



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA

Co-digestão anaeróbia dos dejetos de suínos e forragens em idades
diferentes de maturação

JULIANA DIAS DE OLIVEIRA

DOURADOS - MS
2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE ZOOTECNIA

Co-digestão anaeróbia dos dejetos de suínos e forragens em idades
diferentes de maturação

Acadêmica: Juliana Dias de Oliveira
Orientadora: Ana Carolina Amorim Orrico

Trabalho apresentado à Faculdade de
Ciências Agrárias da Universidade
Federal da Grande Dourados, como
parte das exigências para obtenção do
grau de bacharel em Zootecnia

Dourados – MS
2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP).

O48c Oliveira, Juliana Dias De

Co-digestão anaeróbia dos dejetos de suínos e forragens em idades diferentes de maturação
[recurso eletrônico] / Juliana Dias De Oliveira. -- 2019.

Arquivo em formato pdf.

Orientador: Ana Carolina Amorim Orrico .

TCC (Graduação em Zootecnia)-Universidade Federal da Grande Dourados, 2019.

Disponível no Repositório Institucional da UFGD em:

<https://portal.ufgd.edu.br/setor/biblioteca/repositorio>

1. Biogás. 2. Energia renovável. 3. Redução de carga poluente. I. Orrico, Ana Carolina Amorim.
II. Título.

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

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

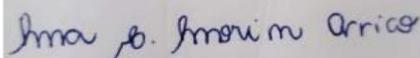
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Co-digestão anaeróbia dos dejetos de suínos e forragens em idades diferentes de maturação

AUTORA: Juliana Dias de Oliveira

ORIENTADORA: Ana Carolina Amorim Orrico

Aprovado como parte das exigências para a obtenção do grau de bacharel em **ZOOTECNIA** pela Comissão Examinadora.



Prof. Dr.^a **Ana Carolina Amorim Orrico**

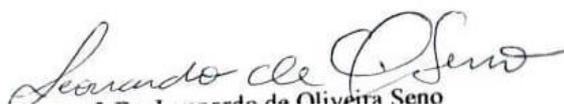


Prof. Dr.^a **Alice Watte Schwingel**

Brenda Kelly Viana Leite.

Mestranda: **Brenda Kelly Viana Leite**

Data de realização: 10 de dezembro de 2019



Prof. Dr. **Leonardo de Oliveira Seno**
Presidente da comissão do TCC-Zootecnia

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida e por ter me ajudado durante toda a caminhada.

Aos meus pais Iolanda de Oliveira Pimentel e Celeste Dias.

As minhas irmãs Ana Alice de Oliveira Dias, Aline Dias de Oliveira, Jaqueline Dias de Oliveira e Gisele de Oliveira Pimentel.

À Universidade Federal da Grande Dourados, à Faculdade de Ciências Agrárias e ao curso de Zootecnia, pela oportunidade de realização deste estágio.

A todos os professores em geral, por todo o conhecimento passado durante esses cinco anos.

Agradeço muito a professora Ana Carolina Amorim Orrico pela orientação durante toda a minha graduação por me auxiliar em tudo que precisei, a senhora tem uma contribuição enorme em minha transformação durante esse período de graduação. A senhora é um exemplo de professora e orientadora.

A professora Alice Watte Scwhingel, por toda a paciência, e contribuição em tudo que precisei.

Aos meus amigos Jaqueline Murback Braz, Wellington dos Santos, Elieser Leão, Aline Silva, Beatriz Machado, Agnes Odakura, Janaina Freire, Isabelly Alencar, Amanda Maria, Aline Torres e especialmente aos amigos Mirelly Taina, Marcio Romeiro, Karen Mello e Bruna Rocha que foram pessoas essenciais e muito importantes nessa fase final da minha caminhada.

A dona Marisa, Marcio e Mellissa, por serem minha segunda família, agradeço por tudo.

A dona Fátima, Heliton e toda a família por toda a ajuda no início da faculdade, sempre serei muito grata a todos vocês.

A minha colega Therezinha, que foi de fundamental importância nessa reta final da faculdade.

À toda minha família, em especial meu ao meu pai Celeste Dias.

Muito obrigada!

RESUMO

A crescente demanda por eletricidade, está causando uma intensa busca por fontes de energias renováveis, buscando atender toda a demanda exigida, além de produzir de uma forma mais sustentável. Atualmente existem vários estudos sobre o potencial de produção de biogás de espécies forrageiras e resíduos provenientes da agricultura em conjunto com dejetos animais, visto que esses produtos são matérias primas com elevado potencial de produção de metano e conseqüente geração de energia elétrica, O objetivo deste trabalho foi avaliar se as inclusões de forragem, em duas diferentes idades de maturação, em co-digestão com os dejetos de suínos, influenciam as produções de biogás e degradação de constituintes sólidos durante o processo. Para execução do experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial composto por: 2 idades de maturação das forragens (mediana e avançada) e 5 doses de inclusão da forragem (0, 25, 50, 75 e 100%) nos substratos, em substituição aos dejetos, contendo 3 repetições por tratamento (biodigestores). As forragens foram coletadas em duas idades de maturação, definidas pela disponibilidade de massa verde na área, e assim denominadas como de alta e baixa disponibilidade. Os dejetos e forragens foram caracterizados individualmente determinando-se o potencial hidrogeniônico (pH), os teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), carbono (C) e nitrogênio (N), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) quantificados. Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando como fontes de variação a maturação da forragem e sua inclusão, testados a 5% de probabilidade. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) em relação as inclusões e idade das forragens para as produções de biogás por Kg de ST e SV adicionados. Nas reduções dos de ST, SV, C, N e para os valores de pH somente as reduções de FDN apresentaram diferenças significativas ($p < 0,05$) entre as idades das plantas, onde a maior redução foi encontrada para a forragem com idade mediana (65,29%), o que pode estar relacionado a diversos fatores que ocorreram durante o processamento. Sendo assim a forragem pode ser utilizada em ambos estados de maturação.

Palavras chave: Biogás, Energia renovável, Redução de carga poluente.

ABSTRACT

The growing demand for electricity is causing an intense search for renewable energy sources, seeking to meet all the demand, as well as producing in a more sustainable way. There are currently several studies on the biogas production potential of forage species and agricultural residues together with animal waste, since these products are raw materials with high methane production potential and consequent generation of electricity. The objective of this academic work was to evaluate if forage inclusions at two different maturation ages, in co-digestion with swine manure, affect biogas production and degradation of solid constituents during the process. For the execution of the experiment, a completely randomized design was used in a factorial scheme consisting of: 2 forage maturation ages (median and advanced) and 5 doses of forage inclusion (0, 25, 50, 75 and 100%) in the substrates, replacing the wastes, containing 3 repetitions per treatment (biodigesters). The forages were collected at two maturity ages, defined by the availability of green mass in the area, and thus named as high and low availability. Waste and forage were individually characterized by determining the hydrogen potential (pH), the total solids (TS), volatile solids (VS), carbon (C) and nitrogen (N) contents. The forages had the contents of neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) quantified. The results were submitted to analysis of variance, considering as sources of variation the type of manure, forage maturation and its inclusion, tested at 5% probability. There was no significant difference ($p > 0.05$) in relation to forage inclusions and age for biogas yields per kg of ST and SV added. In the ST, SV, C, N reductions and for the pH values only the NDF reductions showed significant differences ($p < 0.05$) between the plant ages, where the largest reduction was found for the medium-aged forage. (65.29%), which may be related to several factors that occurred during processing. Thus forage can be used in both maturation states.

Keywords: Biogas, Renewable energy, Pollutant load reduction

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	9
2.	REVISÃO DE LITERATURA.....	10
3.	MATERIAL E MÉTODOS.....	13
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	15
5.	CONCLUSÃO	21
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por eletricidade, está causando uma intensa busca por fontes de energias renováveis, buscando atender toda a demanda exigida, além de produzir de uma forma mais sustentável, já que a utilização de combustíveis fósseis para gerar energia não é uma fonte renovável, podendo se tornar escassa ao longo do tempo, além da poluição que causa ao meio ambiente.

Já é conhecido que os dejetos gerados pelos animais são uma fonte para produção de energia elétrica, pois a digestão desses materiais produz gás combustível, o metano, que pode ser convertido em eletricidade através de geradores. Essa energia proveniente da utilização dos dejetos é comumente utilizada nas próprias instalações de criação dos animais, pois assim tem-se uma redução em relação aos custos com eletricidade para funcionamento das unidades produtoras.

Além dos resíduos animais, outras matérias primas podem ser empregadas como os resíduos vegetais, visto que o setor agrícola é uma das principais atividades responsáveis pela economia do país por estar produzindo sempre em grande escala.

Junto a toda a produção agrícola são geradas anualmente grandes quantidades de resíduos como palha de milho, arroz, trigo, entre outros, principalmente no período da colheita e no processamento. Esses materiais por possuírem uma alta carga orgânica apresentam boa capacidade de geração de biogás, se empregado em sistemas de digestão anaeróbia, sendo assim uma alternativa de matéria prima para geração de energia elétrica.

Outra fonte para geração de energia é a utilização de forrageiras como as gramíneas, seja na forma *in natura* ou quando submetidas ao processo de ensilagem, pois esses materiais lignocelulósicos apresentam um alto potencial para produção de metano, sendo uma matéria prima promissora na produção de energia elétrica.

Atualmente existem vários estudos sobre o potencial de produção de biogás a partir de resíduos vegetais em conjunto com dejetos animais como o de André et al. (2019) que encontram produções de 203 L de CH₄ por Kg de SV adicionado, utilizando dejetos bovino e capim de estrada, visto que esses produtos são matérias primas com elevado potencial de produção de metano e conseqüente geração de energia elétrica, sendo uma fonte renovável e também sustentável.

O objetivo deste trabalho foi avaliar se as inclusões de forragem, em duas diferentes idades de maturação e em co-digestão com os dejetos de suínos, influenciam as produções de biogás e degradação de constituintes sólidos durante o processo.

2. REVISÃO DE LITERATURA

A biodigestão anaeróbia dos dejetos de suínos é uma das técnicas de reciclagem e tratamento destes materiais mais comumente empregada, e apresenta excelentes condições de fermentação, alcançando potenciais elevados na geração de metano e qualidade superior para o biofertilizante gerado. Segundo Orrico et al. (2010) a digestão isolada do dejetos suíno pode gerar produções de até 822 litros de biogás por kg de sólido volátil (SV) adicionado no biodigestor.

No entanto, a digestão isolada dos dejetos de suínos pode trazer algumas condições não desejáveis para o meio em digestão, como excessiva fermentação inicial dos constituintes mais solúveis e acidificação do meio, assim como, devido aos maiores teores de N contidos nos dejetos de suínos e concentrações excessivas de N amoniacal.

Estas limitações podem beneficiar o desenvolvimento da co-digestão, ou seja, quando ocorre a associação de dois ou mais resíduos para a digestão conjunta, trazendo assim melhor ajuste aos nutrientes aos substratos que serão degradados, permitindo que se alcance maior estabilidade do meio como mostra Schwingel et al. 2016 que conduziram a co-digestão dos dejetos suíno com adições crescentes de glicerina bruta e verificaram que as maiores produções de biogás ocorreram quando houve a inclusão de glicerina nos substratos dentro da faixa de 4,5 e 5,4 % dos sólidos totais (ST) nos tempos de retenção de 17 e 24 dias, respectivamente. Utilizando as inclusões de glicerina bruta dentro da faixa descrita, as produções de biogás foram de 13,1 litros de biogás por litro de afluente, superando o valor alcançado pelo controle (com 0% de adição) em 11%.

Os resíduos vegetais vêm sendo comumente utilizado em co- digestão com dejetos animais, visto que apresentam abundância em relação ao teor de matéria orgânica, como relatado por Darwin et al. (2014) que caracterizaram a palha de arroz com o teor de 91,4 % de sólidos totais (ST) e 84,4 % de sólidos voláteis (SV), como uma possibilidade para aumentar a produção de biogás e metano.

A produção de biogás com a utilização de alguns resíduos vegetais (resíduos de soja, cascas de mamão, bagaço de cana e palha de arroz), foram avaliadas por Onthong

& Niramol Juntarachat (2017), que utilizaram diferentes períodos de retenção hidráulica (15, 20, 25, 30 e 35 dias) e verificaram que as maiores produções foram encontradas para a digestão dos resíduos de soja que alcançaram 560,47 ml aos 30 dias de retenção, tendo uma média de 63,01 ml por dia, sendo a proporção de metano no biogás de 57,14%.

Na produção de forragens, com destino a alimentação animal, ocorrem situações que podem caracterizar o desperdício do volume produzido, seja por excedente no campo ou do que é ofertado aos animais no cocho, gerando sobras que precisam ser descartadas, já que não serão consumidas pelo animal. O aproveitamento dos descartes de forragem em associação com os dejetos de suínos pode resultar em uma resposta positiva nas produções de biogás, visto que a forragem tem uma maior quantidade de carbono que aliado ao nitrogênio presente no dejetos, resulta em melhor ajuste da relação C:N Xie et al (2011), favorecendo a atuação dos microrganismos para obtenção de maior taxa de degradação, melhorando assim a produção de biogás.

Sendo assim a forragem é uma opção a ser considerada para uso em co- digestão com outro resíduo, como estudado por Wu et al (2010), que verificaram aumentos significativos na produção volumétrica de biogás utilizando resíduos agrícolas junto ao dejetos suíno, onde a produção de biogás foi de 6,6 L por dia com a inclusão de talos de milho e de 7,2 com palha de aveia, e somente o dejetos suíno não ultrapassou a produção de 2L por dia.

No entanto para que a co- digestão entre os dejetos de suínos e os resíduos vegetais possam representar uma alternativa para maximizar o processo de geração de biogás alguns fatores devem ser considerados, como a idade das plantas, já que este é um parâmetro que irá interferir na disponibilidade de carboidratos, devido ao acúmulo de componentes de parede celular, com o crescimento das forragens. Em estudo realizado por Rodriguez et al (2017), os valores de fibra em detergente neutro (FDN) do capim elefante aumentaram de 51,9 para 64,4% da matéria seca em 60 dias de crescimento forrageiro.

Para avaliar o efeito da maturação da forragem sobre as produções de biogás Chanpla et al (2018) avaliaram os rendimentos em três idades de colheita (35, 45 e 55 dias) do capim Napier, que foram: 115,7; 164,6 e 70,8 litros por Kg de SV adicionado, sendo estes valores similares (3,8 e 3,9%) nas duas idades mais jovens, e inferiores ao teor de 6,1% aos 55 dias.

A produção de biogás com o uso da silagem com utilização de cinco espécies de espécies de forrageiras com inclusão de inóculo constituído de silagem de milho e adição de 15% de dejetos suínos e 5% dejetos de aves, foram testados por Roj-Rojewski et al (2019). As gramíneas foram colhidas em três estações do ano (meados do verão, final do verão e início do outono) e estavam em diferentes fases de crescimento, desde a floração precoce até o amadurecimento das sementes. Os rendimentos de biogás das espécies analisadas tiveram uma variação de 181 a 424 L por Kg de SV adicionado, onde os maiores valores caracterizaram as plantas colhidas no meio do verão. A maior produtividade de metano foi de 203-221 L por Kg de SV. O conteúdo médio de metano no biogás após 35 dias foi semelhante em todos os substratos (48-53%), porém os máximos obtidos diferiram substancialmente entre as espécies, totalizando 50% para o junco de frutas lanosas e 72% para o capim canário.

A estação do ano em relação a colheita das forrageiras também influencia a produção de biogás, como relatado por Chiumenti et al. (2018) ao realizarem a digestão de forragens colhidas em duas diferentes estações (primavera e verão) verificaram que o rendimento de biogás foi maior para a forragem colhida na primavera sendo de 640 L por Kg de SV adicionado, comparada a forragem colhida no verão que teve uma produção de 619,1 L por Kg de SV, e o rendimento de CH₄ resultou em 340,2 L e 307,7 L por Kg de SV adicionado respectivamente.

Outro fator importante é o tamanho da partícula de forragem ao ser utilizada como substrato para a biodigestão, que pode dificultar o acesso aos microrganismos, por redução da área de contato disponível como relatado por Wall et al (2016) que investigaram a digestão da silagem de gramíneas em duas fases, com e sem adição de fluído ruminal para avaliar a produção de biogás através da demanda por eletricidade, utilizando dois tamanhos de partículas (>3cm e < 1cm), onde verificaram que a digestão da silagem de capim com a partícula menor do que 1 cm tem uma maior degradação de SV, aumentando a produção total de ácidos graxos voláteis e consequentemente a produção de biogás.

O ajuste adequado da proporção entre forragem e dejetos também é um ponto chave para eficiência do processo, pois dependendo dessa proporção a degradação do material pode ou não ser eficiente como relatado por Prapinagson et al. (2017) que testou a co-digestão de dejetos bovinos com inclusão de forragem desde a proporção 1:1 até 6:1 e o balanço de 1:1 foi o ideal por ter um maior rendimento de metano, resultando em 176,66 ml de CH₄ por g de SV adicionado.

3. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no Galpão Experimental e no Laboratório de Manejo de Resíduos Agropecuários, ambos pertencentes a Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal da Grande Dourados, localizada no município de Dourados-MS, Brasil.

Para execução do experimento foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial composto por: 2 idades de maturação das forragens (mediana e avançada) e 5 doses de inclusão da forragem (0, 25, 50, 75 e 100%) nos substratos, em substituição aos dejetos, contendo 3 repetições por tratamento (biodigestores).

Para o abastecimento dos biodigestores foram utilizados dejetos coletados de uma suinocultura comercial que desenvolve a criação de animais na fase de crescimento. Já para a coleta das forragens, utilizou-se gramíneas do gênero *Pennisetum*, cultivadas em campo agrostológico pertencente a UFGD. As forragens foram coletadas em duas idades de maturação, definidas pela disponibilidade de massa verde na área, e assim denominadas como de alta e baixa disponibilidade.

Os dejetos e forragens foram caracterizados individualmente determinando-se o potencial hidrogeniônico (pH), os teores de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), carbono (C), nitrogênio (N), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e demanda química de oxigênio (DQO) quantificados (Tabela 1).

Tabela 1. Composição química dos materiais utilizados para o processo de co-digestão anaeróbica.

	pH	ST (%)	SV (%)	N (%)	FDN (%)	FDA (%)	N (%)	DQO (g O ₂ /L)
Dejeto	6,55	22,57	84,87	4,27	30,97	20,21	4,27	902,5
Forragem média	5,31	35,39	92,36	0,87	66,17	55,55	0,87	1331
Forragem velha	5,58	45,93	92,83	0,74	67,33	57,05	0,74	1661
Inóculo		3,84	69,74	3,55	19,49	9,06	3,55	

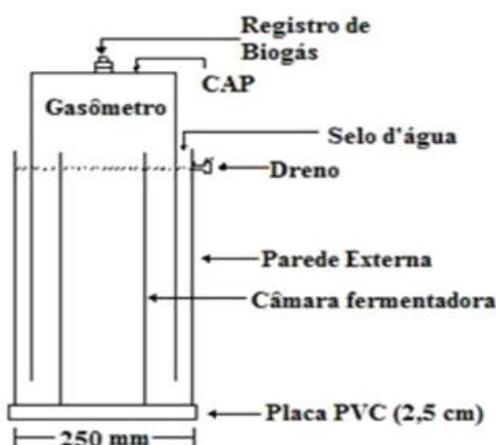
(ST) sólidos totais, (SV) sólidos voláteis, (C) Carbono, (N) Nitrogênio, (pH) Potencial hidrogeniônico.

Para a formulação dos substratos e abastecimento dos biodigestores foi adotado o teor inicial de ST igual a 3,5%, com o uso de inóculo, que representou a quantia de 10% dos ST dos substratos. Para ajuste das quantidades de cada um dos componentes

(resíduo, foragem e inóculo) foram consideradas as concentrações originais de ST, e foi utilizada água para a diluição. Os substratos foram homogeneizados utilizando-se liquidificador industrial, sendo determinados: pH, DQO, e os teores de ST, SV, C, N, FDN e FDA.

Os substratos foram colocados em recipientes com capacidade para 1,5 litros de conteúdo em fermentação, sendo utilizados 27 biodigestores modelo batelada de bancada constituído por dois cilindros de PVC, sendo um deles empregado como “selo d’água” e o outro como gasômetro, para a armazenamento do biogás, dispondo de uma válvula de descarga para a liberação do gás produzido (Figura 1). Os biodigestores foram armazenados em galpão coberto, com abrigo de incidência solar e chuvas.

Figura 1. Biodigestor modelo batelada de bancada



Durante o período experimental diariamente foram acompanhadas as produções de biogás e semanalmente foi avaliada sua composição. As mensurações das produções de biogás foram realizadas pelo deslocamento vertical dos gasômetros, sendo o volume produzido calculado com base na área do gasômetro e na altura de seu deslocamento, corrigindo-se este valor para as condições normais de temperatura e pressão. Para análise da composição do biogás foi utilizado o analisador de gases GA - 21 Plus, da Madur Electronics, equipado com sensores para determinação das quantidades de CO, CO₂ e CH₄. A análise de metano foi realizada de acordo com as produções de biogás, de modo que fosse possível acompanhar sua evolução durante o processo de digestão.

As produções específicas de biogás e metano foram calculadas considerando-se os volumes totais produzidos e as quantidades de ST, SV e DQO adicionadas. Já as reduções de ST, SV, DQO e constituintes fibrosos foram calculadas considerando-se as quantidades destes constituintes no início (afluente) e final (efluente) do processo de fermentação.

As análises de sólidos totais (ST), sólidos voláteis (SV), demanda química de oxigênio (DQO) e pH foram realizadas segundo a metodologia descrita por Apha 2012. Os conteúdos de fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) foram mensurados conforme metodologia proposta por Detmann et al. 2012.

Os resultados foram submetidos à análise de variância, considerando como fontes de variação as idades de maturação da forragem e sua inclusão, testados a 5% de probabilidade. O efeito da inclusão de forragem foi avaliado por análise de regressão, já os efeitos da idade de maturação da forragem foram comparados pelo teste de Tukey quando observada diferença significativa.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produções de biogás foram semelhantes para todos os tratamentos com inclusão de forragens com as duas idades de maturação, porém alguns apresentaram produções um pouco superiores as outras, assim como alguns começaram a produzir já na primeira semana. Com 5 semanas todos os tratamentos estavam em produção, o que indica que nesse período os microrganismos já haviam se desenvolvido e estavam degradando os constituintes mais facilmente disponíveis do material, o que continuou em alguns tratamentos e não em outros, já que a produção foi decrescendo com 7 semanas (Figura 2).

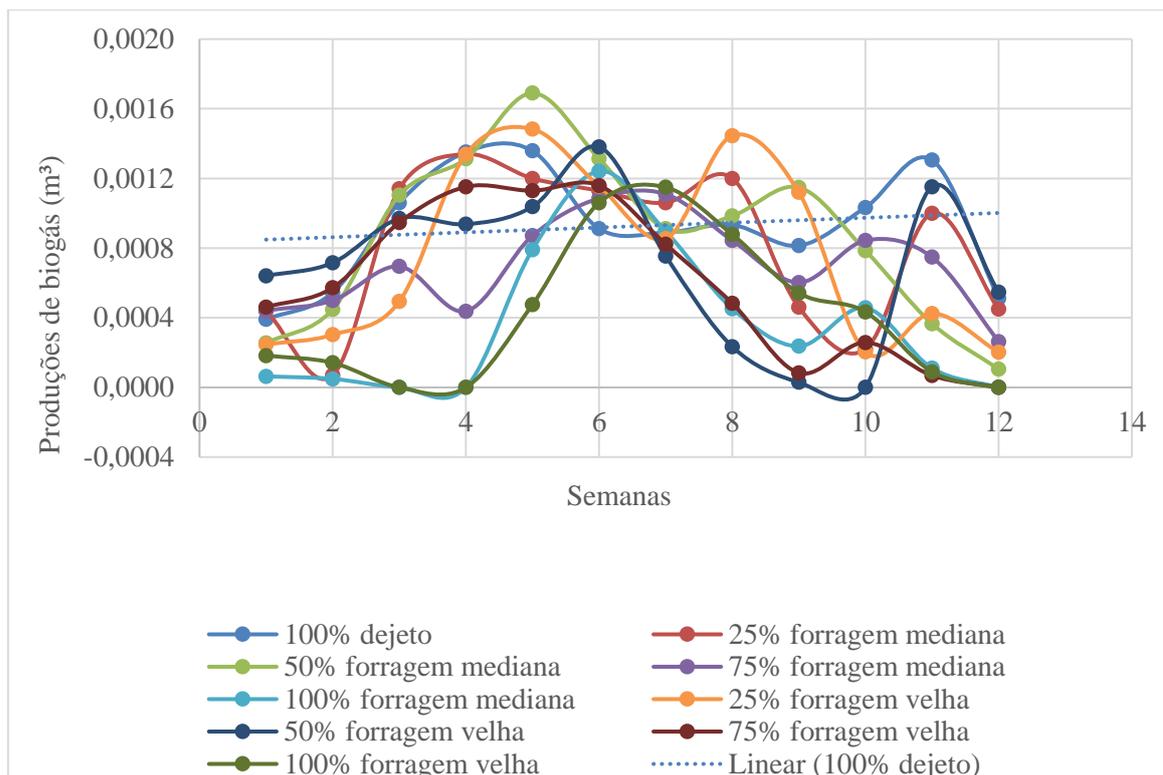


Figura 2: Produção de Biogás em m³, com inclusões de forrageiras com idades diferentes

A partir da décima semana alguns tratamentos começaram a ter um aumento na produção novamente, o que pode estar relacionado ao período em que os microrganismos levaram para acessar os constituintes de difícil degradação, porém nesse período o experimento foi encerrado, sendo necessário um maior tempo de digestão para avaliar o comportamento das produções de biogás.

A inclusão de 50% de forragem com idade mediana de maturação apresentou melhor produção em relação aos demais tratamentos, superando o tratamento controle até a décima semana, começando a produzir biogás na primeira semana de experimento, onde a produção atingiu o pico com cinco semanas e a partir disso começou a reduzir, esse comportamento pode estar relacionado a disponibilidade da matéria orgânica do material que facilitou o acesso pelos microrganismos.

A forragem com idade mais avançada de maturação, quando incluída em 25% junto ao dejetos suíno apresentou comportamento de produção semelhante a inclusão de 50% de forragem média, sendo menor nas primeiras sete semanas, porém maior na oitava semana e depois a produção foi decrescendo, mostrando assim que a inclusão de até 25% de forragem mesmo com idade mais avançada apresenta produção de biogás.

As forragens nas duas idades de maturação quando digeridas sem o dejetos suíno apresentaram produções baixas, tendo uma pequena produção a partir da quarta semana, o que diminuiu por volta de sete semanas, mostrando assim que a inclusão de forragem nessa porcentagem não é benéfica, por ter uma grande quantidade de material fibroso dificultando a atuação dos microrganismos, e com a inclusão do dejetos o desempenho da produção de biogás é melhorado.

Comparando as duas idades de maturação da forragem, (mediana e mais avançada), não houve diferença ($p>0,05$) em relação as produções de biogás por Kg de ST e Kg de SV. Nas reduções dos de ST, SV, C, N e os valores de pH tanto do material de entrada (afluente), como de saída (efluente) também não houve diferença significativa ($p>0,05$) comparando as idades das forrageiras (Tabela 2 e 3).

As diferentes doses de inclusão das forrageiras junto ao dejetos suíno também não apresentaram diferenças ($p>0,05$) nas produções de biogás e redução dos constituintes, apesar de ser observado um comportamento decrescente conforme aumentado o nível de inclusão, mostrando que a menor inclusão de forragem apresenta maiores produções e reduções.

Somente as reduções de FDN apresentaram diferenças significativas ($p<0,05$) entre as idades das plantas, onde a maior redução foi encontrada para a forragem com idade mediana (65,29%), já a forragem com idade mais avançada apresentou uma redução de (49,93%).

Tabela 2. Produções de biogás, reduções de constituintes sólidos e fibrosos e pH dos substratos preparados com dejetos de suínos e crescentes inclusões de forragem em ponto mediano e tardio de maturação

Níveis de inclusão – forragem mediana	0%	25%	50%	75%	100%	p Valor	CV (%)	Equação
	Valores médios							
Biogás (litros por kg de ST adicionado)	285,8	305,45	178,82	187,51	101,08	0,0015643	21,65	$y = -1,9495x + 309,2073$
Biogás (litros por kg de SV adicionado)	343,44	350,09	199,06	209,14	110,30	0,00066484	20,77	$y = -2,4289x + 363,8507$
Redução de ST (%)	63,02	61,24	63,29	50,56	46,84	0,038324	11,97	$y = -0,1722x + 65,5973$
Redução de SV (%)	66,1	65,08	66,35	69,74	48,22	0,057167	13,07	NS
Redução de FDN (%)	79,31	76,35	76,32	57,07	37,38	0,01543	16,55	$y = -0,3425x + 84,1633$
Redução de FDA (%)	62,4	65,38	67,11	55,82	51,11	0,44095	19,08	NS
Redução de C (%)	9,88	24,38	52,27	56,72	55,83	0,033373	46,32	$Y = 0,4970x + 14,964$
pH afluyente	6,94	7,04	7,14	7,35	7,47	$8,25 \cdot 10^{-7}$	0,71	$y = 0,0055x + 6,9147$
pH efluente	7,43	7,43	7,17	6,93	6,77	$6,33 \cdot 10^{-6}$	1,2	$y = -0,0073x + 7,5133$

Níveis de inclusão – forragem tardia	0%	25%	50%	75%	100%	p Valor	CV (%)	Equação
	Valores médios							
Biogás (litros por kg de ST adicionado)	285,8	236,3	242,24	118,44	71,44	0,0017573	19,93	$y = -2,1863x + 300,1587$
Biogás (litros por kg de SV adicionado)	343,44	274,9	277,82	134,19	78,19	$8,95 \cdot 10^{-5}$	19,28	$y = -2,6848x + 355,9473$
Redução de ST (%)	63,02	54,76	50,01	51,41	31,3	0,018043	18,06	$y = -0,2671x + 63,4553$
Redução de SV (%)	66,1	57,97	54,19	52,46	33,51	0,01533	17,2	$y = -0,2828x + 66,9860$
Redução de FDN (%)	79,31	62,88	59,32	36,91	12,6	0,0013324	27,59	$y = -0,6375x + 82,0840$
Redução de FDA (%)	62,4	57,11	66,31	53,3	56,29	0,94591	36,43	NS
Redução de C (%)	9,88	45,68	50,52	58,09	16,13	0,0017558	24,54	$y = -0,0101x^2 + 1,3666x + 12,0132$
pH afluyente	6,94	7,09	7,25	7,38	7,81	$5,22 \cdot 10^{-6}$	1,29	$y = 0,001x^2 + 0,002x + 6,9662$
pH efluente	7,43	7,5	7,37	6,97	6,87	0,0010822	2,08	$y = -0,0067x + 7,56$

NS: não significativo

A maior redução de fibra para a forragem com idade mais jovem, provavelmente está relacionada justamente as características da parede celular da planta, pois as plantas mais jovens apresentam uma menor concentração de lignina, que é o constituinte mais resistente a degradação, assim os microrganismos tem uma maior facilidade de acesso aos constituintes fibrosos mais facilmente digeríveis como no caso da hemicelulose, ocasionando em uma fermentação mais intensa em comparação a digestão das forrageiras com idade mais avançada de maturação e conseqüentemente uma maior redução dos constituintes que representam a FDN.

Em relação aos resultados não significativos de produções de biogás e reduções dos constituintes analisados comparando as idades das plantas, diversos fatores podem estar relacionado a esse comportamento, pois como relatado por alguns trabalhos como o de Vanatpornratt Sawasdee & Nipon Pisutpaisal (2014) que encontraram produções de biogás de 0,12L por g de SV adicionado para o capim Napier, sendo 53% CH₄, mostrando que as forrageiras apresentam capacidade de produção de biogás, seja esse material digerido isoladamente ou em conjunto com outros materiais, principalmente os dejetos provenientes da produção animal, o que indica que provavelmente ocorreram interferências desde o momento da colheita até todo o processamento das forrageiras no processo de co-digestão.

Dentre os fatores que podem ter impedido a boa atuação das forrageiras em co-digestão com os dejetos, está a falta de homogeneização do capim no momento da colheita, pois é necessário que todo o material coletado seja representado durante a utilização, e isso provavelmente não foi realizado de uma forma muito representativa, já que houve dificuldade em amostrar homogeneamente o material, pois as partículas de forragem se concentram em maior proporção no sobrenadante e os dejetos no sedimento.

Outro fator que pode ter interferido nesses resultados, foi o período que esses materiais permaneceram em digestão, e como foi incluído junto ao dejetos um material com maior quantidade de fibra possivelmente um tempo maior de digestão dos substratos seria necessário para que todos os componentes pudessem ter tido acesso pelos microrganismos. Huang et al. (2019), testaram a digestão do capim elefante por um período de 10 dias, e durante esse tempo a produção de biogás permaneceu alta, sendo necessário um período bem maior até o decréscimo da produção, o que indica que os constituintes orgânicos foram degradados.

O tamanho de partícula utilizado também pode ter interferido nos resultados de produção, pois para que o processo de fermentação seja eficiente, além de o meio estar propício para o desenvolvimento dos microrganismos, outro ponto chave é o acesso dos mesmos ao substrato do biodigestor, pois se a partícula estiver em um tamanho maior, a área de contato disponível será reduzida e assim a digestão torna-se lenta, tornando a processo ineficiente, já que neste trabalho realizado não houve uma definição no tamanho da partícula utilizada, foi estimado um valor médio, porém sem definir um padrão de tamanho. Sharma et al. (1988) utilizaram 5 tamanhos de partícula (0,088, 0,40, 1,0, 6,0 e 30 mm) na digestão de resíduos agrícolas e verificaram que as partículas com tamanho de 0,088 e 0,40mm produziram a máxima quantidade de biogás.

Realizar o pré-tratamento da forragem antes de iniciar o processo de digestão, como definir um tamanho de partícula que facilite a degradação do material pode ser uma solução para melhor desenvolvimento do processo, já que fatores como quantidade de lignina, acesso a celulose e consequente degradabilidade é o que define o bom funcionamento da digestão e consequentemente a eficiência de utilização do material.

As diferentes doses de inclusão das forrageiras junto ao dejetos suíno também não apresentaram diferenças nas produções de biogás e redução dos constituintes, apesar de ser observado um comportamento decrescente conforme aumentado o nível de inclusão, mostrando que

Todos esses fatores citados podem ter influenciado nos resultados desse processo de co-digestão, pois foi esperado resultados diferentes dos encontrados utilizando esses materiais em conjunto, visto que a junção dos mesmos é vantajosa por proporcionar um substrato mais equilibrado e com nutrientes disponíveis, o que deveria resultar em uma alta taxa de degradação e com isso um processo de digestão altamente eficiente, resultando em altas produções de biogás e metano.

5. CONCLUSÃO

O uso da forragem em duas idades de maturação distintas e com inclusões diferentes com o dejetos suíno, não apresentou diferença significativa para a produção de biogás, metano e redução dos constituintes sólidos. Somente as reduções de FDN foram influenciadas pelo estágio de maturação das plantas, sendo superior em substratos contendo forragens mais jovens. Sendo assim a forragem pode ser utilizada em ambos estados de maturação.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 22 ed. Washington. 1.360p, 2012.

ANDRÉ, L., ZDANEVITCH, I., PINEAU, C., LENCAUCHEZ, J., DAMIANO, A., PAUSS, A., RIBEIRO, T. Dry anaerobic co-digestion of roadside grass and cattle manure at a 60 L batch pilot scale. **Rev. Bioresource Technology**, v. 289 p 121-137, 2019.

CHANPLA, M., KULLAVANIJAYA, P., JANEJADKARN, A., CHAVALPARIT, O. Effect of Harvesting Age and Performance Evaluation on Biogasification from Napier Grass in Separated Stages. **Rev. KSCE Journal of Civil Engineering**, v. 22, p 40-45, 2018.

CHIUMENTI, A., BOSCARO, D., BORSO, F., SARTORI, L., PEZZUOLO, A. Biogas from Fresh and Summer Grass: Effect of the Harvesting Period. **Rev. Energies**, 2018.

DARWIN., CHENG, JJ., LIU, Z., GONTUPIL, J., KNOW, O-S. Anaerobic co-digestion of rice straw and digested swine manure with different total solid concentration for methane production. **Rev. International Journal of Agricultural and Biological Engineering**, v.63 p 79-90, 2014.

DETMANN, E., SOUZA, M.A., VALADARES FILHO, S.C. **Métodos para análise de alimentos**. 1. Ed. Minas Gerais: Visconde do Rio Branco 2012.

HUANG, C., XIONG, L., GUO, HJ., LI, HL., WANG, C., CHEN, XF., ZHAO, C., CHEN, XD. Anaerobic digestion of elephant grass hydrolysate: Biogas production, substrate metabolism and outlet effluent treatment. **Rev. Bioresource Technology**, v. 238, p 191-197, 2019.

ONTHONG, U., JUNTARACHAT, N. Evaluation of Biogas Production Potential from Raw and Processed Agricultural Wastes. **Rev. Energy Procedia**, v. 138, p 205-210, 2017.

ORRICO Jr, M.A.P., ORRICO, A.C.A., JUNIOR, J.L. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à base de milho e sorgo. **Rev. Eng. Agríc**, Jaboticabal, v.30, n.4, p. 600-607, 2010.

PRAPINAGSORN, W., SITTIJUNDA, S., REUNGSANG, A. Co-digestion os Napier Grass and Its Silage with Cow Dung for Methane Prduction. **Rev. Energies**, 2017.

RODRIGUEZ, C., ALASWAD, A., BENYOUNIS, K.Y., OLABI, A.G. Pretreatment techniques used in biogas production from grass. **Rev. Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 68, p 1193-1204, 2017.

ROJ-ROJEWSKI, S., WYSOCKA-CZUBASZEK, A., CZUBASZEK, R., KAMOCKI, A., BANASZZUK, P. Anaerobic digestion of wetland biomass from conservation management for biogas production. **Rev. Biomass and Bioenergy**, v.122, p 126-132, 2019.

SCHWINGEL, A.W., ORRICO, A.C.A., ORRICO Jr., M.A.P., SUNADA, N.S., CENTURION, S.R. Desempenho da co-digestão anaeróbia de dejetos suínos com inclusão de glicerina bruta. **Rev. Ciência Agronômica** 47, 778–783, 2016.

SHARMA, S.K., MISHRA, L.M., SHARMA, M.P., SAINI, J.S. Effect of Particle Size on Biogas Generation from Biomass Residues. **Rev. Biomass**, v.17, p 251-263, 1988.

SAWASDEE, V., PISUTPAISAL, N. Feasibility of Biogas Production from Napier Grass. **Rev. Energy Procedia**, v. 61, p 1229-1233, 2014.

WALL, D.M., ALLEN, E., O'SHEA, R., O'KIELY, P., MURPHY, J.D. Investigating two-phase digestion of grass silage for demand-driven biogas applications: Effect of particle size and rumem fluid addition. **Rev. Renewable Ener**, v. 86, p 1215-1223, 2015.

WU, X., YAO, W., ZHU, J. Biogas and CH₄ productivity by co-digesting swine manure with three crop residues as an external carbon source. **Rev. Bioresource Technology**, v. 101, p 4042- 4047, 2010.

XIE, S., LAWLOR, P.G., FROST, J.P., HU, Z., ZHAN, X. Effect of pig manure to grass silage ratio on methane production in batch anaerobic co-digestion of concentrated pig manure and grass silage. **Rev. Bioresource Technology**, v. 102, p 5728-5733, 2011.