, p. 32-45, 2006.

SCHMIDT, P.; SOUZA, C. M.; BACH, B. C. Uso estratégico de aditivos em silagens: quando e como usar?. In: JOBIM, C. C. SIMPÓSIO DE CONSERVAÇÃO DE FORRAGENS, 5, **Anais...** Maringá, 2014.

SCHRÖDER, A.; SÜDEKUM, K. H. **Glycerol as a by-product of biodiesel production in diets for ruminants**. In: INTERNACIONAL RAPESED CONGRESS, 1999, Camberra. Disponível em: < <http://www.regional.org.au/au/gcirc/1/241.htm> > Acessado em 18 nov. de 2016.

SILVEIRA, A. P. **Valor nutritivo de forrageiras de inverno e produção de silagem pré-secada**. 2015. 69 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

SOUSA FILHO, L. M.; ROCHA, J. A.; SARAIVA, L. S.; ROCHA, J. R.; SOUSA, N. D. C.; GUIMARÃES, I. F.; OLIVEIRA, R. R.; LUZ JÚNIOR, G. E.; LIMA, F. L. **Seleção de linhagens de microrganismos capazes de crescer em altas concentrações de glicerol**. Disponível em: <<http://www.uespi.br/prop/XSIMPOSIO/TRABALHOS/INICIACAO/Ciencias%20da%20Natureza/SELECAO%20DE%20LINHAGENS%20DE%20MICROORGANISMOS%20CAPAZES%20DE%20CRESCER%20EM%20ALTAS%20CONCENTRACOES%20DE%20GLICEROL.pdf>> Acessado em: 16 de nov. de 2016.

SIMM, S., et al. Crude glycerin in anaerobic co-digestion of dairy cattle manure increases methane production. **Scientia Agricola**. Aceito para publicação. 2016.

SOUZA, C. F. et al. Produção volumétrica de metano: dejetos de suínos. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, p. 219-224, 2008.

THOMPSON, J.C.; HE, B.B. Characterization of crude glycerol from biodiesel production from multiple feedstocks, **Appl. Eng. Agric.**, v. 22, n. 2, p. 261-265, 2006.

TOMICH, T. R. Qualidade na produção de silagens. In: VI Simpósio Mineiro e I Simpósio Nacional sobre Nutrição de Gado de Leite. 2012, Belo Horizonte. **Anais...** p. 87-115.

UNIDAD DE PLANEACIÓN MINERO ENERGÉTICA (UPME). **Programa estratégico para la producción de biodiesel a partir de aceites vegetales**. "Informe final". Corporación para el Desarrollo Industrial de la Biotecnología y Producción Limpia (CORPODIB). Bogotá, 2003. Disponível em: <<http://www.si3ea.gov.co/si3ea/documentos/documentacion/Biodiesel/Capitulo%200.pdf>> Acesso em: 13 set. 2016.

VALLE, C. B., et al. *Brachiaria brizantha* cv. Piatã: Uma forrageira para diversificação de pastagens tropicais. **Seed News**, Pelotas, v.11, p.28-30, 2007.

VRIEZE, J. et al. Inoculum selection is crucial to ensure operational stability in anaerobic digestion. **Appl Microbiol Biotechnol.**, v. 99, p. 189-199, 2015.

ZHANG, T. et al. Improved biogas production from chicken manure anaerobic digestion using cereal residues as co-substrate. **Energy Fuels**, v. 28, p. 2490-2495, 2014.