



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



RENATA SANTOS COUTINHO

**INOCULAÇÃO DE BIOMASSA RUMINAL ORIUNDOS DE MATADOUROS NA
PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM USO DE PROTÓTIPOS DE BIODIGESTORES**

Chapadinha – MA

2019

INOCULAÇÃO DE BIOMASSA RUMINAL ORIUNDOS DE MATADOUROS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM USO DE PROTÓTIPOS DE BIODIGESTORES

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado a Coordenação de Engenharia Agrícola da Universidade Federal do Maranhão como requisito para obtenção do título de Engenheira Agrícola.

RENATA SANTOS COUTINHO

Orientador: Prof. Dr. Jocélio dos Santos Araújo

Chapadinha – MA

2019

Ficha gerada por meio do SIGAA/Biblioteca com dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Núcleo Integrado de Bibliotecas/UFMA

SANTOS COUTINHO, RENATA.

INOCULAÇÃO DE BIOMASSA RUMINAL ORIUNDOS DE MATADOUROS
NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM USO DE PROTÓTIPOS DE
BIODIGESTORES / RENATA SANTOS COUTINHO. - 2019.
29 f.

Orientador(a): JOCÉLIO DOS SANTOS ARAÚJO.

Monografia (Graduação) - Curso de Engenharia Agrícola,
Universidade Federal do Maranhão, UNIVERSIDADE FEDERAL DO
MARANHÃO, 2019.

1. BACTÉRIAS RUMINAIS. 2. GERAÇÃO DE ENERGIA. 3.
REAPROVEITAMENTO DE RESÍDUOS. 4. SUSTENTABILIDADE NA
AGRICULTURA. I. DOS SANTOS ARAÚJO, JOCÉLIO. II. Título.

TCC defendido e aprovado, em 19 de junho de 2019 , pela Comissão examinadora constituída pelos professores:

Banca Examinadora

Prof. Dr. Jocélio dos Santos Araújo (Orientador)
Universidade Federal do Maranhão

Prof. Dr. José Roberto Brito Freitas (Examinador)
Universidade Federal do Maranhão

Esp. Lourivaldo dos Santos Marinho Filho (Examinador)
Universidade de Araraquara

Aos meus pais, familiares, amigos e professores
que dividiram comigo este sonho, e hoje posso esta
compartilhando minha alegria.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus, expressando a minha gratidão pelo sustento físico e emocional ao longo dessa trajetória acadêmica;

À minha mãe Almerina dos Santos e Santos, por ter compartilhado comigo este sonho, e sempre me incentivando a continuar em busca dos meus objetivos;

Ao meu pai Rafael Sousa Coutinho, por ter sonhado os meus sonhos e agora estou realizando;

Aos meus irmãos Rogério Coutinho e Rafaela Coutinho, que estiveram compartilhando comigo todos os momentos durante todos esses anos;

À minha amiga de graduação Klara Cunha de Menezes e, que compartilhou os meus altos e baixos em minha vida acadêmica;

À família Menezes e a família IBA, que me acolheram nesta cidade tornando-lhes mais que amigos, meus familiares;

Ao Prof.º Jocélio Araújo, pela oportunidade de pesquisa e amadurecimento profissional que foi adquirido pelos seus ensinamentos transmitidos;

A Fundação de Pesquisa e Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão - FAPEMA, pelo apoio a bolsas de iniciação científica;

Aos meus amigos Marinho, Paula, Boni, Adson, Armando, Lindykeila, Tamires, João, Alessandro, Tatiane, Aline, Assunção, Richard, Débora, Bruna, Tiago, Lorismar, Jáckson, Ismael, Luana, Wilne, Eksamya, Elayne, Erika, Daví, Mayane, Maiara;

Aos Professores, Telmo José, Marizélia Furtado, Whashington Silva, Fabiano Simas, Daiane Fossatti, Ivan Hudson, Julianna Farias;

À secretária da Coordenação do Curso de Engenharia Agrícola Neliane Aguiar;

À Banca Examinadora, nas pessoas dos Professores Jocélio Araújo, José Roberto, e Lourdivaldo Marinho, pelas suas disponibilidades em acompanhar e avaliar o meu trabalho;

À Universidade Federal do Maranhão, por ter me concedido a realização desse grande sonho em obter o título de Engenheiro Agrícola;

À todos que contribuíram de forma direta e indiretamente, o meu muito obrigado e os meus sinceros agradecimentos.

Não são as espécies mais fortes que sobrevivem, nem as mais inteligentes, e sim as mais suscetíveis a mudanças

Charles Darwin

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Representação percentual da produção de energia primaria no Brasil entre 2012 e 2017.....	14
Tabela 2 – Oferta interna de energia no país entre 2012 e 2017.....	15
Tabela 3 – Porcentagem dis gases presentes no biogás.....	19
Tabela 4 – Capacidade de geração de biogás em dejetos animais e resíduos vegetais.....	19
Tabela 5 – Valores médios da produção de biogás e pressão.....	21

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

CH₄ – Metano

CO₂ – Dióxido de Carbono

GLP – Gás Liquefeito de Petróleo

H₂ – Gás Hidrogênio

MME – Ministério de Minas e Energia

PEAD - Polietileno de Alta Densidade

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	12
2	REVISÃO DE LITERATURA	14
2.1	Matriz Energética Brasileira	14
2.2	Potencial Energético da Biomassa	15
2.3	Bovinocultura no Brasil e seus Impactos Ambientais	16
2.4	A Biodigestão Anaeróbia e Sistema de Abastecimento em Modelo Batelada	17
2.5	Fases da Digestão Anaeróbia	17
2.6	Biogás.....	19
3	METODOLOGIA	20
3.1	Caracterização e Localização da área da Pesquisa	20
3.2	Material Utilizado para Fabricação do Protótipo do Biodigestor	20
3.3	Preparação do Efluentes e Biomassa	20
3.4	Tratamentos Experimentais	21
3.5	Medidas e Coleta de Dados	21
3.6	Análise Estatística.....	21
4	RESULTADO E DISCUSSÃO	21
5	CONCLUSÕES.....	23
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar os efeitos dos níveis de inoculação da biomassa ruminal de abatedouros na produção de biogás, utilizando biodigestores anaeróbios. Foram utilizados 16 biodigestores experimentais tipo batelada (protótipos), feitos de tambores de polietileno de alta densidade e alto peso molecular, acoplados a válvula de gás. O esterco bovino foi utilizado como substrato orgânico, e os tratamentos experimentais consistiram de níveis de inoculação da biomassa ruminal (0, 5, 10 e 15%), sob as variáveis, produção e pressão de biogás. A análise de variância foi realizada e os dados quantitativos foram submetidos à regressão polinomial. O tempo de retenção hidráulica da biomassa foi de 15 dias. Onde maior produção de biogás foi obtida no tratamento sem o uso do inóculo da biomassa ruminal, ao analisar a pressão do biogás, observou-se que não houve efeito significativo entre os tratamentos. A inoculação de biomassa ruminal de matadouros não favoreceu o aumento da produção de biogás.

Palavras-chaves: Bactérias ruminais, Geração de energia, Reaproveitamento de resíduos, Sustentabilidade na agricultura.

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the effects of inoculation levels of ruminal biomass from slaughterhouses on biogas production, using anaerobic biodigesters. We used 16 experimental batch-type biodigesters (prototypes), made of polyethylene drums of high density and high molecular weight, coupled with gas valve. Cattle manure was used as organic substrate, and experimental treatments consisted of inoculation levels of cattle rumen biomass (0, 5, 10 and 15%), under the variables, biogas production and pressure. Analysis of variance was performed, and the quantitative data were submitted to polynomial regression. The hydraulic retention time of the biomass was 15 days. Greater biogas production was obtained in the treatment without the use of ruminal biomass inoculum, and when analyzing the biogas pressure, it was observed that there was no significant effect among the treatments. Inoculation of ruminal biomass from slaughterhouses did not favor an increase in biogas production.

Keywords: Ruminal bacteria, Generation of energy, Reuse of waste, Sustainability in agriculture.

1 INTRODUÇÃO

Os seres humanos até cerca de 250 anos, precisavam quase que inteiramente das fontes naturais de energia, os animais puxavam os arados e moinhos de vento trituravam os grãos. No momento atual, a força humana contribui com menos de 1% do trabalho em países desenvolvidos, as atividades de produção de bens e serviços dependem cada vez mais do uso de recursos não renováveis como petróleo, gás natural e carvão mineral (WALISIEWICZ, 2008).

Com o crescimento da utilização de combustíveis fósseis, visto desde o início da era industrial, já causou um aumento em torno de 30% da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera, trazendo consigo diversas consequências entre elas, o risco da falta de energia. Em decorrência do aquecimento global, tem sido crescente a necessidade de desenvolvimento de tecnologias que visem atenuar os impactos negativos sobre o planeta, fazendo uso racional dos recursos naturais, e minimizar o uso de combustíveis fósseis. O que pode ser alcançado com o uso de energias alternativas, aumentar o uso de fonte de energia limpa, evitar queimadas e desmatamento, além de gestão de resíduos oriundos das mais diversas atividades econômicas (HINRICHS et al., 2008).

No Brasil a utilização de energias alternativas contribui na redução das emissões de gases do efeito estufa e na minimização dos impactos socioambientais negativos, associados a poluição do solo, ar e dos recursos hídricos em comparação ao uso de combustíveis fósseis (TOLMASQUIM, 2003).

Segundo dados do (PROINFA, 2012) as fontes alternativas de energia terão participação cada vez maior e mais importante na matriz energética global das próximas décadas. A preocupação ambiental e a unanimidade mundial sobre o desenvolvimento sustentável vêm estimulando pesquisas que visem o desenvolvimento tecnológico que apareça a incorporação dos efeitos da aprendizagem e a consequente redução dos custos de geração dessas tecnologias.

Nesse sentido, o desenvolvimento e a implementação de alternativas tecnológicas com visão à geração de energia a custos reduzidos para esse segmento podem gerar impactos socioeconômicos positivos. Uma opção promissora diz respeito ao aproveitamento da biomassa para geração de energia, que propicia uso mais racional dos recursos disponíveis.

A biomassa é considerada uma bioenergia rica em carbono e é representada de toda e qualquer matéria orgânica de origem animal e vegetal. Existem diferentes processos de transformação da biomassa em energia, entre elas a combustão, extração, transesterificação,

fermentação e biodigestão, entre outros (DEUBLEIN; STEINHAUSER, 2008; BARRERA, 1993).

A biomassa ruminal oriunda do abate de bovinos, caprinos e ovinos, contém diversos microrganismos (principalmente bactérias), que são capazes de degradarem nutrientes que resultarão ao final dos seus processos metabólicos na produção de metano, que por sua vez, tem sido apontado como principal gás do efeito estufa, todavia, também é uma excelente fonte alternativa de produção de energia, atenuando assim seus efeitos negativos no ambiente (PRIMAVESI et al., 2004; ORRICO JUNIOR et al., 2011).

Alternativas de produção de energia através de processos anaeróbicos tem sido incentivado, principalmente nas regiões rurais que produzem grande quantidade de dejetos resultantes da criação de galinhas, bovinos, suínos, ovinos, caprinos, coelhos, bem como os resíduos oriundos dos abates e processamentos destes, os quais podem ser aproveitados para produção de energia e de biofertilizantes para a lavoura, nesse contexto, surge o biogás como uma dessas alternativas.

TEIXEIRA (2005), o biogás é uma fonte renovável de energia, por ser um produto da decomposição natural de qualquer substância orgânica, como dejetos de animais, resíduos vegetais e também de lixo residencial e industrial. Sua composição é a porcentagem de gases, que varia de acordo com o substrato a ser biodigerido, condições de funcionamento da biodigestão, e o tipo de biodigestor a ser utilizado, entre outros fatores (MENDONÇA, 2009; SALOMON, 2007).

Como o Brasil é o maior exportador de carne bovina no mundo, a quantidade de resíduos produzidos por essa atividade também é elevada, não obstante, também os pequenos abatedouros públicos encontrados nos diversos municípios maranhenses geram uma série de resíduos sem que haja a preocupação e/ou políticas públicas para o correto descarte e aproveitamento desses dejetos, ocasionando assim, impactos socioambientais e econômicos a atividade. Há de ressaltar, que os materiais diretos e/ou indiretos (gordura, água, esterco, biomassa ruminal...) todos são passíveis de tratamento biológico através da compostagem e uso anaeróbico em biodigestores.

Segundo XAVIER & LUCAS JÚNIOR (2010), os biodigestores operados em batelada são de construção mais simples em relação aos outros modelos existentes, porém faz-se necessária a análise preliminar na criação de sistemas de biodigestores visando à construção de instalações mais econômicas com garantia de recuperação do investimento de forma rápida.

Com base no exposto, objetivou-se avaliar os efeitos dos níveis de inoculação da biomassa ruminal de abatedouros na produção de biogás utilizando digestores anaeróbios experimentais.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matriz Energética Brasileira

Segundo (PROINFA, 2017), o Brasil ocupa posição destacada na produção em função das fontes renováveis existente em sua matriz energética primária.

Conforme o Ministério de Minas Energia (MME) (Brasil, 2018), em termos de utilização de fontes para produção de energia primária no país, 40,5% são fontes renováveis (TABELA 1). É considerado energia primária os recursos providos pela natureza na sua forma direta, como petróleo, gás natural, carvão mineral, energia hidráulica, lenha, produtos da cana de açúcar (melaço, caldo de cana, bagaço e palha), e outras fontes primárias, como resíduo vegetais e animais, resíduos industriais, resíduos urbanos, energia solar e eólica.

Tabela 1 - Representação do percentual da produção de energia primária no Brasil entre 2012 e 2017.

Fontes	2012	2013	2014	2015	2016	2017
NÃO RENOVÁVEL	54,7	54,2	56,5	57,9	58,5	59,5
PETRÓLEO	41,7	40,6	42,8	44,1	44,2	45
GÁS NATURAL	10	10,8	11,6	12,2	12,8	13,2
CARVÃO VAPOR	1	1,3	1,1	0,9	0,9	0,6
RENOVÁVEL	45,3	45,8	43,5	42,1	41,5	40,5
ENERGIA HIDRÁULICA	13,9	13	11,8	10,8	11,1	10,6
LENHA	10	9,5	9,1	8,7	7,8	7,8
PRODUTOS DA CANA-DE-AÇÚCAR	17,6	19,1	18,1	17,6	17,2	16,5
OUTRAS RENOVÁVEIS	3,7	3,9	4,2	4,3	4,3	4,5

Fonte: Balanço Energético Nacional (Brasil, 2018 ano base 2017, p.24)

A Oferta de Interna de Energia (OIE), também denomina de matriz enérgica, representa toda energia disponibilizada para ser transformada, distribuída e consumida nos processos produtivos do país (BRASIL, 2007; PROINFA, 2012). Segundo os dados do Balanço Energético Nacional (BRASIL, 2018), 42,9% provem da matriz energética de fonte renovável, sendo os derivados da cana os maiores contribuintes, com 17% de participação (TABELA 2).

Tabela 2 - Oferta interna de energia no país entre 2012 e 2017

Fontes	2012	2013	2014	2015	2016	2017
ENERGIA NÃO RENOVÁVEL	58,2	59,6	60,6	58,7	56,5	57,1
Petróleo e derivados	39,3	39,3	39,4	37,3	36,5	36,4
Gás natural	11,5	12,8	13,5	13,7	12,3	13
Carvão mineral e derivados	5,4	5,6	5,7	5,9	5,5	5,7
ENERGIA RENOVÁVEL	41,8	40,4	39,4	41,3	43,5	42,9
Hidráulica e eletricidade	13,8	12,5	11,5	11,3	12,6	12
Lenha e carvão mineral	9,1	8,3	8,2	8,3	8	8
Derivados cana-de-açúcar	15,4	16,1	15,8	16,9	17,5	17
Outras renováveis	3,3	3,4	3,7	4,1	4,4	4,6

Fonte: Balanço Energético Nacional (Brasil, 2018 ano base 2017, p.25)

Segundo Lopez et al. (2010), o Brasil vem se ajustando como uma potência na produção de energia limpa, pois com o passar do tempo vem existindo a necessidade da modernização e do investindo em pesquisas, tecnologias e avanço em políticas públicas, no que se refere a diversificação de fontes energéticas; atração de investidores, fabricantes de equipamentos e projetistas de tecnologias, visando à maximização da eficiência energética tanto no espaço rural quanto urbano.

2.2 Potencial Energético da Biomassa

Biomassa, destinada ao aproveitamento energético, é uma fonte primária de energia, não fóssil, que consiste em matéria orgânica de origem animal ou vegetal. A biomassa contém energia armazenada sob a forma de energia química. Em relação a sua origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas nas categorias de biomassa energética florestal, seu produtos e subprodutos ou resíduos; biomassa energética da agropecuária, as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal; e rejeitos urbanos (MINISTERIO DE MINAS E ENERGIA, 2018).

Por ser uma das fontes de energia com maior potencial de crescimento futuramente, tanto no mercado nacional como no mercado internacional. É considerada uma das principais alternativas para a mudança na matriz energética, trazendo como consequência a diminuição na dependência nos combustíveis fósseis. A partir da biomassa pode se ter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, da qual o consumo é crescente substituindo os derivados de petróleo (ANEEL, 2008).

Por ser um recurso renovável, colabora na redução de combustíveis fósseis, facilmente encontrado, além de ter uma produção de forma cíclica e contínua pelos seres vivos, pelo

sistema urbano e industrial, sendo uma fonte praticamente inesgotável e com benefícios notáveis que tem um maior potencial de crescimento nos últimos anos. Dentre os recursos disponíveis gerados no setor agropecuário, também podem ser conhecidos como biomassa, manejados de forma inadequada contribuem para degradação do meio ambiente, sendo fonte de contaminação (MIRANDA et al., 2006).

O uso da biomassa é uma alternativa viável para geração de energia, devido as condições geográficas e naturais do Brasil, quando comparado a outros países. Pois, no Brasil há uma grande quantidade de terra agricultável com características adequadas de solo, condições climáticas, possibilidade de manejar várias culturas anualmente e também a radiação solar que o país recebe durante todo o ano (BRASIL, 2007).

2.3 Bovinocultura no Brasil e seus Impactos Ambientais

De acordo com os dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento em 2017 o Brasil possuía mais de 219 milhões de cabeças de bovinos. Se tornando o segundo maior rebanho bovino do mundo (MAPA, 2017), sendo esta uma atividade de grande importância no PIB nacional.

Por muito tempo a bovinocultura no Brasil foi considerada uma atividade que trazia poucos prejuízos ambientais, pelo sistema de criação adotado, onde grandes áreas eram utilizadas para produção de pequenos rebanhos. Desta forma havia uma deposição uniforme dos resíduos e em quantidades que o meio ambiente tinha condições de absorver sem causar grandes problemas ao meio ambiente. Porém, com o aumento crescente da produção de bovinos a disponibilidade de área não acompanhou o crescimento dessa atividade, desta forma a terminação de animais em confinamentos começou a ganhar força no Brasil, tornando o Brasil o segundo maior confinador do mundo. (ASSOCON, 2008)

A criação intensiva de bovinos destinados ao abate, tem contribuídos para o surgimento de sérios problemas ambientais, devido à grande quantidade de resíduos e falta de pavimentação dos confinamentos, que dificulta a coleta e acentua os problemas de escoamento superficial e lixiviação (RIBEIRO et al., 2007). Estes fatores aliados à falta de espaço físico para a disposição dos resíduos levam ao aumento crescente das emissões de gases de efeito estufa, eutrofização de fontes de água e poluição do solo, principalmente pelo acúmulo de nitrogênio e fósforo (GÜNGÖR - DEMIRCI & DEMIRER, 2004; ANGONESE et al., 2006; DEMIRER & CHEN, 2005).

2.4 A Biodigestão Anaeróbia e Sistema de Abastecimento em Modelo Batelada

A biodigestão é procedimento de tratamento biológico dos resíduos orgânicos, podendo ser definida como uma complexa relação de microrganismos que degradam os diversos componentes orgânicos presentes no resíduo até a forma final de metano e dióxido de carbono (CÔTÉ et al., 2006). Como todo processo biológico, a biodigestão anaeróbia precisa de diversos fatores para que possa ocorrer, entre eles, temperatura, pH, o uso de inóculo, os teores de sólidos totais e a composição do material (MASSÉ et al., 2008; SOUZA et al., 2005).

Segundo ALVAREZ & LIDÉN (2008) os nutrientes presentes nos dejetos permitem a sobrevivência e reprodução dos microrganismos presentes durante a biodigestão anaeróbia, assegurando que ocorra a degradação da fração orgânica não estável e, portanto, poluente, até a forma estável, o biofertilizante, além de produzir o biogás.

Uma maneira de possibilitar os sistemas de degradação anaeróbia, agregando valor aos subprodutos e reduzindo a emissão de odores é a implementação dos biodigestores (HIGARASHI, 2003). Existem dois tipos principais de biodigestores quanto a sua alimentação: o de batelada (não precisa ser abastecido com substrato diariamente) e o contínuo (abastecimento diário) (PERDOMO, et al., 2003).

O biodigestor modelo batelada caracterizam-se por ser alimentado uma única vez, e por sua construção ser mais simples. Segundo ORTOLANI et al.; (1991) os biodigestores em batelada se diferem dos outros modelos pelos seguintes aspectos:

- São abastecidos em uma só vez e esvaziados após um período conveniente de fermentação;
- Apresentam produção de biogás na forma de pico;
- Não possuem caixa de entrada nem de saída;
- Não necessitam ter parede divisória.

2.5 Fases da Digestão Anaeróbia

O processo da digestão anaeróbia tem como resultado a produção de metano e pode ser dividida em três fases, hidrólise, acidogênese e metanogênese (FIGURA 1).

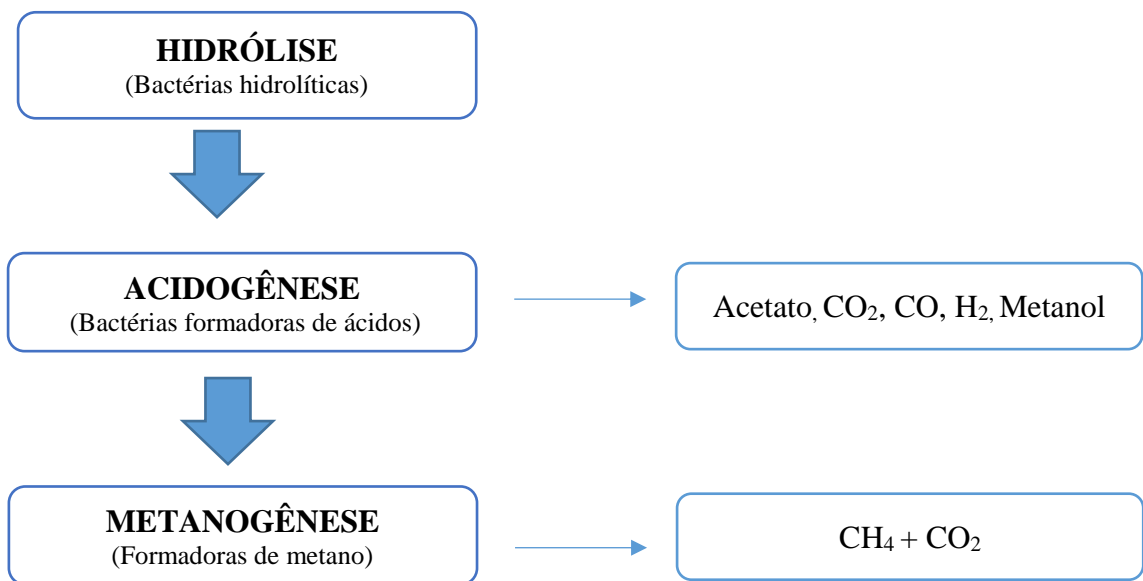


FIGURA 1- Fases da digestão anaeróbia

Fonte: Adaptado de GERARDI (2003, p. 52).

1º- **HIDROLISE** (bactérias hidrolíticas), a primeira fase, conhecida como hidrolise onde compostos complexos insolúveis como hidratos de carbono, proteínas, e gorduras sofrem hidrolise ou seja a divisão do (lise) de um composto com a água (hidro). Estes compostos são substancias insolúveis, compostas por muitas moléculas pequenas e unidas por ligações químicas. As moléculas menores são solúveis e rapidamente são quebradas (polissacarídeos) em ácidos orgânicos (ácido láctico e ácido butílico), alcoois, H₂ e CO₂; estas mesmas bactérias realizam ainda a fermentação de proteínas e lipídeos. (GERARDI, 2003.)

2º-**ACIDOGÊNESE** (bactérias ácidogênicas), na segunda fase as bactérias que produzem os ácidos transformam as moléculas de proteínas, gorduras e carboidratos em moléculas de ácidos orgânicos, etanol, amônia, hidrogênio, dióxido de carbono, dentre outros compostos (NETO et al., 2010).

3º **METANOGÊNESE** (bactérias metanogênicas), na terceira e última fase do processo as bactérias denominadas metanogênicas atuam sobre o hidrogênio e o dióxido de carbono e os transforma em metano (biogás). Esta é a parte mais lenta do processo, pois com o decorrer das reações químicas ocorre a formação de microbolhas de metano e dióxido de carbono em torno das bactérias metanogênicas, isolando-a de um contato direto com a mistura. Por este motivo, faz-se necessário uma agitação no biodigestor, para que essas microbolhas possam estourar. (NETO et al., 2010).

2.6 Biogás

Segundo FARIA (2012), o biogás pode ser definido como um produto oriundo a partir da decomposição anaeróbia de resíduos orgânicos. É uma mistura gasosa composta principalmente, de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4), apresenta uma baixa densidade se tornando mais leve que o ar. Além de CO_2 e CH_4 , contem traços de outros gases (Tabela 3) o poder calorífico do biogás é proporcional à porcentagem deste gás (metano) na mistura (NETO et al., 2010).

Tabela 3 – Porcentagem dos gases presente no biogás.

Elemento	%
Metano (CH_4)	50 a 75
Dióxido de Carbono (CO_2)	25 a 40
Hidrogênio (H_2)	1 a 3
Azoto (N_2)	0.5 a 2.5
Oxigênio (O_2)	0.1 a 1
Sulfureto de Hidrogênio (H_2S)	0.1 a 0.5
Amoníaco (NH_3)	0.1 a 0.5
Monóxido de Carbono (CO)	0 a 0.1

Fonte: (MARTIN, 2004).

Os resíduos rurais tem um grande potencial como matéria prima para produção de biogás, podendo ser misturados com outros tipos de substratos provenientes de outros setores (LANTZ et al., 2006).

Os valores médios de produção de biogás por quilo de material fermentado, somente os materiais de maior disponibilidade no meio rural (Tabela 4).

Tabela 4 - Capacidade de geração de biogás em dejetos animais e resíduos vegetais.

Material	Produção de Gás (litros/kg)
Esterco de bovinos	36
Esterco de suínos	52
Esterco de equinos	100
Esterco de aves	240
Resíduos vegetais	25

Fonte: (CETEC, 1981).

O tratamento dos dejetos animais necessita de um sistema eficiente e que seja economicamente viável. O principal sistema utilizado é a biodigestão anaeróbia pois promove o tratamento e a reciclagem dos dejetos, pois o metano oriundo desse processo pode ser utilizado como fonte de energia, desta forma, agregar valor as atividades com a produção do biogás (ORRICO; LUCAS JÚNIOR; ORRICO JÚNIOR, 2007; LUCAS JÚNIOR, 1994).

A produção do biogás gerado nos biodigestores pode apresentar melhores resultados na produção, com a adição do inoculo. O inoculo é a parte do material que já passou por todo o processo, sendo eficiente e capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos, específicos da biodigestão anaeróbia (XAVIER; LUCAS JÚNIOR, 2010).

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização e Localização da área da Pesquisa

O experimento foi realizado no Centro de Ciências Agrárias e Ambientais, da Universidade Federal do Maranhão (CCAA/UFMA), em chapadinha, Maranhão.

3.2 Material Utilizado para Fabricação do Protótipo do Biodigestor

Foram utilizados 16 biodigestores experimentais de batelada (protótipos), confeccionados de tambor de polietileno de alta densidade e alto peso molecular, de cor azul, com capacidade de 50 litros, acoplados com válvula de gás de P13^{1/2}”, que foi produzido de forma experimental em baixa escala

3.3 Preparação do Efluentes e Biomassa

O esterco bovino foi utilizado como substrato orgânico, previamente diluído em água, na proporção de 1:1, sendo a mistura homogeneizada em caixa d'água de polietileno e a mistura mantida em repouso por 12 horas. Após esse período, os protótipos dos biodigestores foram abastecidos em batelada, ou seja, acondicionou-se o substrato (mistura de água e esterco bovino) e o inoculante (biomassa ruminal), denominado como efluente, no biodigestor no início do experimento e preenchidos até 80% da capacidade total de armazenamento.

A biomassa ruminal que constituíram os tratamentos experimentais, foram obtidos de animais abatidos, sob inspeção veterinária, onde coletou-se todo o inóculo microbiano ruminal de um único animal, sendo armazenado e utilizado após transcorrido 14 horas do abate.

3.4 Tratamentos Experimentais

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, e os tratamentos experimentais consistiram em níveis de inoculação de biomassa ruminal de bovinos, composto de quatro tratamentos com quatro repetições, perfazendo 16 unidades experimentais, sendo:

T1 - 0,0% de biomassa ruminal;

T2 - 5% de biomassa ruminal;

T3 - 10% de biomassa ruminal e

T4 - 15% de biomassa ruminal.

3.5 Medidas e Coleta de Dados

A pressão do biogás, foi obtida através de um manômetro digital, e a quantidade de biogás produzida por tratamento, foi obtida através do gasômetro GLP / GNV - LAO G 0,6, sendo ambas leituras obtidas sempre no intervalo de 48 horas.

3.6 Análise Estatística

Os dados foram submetidos à análise de variância com significância de 5% de probabilidade pelo teste de F e quando significativo para os dados quantitativos estes foram desdobrados em parâmetros de regressão polinomial. Todos os testes estatísticos propostos foram realizados com auxílio do software estatístico SISVAR versão 5.6 (FERREIRA, 2011).

4 RESULTADO E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos para as variáveis em funções dos tratamentos são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Valores médios da produção de biogás e pressão.

Variáveis	TRATAMENTOS						
	0	5	10	15	Media	Cv(%)	Pr>F
Produção(m ³)	0.0100a	0.0015b	0.0010b	0.0008b	0.0038	114.34	0.015
Pressão(bar)	0.395 ^{ns}	0.162 ^{ns}	0.122 ^{ns}	0.107 ^{ns}	0.196	147.80	0.493

Médias seguidas de letras diferentes nas linhas, diferem estatisticamente entre si pelo teste F.

ns = não significativo.

Houve efeito significativo dos tratamentos para variável de produção de gás, onde as maiores médias foram obtidas no tratamento que não houve inoculação de biomassa ruminal.

Esses resultados provavelmente tenham ocorrido em decorrência do tempo transcorrido da coleta do material ruminal do abatedouro, armazenamento e sua inoculação no protótipo de biodigestor, transcorrendo, aproximadamente 14 horas, o que pode ter ocasionado maior exposição da biomassa ao oxigênio, e morte do inóculo microbiano ruminal, principalmente as bactérias metanogênicas, responsável pela produção de gás metano.

Segundo LOPES et al. (2004), os primeiros dias de incubação das bactérias anaeróbias de substratos sem inóculo, apresentam uma fase lenta (fase lag), determinada por um período necessário de adaptação e multiplicação de cargas microbianas, posteriormente apresentará rápida decomposição e maior crescimento microbiano.

Esses resultados, assemelham-se aos obtidos por SOARES et al. (2018), que ao estudar níveis de inclusão de substratos compostos por 0; 20 e 40% de inóculo, observaram à medida que aumentava a proporção de inoculo, ocorria um decréscimo na produção de biogás. Segundo os autores supracitados o comportamento da baixa produção de biogás apresentado ao tratamento sem inóculo pode estar relacionado ao maior tempo que esses microrganismo necessitam para se adaptar ao meio. Entretanto, assim que a adaptação ocorreu, houve um crescimento da produção para o tratamento sem inóculo, apresentando resultado superior em produção final de biogás comparado aos demais tratamentos.

ALVES et al. (2012) observaram que a biodigestão de torta de mamona com adição de dejetos de animais, diminuiu a produção de biogás, devido à falta de controle da temperatura, assim como no presente experimento, não ocorreu o monitoramento da temperatura, o que também pode ter afetado a produção de biogás da pesquisa, ou seja, as prováveis oscilações de temperaturas podem ter comprometido a atividade das bactérias mesófilas, ocasionando na redução da produção de biogás. TIETZ et al. (2014) ao estudarem a influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite, reportaram que a produção do biogás foi influenciada pela inconstância da temperatura.

De acordo com os dados obtidos, constata-se que não houve efeito significativo da inoculação da biomassa ruminal na pressão do gás, portanto, qualquer um dos níveis utilizados não alterara a pressão do gás metano. Possivelmente, houve obstrução da tubulação pelo efluente utilizado, onde provocou o entupimento das tubulações da passagem do biogás. O biogás produzido em biodigestores na maioria das vezes é de baixa pressão em um gasômetro e empregado para combustão em serviços de geração de calor (SILVA et al., 2005). Atualmente, na maioria dos biodigestores em operação, o biogás é retirado apenas com peças adaptadas a partir de equipamentos dimensionados para o uso de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), podendo ocasionar entupimento dessas peças. Para AMESTOY E FERREYRA (1987), essas

limitações de equipamentos, traz a necessidade de adaptação aos equipamentos de uso do GLP para a retirada do biogás. Todavia, deve-se levar em consideração alguns fatores no dimensionamento como: menor poder calorífico do biogás, baixa pressão de serviços dos biodigestores e baixa velocidade de combustão, responsáveis pelo efeito de sopro da chama, onde se destaca a queima do biogás.

5 CONCLUSÕES

A inoculação de biomassa ruminal não favoreceu o aumento da produção de biogás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ, R.; LIDÉN, G. **Semi-continuous co-digestion of solid slaughterhouse waste, manure, and fruit and vegetable waste.** Renewable Energy, Brighton, v.33, n.2, p.726-734, 2008.

ALVES, E. E. N.; SOUZA, C. F.; INOUE, K. R. A., 2012. **Produção de biogás e biofertilizante a partir da biodigestão da torta de mamona com adição dejetos de animais,** Engenharia na Agricultura, vol. 20, n.6, pp. 493-500.

AMESTOY, E.A.; FERREYRA, R.D. Utilização del biogas. In: **Seminário Internacional De Biodigestion Anaerobia**, 1987, Montevideo. Anais... Montevideo: Comisión de Agroenergia, FAO, 1987. 63 p.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de Energia Elétrica no Brasil.** 3. ed. Brasília, 2008.

ANGONESE, A.R.; CAMPOS, A.T.; CUNHA, F.; MATSUO, M.S.; ZACARIM, C.E. **Eficiência energética de sistema de produção de suínos com tratamento dos resíduos em biodigestor.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola Ambiental, Campina Grande, v.10, n.3, p.745-750, 2006.

ASSOCON. **ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS CONFINADORES.** Disponível em: <<http://www.assocon.com.br/not%2046%202.htm>>. Acesso em: 11 dez. 2008.

BARRERA, P. **Biodigestores: Energia, fertilidade e saneamento para a zona rural.** 2. ed. São Paulo: Ícone, 1993.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco Energético Nacional 2012:** Ano base 2011. Rio de Janeiro: EPE, 2012.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Matriz Energética Nacional 2030.** Brasília: MME: EPE, 2007.

CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. **Manual para Construção e Operação de Biodigestores.** 1981

CÔTE, C.; MASSE, D.I.; QUESSY, S. **Reduction of indicator and pathogenic microorganisms by psychrophilic anaerobic digestion in swine slurries.** *Bioresource Technology*, v.97, n.1, p.686-691, 2006.

DE PESQUISA ENERGÉTICA, Empresa. Ministério de Minas e Energia. **Balço Energético Nacional (Brazilian Energy Balance)**, 2018.

DEMIRER, G.N.; CHEN, S. **Two-phase anaerobic digestion of unscreened dairy manure.** *Process Biochemistry*, Shanghai, v.40, n.4, p.3.542-3.549, 2005.

DEUBLEIN, D.; STEINHAUSER, A. **Biogas from Waste and Renewable Resources.** Ed. Wiley-VCH, 2008.

DO BRASIL, Federativa; BRASÍLIA, D. F. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Secretaria de Defesa Agropecuária**, 2017.

FARIA, R.A.P. **Avaliação do potencial de geração de biogás e de produção de energia a partir da remoção da carga orgânica de uma estação de tratamento de esgoto – estudo de caso.** 2012. 63p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2012.

FERREIRA, DF. 2011. **Sisvar: a computer statistical analysis system.** *Ciência e agrotecnologia*, 35:1039-1042.

GERARDI, M. H. **The Microbiology of Anaerobic Digesters.** Nova Jersey: Wiley Interscience, 2003.

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.** *Bioresource Technology*, Oxford, v.93, n.2, p.109-117, 2004.

HIGARASHI, M. M. **Sistemas de tratamentos de dejetos suínos.** In: *Revista Porkworld*. Ano 2, n. 13, p. 74 – 76, maio/junho, 2003.

HIGARASHI, M. M. **Sistemas de tratamentos de dejetos suínos.** In: *Revista Porkworld*. Ano 2, n. 13, p. 74 – 76, maio/junho, 2003.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M.; VICHI, F. M. **Energia e Meio Ambiente**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

LANTZ, M.; SVENSSON, M.; BJÖRNSSON, L.; BÖRJESSON, P. **The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden: Incentives, barriers and potentials**. Energy Policy, 35, p. 1830-1843, 2006.

LOPES, W. S; LEITE, V. D; PRASAD, S., 2004. **Influence of inoculum on performance of anaerobic reactors for treating municipal solid waste**, Bioresource Technology, vol. 94, n. 3, pp. 261-266.

LOPEZ, A.; ATTUY, G.; PALUDETTO, H. **Energia Renovável Avança na Matriz**. Análise Energia. São Paulo: Editora Análise Editorial, 3º ed., 2010. p.15-26.

LUCAS JÚNIOR, J. **Algumas considerações sobre o uso do estrume de suínos como substrato para três sistemas de biodigestores anaeróbios**. Tese (Livre-Docência). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 1994.

MAPA, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Projeções do Agronegócio 2015/2016 a 2025/2026**. Brasília, DF: MAPA, 2017.

MARTIN, Osvaldo Stella. **Aproveitamento da Biomassa para a Geração de Energia Elétrica**. 1º Seminário sobre a Utilização de Energias Renováveis para Eletrificação Rural do Norte e Nordeste do Brasil, Centro Nacional de Referência em Biomassa – CENBIO, 2004

MASSÉ, D.I.; MASSE, L.; HINCE, J.F. et al. **Psychrophilic anaerobic digestion biotechnology for swine mortality disposal**. Bioresource Technology, v.99, n.3, p.7307-7311, 2008.

MENDONÇA, E.F. **Tratamento anaeróbio de efluentes oriundos da bovinocultura de leite em biodigestor tubular**. 2009. 62p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Cascavel, 2009.

MIRANDA, ADÉLIA PEREIRA; AMARAL, L. A.; LUCAS JR, J. **Influência da temperatura na biodigestão anaeróbia de dejetos de bovinos e suínos**. X Encontro Latino

Americano de Iniciação Científica e VI Encontro Latino Americano de Pós-Graduação– Universidade do Vale do Paraíba, p. 2928-2931, 2006.

NETO, Ely Dias Duarte et al. **Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua.** e-xacta, v. 3, n. 2, 2010.

NETO, ELY DIAS DUARTE et al. **Implementação e avaliação de um biodigestor de produção descontínua.** e-xacta, v. 3, n. 2, 2010.

ORRICO JÚNIOR, Marco AP; ORRICO, Ana CA; LUCAS JÚNIOR, Jorge de. **Produção animal e o meio ambiente: uma comparação entre potencial de emissão de metano dos dejetos e a quantidade de alimento produzido.** Engenharia Agrícola, p. 399-410, 2011.

ORRICO, A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J.; ORRICO JÚNIOR, M. A. P. **Caracterização e biodigestão anaeróbia dos dejetos de caprinos.** Engenharia Agrícola, v. 27, n. 3, p. 639- 647, Jaboticabal, 2007.

ORTOLANI, A. F. BENINCASA, M.; LUCAS JUNIOR, J. **Biodigestores rurais modelos indiano, chinês e batelada.** Jaboticabal: FUNEP, 1991. 35 p.

PERDOMO, C.C. OLIVEIRA, P. A. V.; KUNZ, A. **Sistemas de tratamento de dejetos de suínos: inventário tecnológico..** Embrapa suínos e Aves, 2003, p.83 (Documento n. 85)

PRIMAVESI, Odo et al. **Metano entérico de bovinos leiteiros em condições tropicais brasileiras.** Pesquisa Agropecuária Brasileira, p. 277-283, 2004.

PROINFA. **Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica.** Disponível em:<http://www.mme.gov.br/programas/proinfa/menu/programa/tecnologias_conempladas.html>

RIBEIRO, G.M.; SAMPAIO, A.A.M.; FERNANDES, A.R.M.; HENRIQUE, W.; SUGOHARA, A.; AMORIM, A.C. **Efeito da fonte proteica e do processamento físico do concentrado sobre a terminação de bovinos jovens confinados e o impacto ambiental dos dejetos.** Revista Brasileira de Zootecnia, Viçosa - MG, v.36, n.6, p.2.082-2.091, 2007.

SALOMON, K.R. **Avaliação técnico-econômica e ambiental da utilização do biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade.** 2007. 219p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Itajubá, Instituto de Engenharia Mecânica, Itajubá, 2007.

SILVA, F. M.; LUCAS JUNIOR, JORGE DE ; BENINCASA, MÁRIO ; OLIVEIRA, Ezequiel de . **Desempenho de um aquecedor de água a biogás. Engenharia Agrícola, Jaboticabal**, v. 25, n.3, p. 608-614, 2005.

SOARES, C. S. G. C. ; PAES, J. L. ; ALVES, T. B. S. ; QUEIROZ, C. K. . **Utilização de lodo de esgoto como inóculo para partida de biodigestores abastecidos com dejetos bovinos**. 2018. (Apresentação de Trabalho/Congresso).

SOUZA, C.F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W.P.M. **Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato: considerações sobre a partida. Engenharia Agrícola**, v.25, n.2, p.530-539, 2005.

TEIXEIRA, V. H. **Biogás**. Minas Gerais: Universidade Federal de Lavras, 2005. 93 f.

TIEZ, C. M.; ZENATTI, D. C.; FEIDEN, A.; LUPATINI, K. N.; CÔRREIA, A. F., 2014. **Influência da temperatura na produção de biogás a partir de dejetos da bovinocultura de leite**, Revista Brasileira de Energias Renováveis, vol. 3, pp. 80-96.

TOLMASQUIM, M. T. **Fontes Renováveis de Energia no Brasil**. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

WALISIEWICZ, M. **Energia Alternativa: solar, eólica, hidrelétrica e de biocombustíveis**. São Paulo: Publifolha, 2008.

XAVIER, C. A. N.; LUCAS JÚNIOR, J. **Parâmetros de dimensionamento para biodigestores batelada operados com dejetos de vacas leiteiras com e sem uso de inóculo**. Engenharia Agrícola, v. 30, n. 2, p. 212-223, Jaboticabal, 2010.