



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO MESTRADO ACADÊMICO
EM AGROENERGIA

ELISÂNGELA FERNANDES DOS SANTOS

CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA COM MANIPUEIRA E ESTERCO
BOVINO VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE

Palmas -TO

2019

ELISÂNGELA FERNANDES DOS SANTOS

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA COM MANIPUEIRA E ESTERCO
BOVINO VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agroenergia, Universidade Federal do Tocantins, como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em Agroenergia.

Orientador: Dr. Joel Carlos Zukowski Júnior

Palmas -TO

2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

S237c Santos, Elisângela Fernandes dos.
Có-digestão anaeróbia com manipueira e esterco bovino visando a produção de biogás e biofertilizante. / Elisângela Fernandes dos Santos. – Palmas, TO, 2019.
73 f.

Dissertação (Mestrado Acadêmico) - Universidade Federal do Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado) em Agroenergia, 2019.
Orientador: Joel Carlos Zukowski Júnior

1. Manipueira. 2. Digestão anaeróbia. 3. Biofertilizante. 4. Energia alternativa. I. Título

CDD 333.7

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte. A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184 do Código Penal.

Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
CAMPUS UNIVERSITARIO DE PALMAS
PÓS-GRADUAÇÃO EM AGROENERGIA**

FOLHA DE APROVAÇÃO

**CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA COM MANIPUEIRA E ESTERCO BOVINO
VISANDO A PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE**

ALUNA: Elisângela Fernandes dos Santos

COMISSÃO EXAMINADORA

Presidente:

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Presidente da comissão)

UFT

Dr^a. Eliane Regina Archangelo (Examinadora externa)

UNICATÓLICA

Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra (Examinador interno)

UFT

Data da Defesa: 15/08/2019

As sugestões da Comissão Examinadora e as Normas PGA para o formato da
Dissertação foram contempladas:

Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior (Presidente da comissão)

UFT

Dedico este trabalho à minha família pelo apoio e paciência durante o decorrer deste curso e a todos aqueles que, de alguma forma contribuíram para a execução e conclusão deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

A Deus pela dádiva da vida, e por sua presença e benevolência sempre constante no meu caminhar.

Ao Prof. Dr. Joel Carlos Zukowski Junior, por sua disposição para o desenvolvimento deste trabalho e as valiosas contribuições acadêmicas e pessoais.

À banca examinadora, Prof. Dr. Juan Carlos Valdés Serra e Prof^a. Dr^a. Eliane Regina Archangelo pela disponibilidade e contribuições.

A todos os colegas e amigos conquistados no decorrer do curso, em especial a esta dupla querida (Telma e Tássia) pela amizade recíproca e incentivos quando se fizeram necessário, e aos amigos (Domingos, Francis, Illys, Estácio e Humberto) também pela amizade, parceria e ajuda em diversos momentos no decorrer do curso.

A toda equipe da Universidade Federal do Tocantins e do Mestrado em Agroenergia, pela estrutura e apoio, sobretudo a coordenadora e prof. Dra. Flávia Tonani e aos demais professores (as) do programa.

A todos dos Laboratórios de Solos (Labsolos), Laboratório de Materiais Compósitos (LMC), Laboratório de Pesquisa em Química Ambiental e de Biocombustíveis (LAPEQ), Laboratório de sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis (LASPER), Laboratório de Saneamento Ambiental (Labsam) sediados na UFT e Laboratório de Aquicultura Sustentável da UNESP, pela realização das análises e contribuições importantes, sobretudo ao prof. Dr. Guilherme Benko e os colegas Domingos e Illys, por sempre estarem dispostos a ajudar.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro.

Aos responsáveis pela Fecularia e ao sr. Dionor por disponibilizarem a manipueira e o esterco bovino utilizados no experimento.

À minha família: Heitor, Ricardo, Vangea, Neurimam, Raiane e Leandro pelo amor, força, paciência, companheirismo e por serem minha maior motivação para lutar cada dia mais em busca da realização dos meus sonhos e objetivos.

A todas as pessoas que participaram direta e indiretamente na elaboração deste trabalho.

RESUMO

Com o beneficiamento da raiz da mandioca, diversos produtos e subprodutos podem ser obtidos, como farinha, amido, farofas entre outros, gerando renda a pequenas e grandes indústrias e aos produtores. Porém, durante estes processamentos, também são gerados grandes volumes de resíduos tanto sólidos quanto líquidos, como a manipueira, que apresenta elevada carga poluidora e precisa passar por algum processo de tratamento, evitando danos ambientais mais graves. A atividade pecuária, que é responsável por grande parte da riqueza gerada no Brasil, também produz quantidades expressivas de dejetos, sobretudo em sistemas de confinamento e na cadeia de produção de leite. Estes dejetos, possuem grande potencial energético que, se aproveitados de forma adequada, podem gerar benefícios socioeconômicos e ambientais. Dentre as alternativas para o tratamento e aproveitamento destes resíduos, o processo de co-digestão anaeróbia utilizando-se biodigestores se destaca, uma vez que, além de tratá-los, diminuindo assim os impactos causados ao meio ambiente, ainda se obtém o biogás e o biofertilizante, que podem ter várias aplicações e ainda gerar benefícios diversos. Neste contexto, a presente pesquisa teve por objetivo, avaliar a influência das diferentes concentrações de esterco bovino misturado com manipueira na composição do biogás e do biofertilizante obtidos a partir do processo de co-digestão anaeróbia, utilizando biodigestores modelo batelada. Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC) com 5 tratamentos e 3 repetições. As porcentagens em massa (g) de esterco foram mantidas em 10%, 15%, 20%, 25% e 30% respectivamente. Do estudo concluiu-se que, o tratamento 2 (85% manipueira + 15% esterco) apresentou maior teor de metano e menor teor de dióxido de carbono, apresentando-se como a melhor opção para a produção de biogás. O tratamento 5 (70% manipueira + 30% esterco bovino) se destacou com produções superiores de potássio e sódio no biofertilizante. Na avaliação do pH do substrato, os tratamentos 4 e 5 aparecem com valores mais próximo do intervalo ideal para o desenvolvimento das bactérias metanogênicas. Não foi observada diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos para a variável pH do biofertilizante.

PALAVRAS-CHAVE: Manipueira. Digestão anaeróbia. Energia alternativa Biofertilizante.

ABSTRAC

With the processing of cassava root, various products and by-products can be obtained, such as flour, starch, crumbs, among others, generating income for small and large industries and producers. However, during these processes, large volumes of solid and liquid waste are also generated, such as handling, which has a high polluting load and needs to undergo some treatment process, avoiding more serious environmental damage. Livestock farming, which is responsible for much of the wealth generated in Brazil, also produces significant amounts of waste, especially in feedlot systems and the milk production chain. These wastes have great energy potential that, if properly used, can generate socioeconomic and environmental benefits. Among the alternatives for the treatment and utilization of these wastes, the anaerobic co-digestion process using biodigesters stands out, since, besides treating them, thus reducing the impacts caused to the environment, biogas is still obtained and biofertilizer, which can have several applications and still generate several benefits. In this context, this research aimed to evaluate the influence of different concentrations of manure mixed with manipulate on the composition of biogas and biofertilizer obtained from the anaerobic co-digestion process, using batch model digesters. The completely randomized design (DIC) with 5 treatments and 3 repetitions was used. Mass percentages (g) of manure were maintained at 10%, 15%, 20%, 25% and 30% respectively. From the study it was concluded that treatment 2 (85% manipulate + 15% manure) presented higher methane content and lower carbon dioxide content, presenting itself as the best option for biogas production. Treatment 5 (70% manipulate + 30% cattle manure) stood out with higher potassium and sodium productions in the biofertilizer. In the substrate pH evaluation, treatments 4 and 5 appear with values closer to the ideal range for the development of methanogenic bacteria. There was no statistically significant difference ($P < 0.05$) between treatments for the biofertilizer pH variable.

KEYWORDS: Manipulate. Anaerobic digestion. Alternative energy. Biofertilizing.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Sequência esquemática da digestão anaeróbia.....	22
Figura 2 - Biodigestor de produção contínua.....	24
Figura 3 - Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo Chinês....	25
Figura 4- Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo Indiano	25
Figura 5 - Biodigestor modelo Canadense	26
Figura 6- Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo batelada ..	27
Figura 7 - Coleta da manipueira em calha de decantação (A) e armazenamento em recipiente plástico (B)	35
Figura 8 – Esterco bovino coletado em recipiente plástico.....	36
Figura 9 - Biodigestores confeccionados.....	37
Figura 10 – Pesagem da manipueira (A) e do esterco bovino (B) para determinação da massa específica.....	39
Figura 11 – Análises do biofertilizante (potássio e sódio) em Fotômetro de Chama .	42
Figura 12- Instalação dos biodigestores com substratos	44
Figura 13- Coleta (A) e armazenamento (B) do biogás.....	44
Figura 14 - Coleta (A) e armazenamento (B) do biofertilizante	45
Figura 15 – Teor médio de CH ₄ (%) no biogás em função dos tratamentos	47
Figura 16 – Teor médio de CO ₂ (%) no biogás em função dos tratamentos	49
Figura 17 - Valores médios de Na em mg/L no biofertilizante	51
Figura 18 - Valores médios de Potássio (K) em mg/L no biofertilizante	53
Figura 19 - Valores médios de Potencial Hidrogeniônico do substrato (PHS) em função dos tratamentos.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Substratos que podem ser utilizados para produção de biogás e biofertilizante	28
Tabela 2 – Produção média de dejetos produzidos por diferentes animais e as produções de biogás.	29
Tabela 3 - Quantidades de resíduos para produção de 1m ³ de biogás.....	29
Tabela 4 – Proporções de matéria orgânica e água.....	30
Tabela 5 - Equivalência energética de 1 m ³ do biogás.....	31
Tabela 6 - Composição dos tratamentos em massa (g)	38
Tabela 7 – Dados obtidos nas pesagens do esterco bovino para se obter a determinação da massa específica	39
Tabela 8 – Dados obtidos nas pesagens da manipueira para se obter a determinação da massa específica.....	40
Tabela 9 – Dados obtidos com a pesagem dos substratos.....	43
Tabela 10 - Teste de significância das variáveis explicativas na análise de regressão - Análise de Variância –ANAVA	45
Tabela 11 – Concentrações de CH ₄ no biogás em percentual	46
Tabela 12 - Concentrações de CO ₂ no biogás em percentual.....	48
Tabela 13 – Concentrações de Na (mg/L) no biofertilizante.....	50
Tabela 14 – Concentrações de K (mg/L) no biofertilizante.....	52
Tabela 15 – Valores médios do Potencial Hidrogeniônico no biofertilizante em função dos tratamentos.....	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CH ₄	Metano
CO ₂	Dióxido de Carbono
DIC	Delineamento Inteiramente Casualizado
FV	Fator de Variação
GL	Grau de Liberdade
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
H ₂ S	Ácido Sulfídrico
K	Potássio
LABSOLOS	Laboratório de Solos
LMC	Laboratório de Materiais Compósitos
LABSAN	Laboratório de Saneamento Ambiental
LASPER renováveis	Laboratório de sistemas de produção de energia a partir de fontes
Na	Sódio
N	Nitrogênio
PPGA	Programa de Pós-Graduação em Agroenergia
P	Fósforo
pH	Potencial Hidrogeniônico
pH S	pH do Substrato
pH B	pH do Biofertilizante
QM	Quadrado Médio
UFT	Universidade Federal do Tocantins
UNESP	Universidade Estadual paulista

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 OBJETIVOS	15
2.1 Objetivo geral	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
3.1 Resíduos da mandioca	16
3.2 Resíduos da pecuária (Bovinocultura).....	18
3.3 Digestão anaeróbia	19
3.3.1 Etapas da digestão anaeróbia	21
3.4 Biodigestor	23
3.4.1 Modelos de biodigestores	24
3.5 Produtos obtidos a partir da digestão anaeróbia	27
3.5.1 Biogás.....	27
3.5.2 Biofertilizante	32
4 MATERIAL E MÉTODOS	35
4.1 Substratos para digestão	35
4.2 Biodigestores e condições experimentais	36
4.3 Delineamento Experimental	38
4.4 Outros procedimentos.....	38
4.4.1 Determinação da massa específica da manipueira e do esterco bovino	38
4.4.2 Pesagem dos substratos para a obtenção dos valores em massa e volume....	40
4.4.3 Abastecimento, instalação e determinação do potencial hidrogeniônico	41
4.4.4 Coleta e análise do Biogás	41
4.4.5 Coleta e análise do Biofertilizante.....	41
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	43

5.1	Teste de significância das variáveis	45
5.2	Teores médios de CH₄ e CO₂ no biogás em percentual	46
5.3	Concentrações médias de Na e K (mg/L) no biofertilizante	50
5.4	Valores médios do Potencial Hidrogeniônico do substrato e do biofertilizante em função dos tratamentos	55
6	CONCLUSÕES.....	58
6.1	Contribuições para trabalhos futuros	58
	REFERÊNCIAS.....	60

1 INTRODUÇÃO

Sabe-se que toda atividade do homem seja no campo ou na cidade, tem como consequência a produção de resíduos e conseqüentemente a alteração do meio que o cerca, segundo Abreu Junior et al., (2005), quando estes resíduos são mal gerenciados, oferecem risco potencial ao ser humano e ao meio ambiente.

Alguns resíduos gerados no campo, como dejetos de animais, restos agrícolas, dentre outros, podem ser facilmente reutilizados como adubo, seja em sua forma natural ou que tenha passado por algum tipo de processamento como a compostagem, por outro lado, os resíduos gerados no meio urbano e em alguns setores agroindustriais, como a manipueira por exemplo, nem sempre são aproveitados ou recebem tratamento e destinação adequados.

A cultura da mandioca destaca-se por proporcionar o aproveitamento integral de toda a planta, disponibilizando produtos advindos tanto da parte aérea quanto de sua raiz (SEBRAE, 2015). No entanto, a raiz é a parte que apresenta maior valor econômico e nutricional agregado, pode ser utilizada tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal, seja inatura ou beneficiada em forma de farinhas, tapioca, bolo, ração animal, entre outros.

Durante o processamento da raiz de mandioca são gerados tanto resíduos sólidos quanto líquidos, tais como, cascas, entrecasas, farelos, manipueira, entre outros. A manipueira é um líquido leitoso amarelado com alto potencial tóxico e poluidor. Devido à presença de elevada carga orgânica e ácido cianídrico a manipueira necessita de tratamento adequado antes de ser lançado ao ambiente (CORREIA et al., 2018).

De acordo com Ubalua (2007), a técnica mais comumente utilizada para o tratamento da manipueira, são as lagoas aeróbias, embora não seja a técnica mais eficiente neste processo, uma vez que as propriedades energéticas presente neste resíduo deixam de ser aproveitadas.

Concomitantemente, o setor da pecuária que é responsável por parte da riqueza gerada no Brasil, produz grandes quantidades de resíduos com alto potencial energético, sobretudo os dejetos bovinos, que em grande parte são aplicados na lavoura sem tratamento prévio, podendo contaminar o lençol freático, causar a eutrofização de rios, além de liberar Gases de Efeito Estufa como o metano (CH₄) e o

dióxido de carbono (CO₂) no meio ambiente. Segundo Ubalua (2007) e Karlsson et al., (2014), estes gases causam sérios danos à saúde e ao meio ambiente, sobretudo o CH₄ que tem um potencial de aquecimento 22 vezes maior que o CO₂, por outro lado, o potencial energético contido nestes resíduos podem ser aproveitados e gerar ganhos ambientais e econômicos.

Segundo Alvalá (1999), medidas sistemáticas da concentração de CH₄ na atmosfera tiveram início na metade da década de 70, quando foram identificadas atuações importantes desse gás na química atmosférica e no clima. O CO₂ apesar de poder ser absorvido pelas plantas, é bastante liberado na atmosfera, principalmente em consequência da queima de combustíveis fósseis (PRADO et al., 2012)

Diante deste cenário, surge a necessidade de desenvolver sistemas que combinem alta eficiência, custos baixos de produção, construção e operação e, ainda, que gerem energia limpa (KRETZER et al., 2015).

Dentre as soluções, pode-se realizar o aproveitamento destes resíduos através do processo de co-digestão anaeróbia, utilizando biodigestores. Esse processo apresenta-se como uma excelente alternativa para o tratamento e a reciclagem energética dos nutrientes presentes nos dejetos animais, reduzindo o potencial poluidor e os riscos sanitários, além de promover a geração do biogás e do biofertilizante (RODRIGUES et al., 2014).

A utilização de matérias-primas com potencial energético, sobretudo as biomassas, apresenta-se como uma das principais alternativas para a diversificação da atual matriz energética, proporcionando também a diminuição da dependência dos combustíveis fósseis (NETO et al., 2010; SANTOS et al., 2012)

Dentro deste contexto, este estudo avaliou a influência das diferentes concentrações de esterco bovino misturado com manipueira na composição do biogás e do biofertilizante obtidos a partir do processo de co-digestão anaeróbia, utilizando biodigestores modelo batelada.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Avaliar a influência das diferentes concentrações de esterco bovino misturado com manipueira na composição do biogás e do biofertilizante obtidos a partir do processo de co-digestão anaeróbia, utilizando biodigestores modelo batelada.

2.2 Objetivos específicos

- Medir a produção de CH₄ e CO₂ no biogás;
- Avaliar as concentrações de P, K e Na da fração líquida do biofertilizante;
- Avaliar as variações do pH no substrato;
- Avaliar as variações do pH no biofertilizante;
- Apontar o tratamento com proporções mais adequadas de manipueira/ esterco/ para a produção de biogás rico em metano.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O tratamento adequado de resíduos, deve fazer parte da rotina de empresas de todas as áreas. Além de benefícios ambientais, há outras vantagens em se gerenciar adequadamente os resíduos, sobretudo os orgânicos, uma vez que podem causar danos muitas vezes irreversíveis ao meio ambiente e aos seres humanos, quando não recebem uma destinação adequada.

Estes resíduos podem ter diversas origens, como os produzidos em residências, em pequenas escalas e até de grandes indústrias ou agroindústrias em quantidades bem superiores.

Alguns resíduos merecem atenção redobrada devido ao seu grau de periculosidade e potencial de poluição, como no caso da manipueira, obtida a partir do processamento da raiz da mandioca, que possui em sua composição entre outros elementos, o ácido cianídrico que pode levar a morte animais e seres humanos. Os dejetos de origem animal também são uma fonte de poluição ambiental, sobretudo os dejetos bovinos, uma vez que possui grande potencial de produção e emissão do gás metano, um dos principais gases de efeito estufa.

3.1 Resíduos da mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta originária da América do Sul (LORENZI, 2003), também conhecida como aipim, macaxeira, castelinha, maniva, entre outros nomes, é uma raiz tuberosa amplamente consumida e cultivada no Brasil e em diversas partes do mundo (SEBRAE, 2015).

É uma planta da qual se aproveita tudo, folhas, ramos e raízes, no entanto, a parte considerada mais importante são suas raízes tuberosas e feculentas, sendo grande reservatório de amido e principal matéria-prima de aproveitamento econômico (SILVA e ROEL, 2001).

A raiz da mandioca é muito importante tanto na alimentação humana quanto animal, podendo ser consumida de forma in natura ou beneficiada em forma de farinhas, féculas e outros derivados. A raiz apresenta em sua composição química média, os seguintes percentuais: 65% de água, 25% de amido, 3% de proteína, 2% de celulose e 5% de outros compostos (SEBRAE, 2015).

De acordo com levantamento da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO) apud Conab (2018), no ano de 2016 a produção mundial de raiz de mandioca correspondeu a 277,1 milhões de toneladas, sendo a Nigéria o maior produtor mundial com 57,13 milhões de toneladas, seguido por Tailândia e Indonésia. O Brasil ficou na 4ª posição, com 21,08 milhões de toneladas da raiz.

A planta apresenta a característica de se adaptar em solos pobres e requer poucos insumos. Trata-se de uma planta pouco exigente em termos de fertilidade do solo e em insumos (SEBRAE, 2015). No entanto, é importante estar atento a variáveis que podem influenciar na qualidade e produtividade da mandioca, como por exemplo, saber escolher a época mais apropriada para o plantio, para a colheita, entre outros.

De acordo com Alves e Silva (2003), a escolha da época de plantio adequada pode ainda reduzir o ataque de pragas e doenças e a competição das ervas daninhas. Guerreiro (2005) ressalta a importância de se combinar as épocas de plantio com os ciclos das cultivares e com as épocas de colheita, nos cultivos industriais de mandioca, visando garantir fornecimento contínuo de matéria-prima para o processamento industrial.

Para Inoue (2008) o período para colheita mais indicado é, quando pelas condições de clima e do ciclo, elas já tenham diminuído o número e o tamanho das folhas e dos lobos foliares, condição em que, segundo a autora, se atinge o máximo de produção de raízes com elevado teor de amido. No entanto, Fukuda e Otsubo (2003) ressaltam que a colheita pode se prolongar até o período chuvoso e quente, quando a planta inicia nova estação vegetativa, apresentando raízes com maior teor de água, porém, pode representar uma queda no rendimento industrial.

O ano de 2019 começou com saldo positivo na Balança Comercial de Raiz de Mandioca. Só em janeiro do mesmo ano foram exportadas 15,1 toneladas, gerando um superávit de US\$ 35,5 mil. Comparado ao mês anterior (dezembro/2018), o aumento foi de 233,19% na renda gerada com as exportações (CONAB, 2019).

Grande parte da raiz da mandioca é aproveitada na indústria, em forma de amido (fécula), podendo ser utilizado no segmento agroalimentar, tanto no formato nativo quanto modificado (SEBRAE, 2015), portanto, a partir deste produto, pode se obter diversos subprodutos como sagu, polvilho azedo, tapioca, entre outros.

Durante o processamento da raiz da mandioca, seja em fecularias ou casas de farinha, são gerados diversos resíduos sólidos e líquidos que, quando não recebem

uma destinação adequada, podem causar riscos ao meio ambiente, animais e pessoas, como no caso da manipueira, que contém propriedades tóxicas e poluidora.

Segundo Inoue (2008), a manipueira é a água residuária proveniente da prensagem da mandioca durante a produção de farinha ou a água residuária de fecularia que, neste caso encontra-se diluída com a água de extração do amido, porém, mesmo diluída, a manipueira ainda apresenta elevado teor de material orgânico sendo necessário passar por algum processo de tratamento, diminuindo assim seu potencial poluidor.

Estima-se que a cada tonelada de mandioca processada, são gerados, aproximadamente, 300 litros de manipueira na fabricação de farinha de mesa (FERNANDES JUNIOR e TAKAHASHI, 1994; FIORETTO, 1994), e 600 litros de água residuária de fecularia (CEREDA e MATTOS, 1996).

Fioretto (2001) ressalta que o processamento de uma tonelada de mandioca equivale a poluição causada por 200 a 300 pessoas por dia no caso das fecularias, já em casas de farinha, corresponde a um equivalente populacional de 150 a 250 habitantes por dia.

3.2 Resíduos da pecuária (Bovinocultura)

A bovinocultura é uma das atividades pecuárias mais expressivas no Brasil, sendo responsável por grande parte da riqueza gerada no País. As principais finalidades deste segmento são a produção de carne e de leite, atendendo tanto o mercado interno quanto externo.

Na produção pecuária, diariamente são geradas grandes quantidades de dejetos, sobretudo em sistemas de confinamento e na cadeia de produção leiteira. A produção média diária de dejetos bovinos é de 15kg por animal (SGANZERLA, 1983 apud Gaspar, 2003). De acordo com Van Horn (1994) e Wilkerson (1997), alguns fatores como o sistema de produção, o clima, o período do ano, o peso corporal dos animais, o estado fisiológico e o nível de produção das vacas podem influenciar na quantidade de dejetos produzidos.

O manejo inadequado desses dejetos, os quais são ricos em matéria-orgânica e agentes patogênicos, pode ser responsável pela poluição de águas superficiais e subterrâneas, devido ao carreamento desse material pela ação das chuvas (DORAN e LINN, 1979).

Portanto, faz-se necessário o tratamento deste material antes de lança-los ao meio ambiente, evitando assim, maiores problemas de cunho ambiental. Existem diferentes possibilidades para realizar o tratamento dos dejetos animais a fim de minimizar seus impactos ao ambiente, dentre eles pode-se destacar a digestão anaeróbia (KONRAD et al., 2016).

Segundo Hepp (2016) o esterco bovino representa um excelente substrato para a digestão anaeróbia, pois contém carboidratos, proteínas, gorduras e os microrganismos necessários para dar o “start” no processo. Por se tratar de dejetos de ruminante, o processo geralmente ocorre de forma mais rápida devido à presença de microrganismos que atuam na biodigestão anaeróbia (GALBIATTI et al., 2010; JUNQUEIRA, 2011).

3.3 Digestão anaeróbia

Segundo Carrilho (2012) a história da digestão anaeróbia remota ao ano de 1630, quando Von Helmont descobriu que era produzido um gás combustível através da degradação de material biológico. Ostrem e Nickolas (2004) ressaltam que, a esta altura ainda não se falava nesta tecnologia, portanto, tanto o processo quanto qual gás era produzido através da degradação destes materiais ainda eram desconhecidos. Segundo Carrilho (2012), foi em 1770 que começaram a aparecer os primeiros estudos relacionados com o biogás e com a digestão anaeróbia.

O processo de digestão anaeróbia tornou-se uma tecnologia comprovadamente eficaz no manejo de resíduos orgânicos sólidos e líquidos (ACHINAS et al., 2017). Segundo Cremonez (2019), o estudo deste processo se intensificou mediante preocupações com a crise energética, como o agravamento do efeito estufa e com os problemas ambientais.

A digestão anaeróbia de resíduos orgânicos contribui na redução das emissões dos gases de efeito estufa liberadas na atmosfera, por diminuir o escape de CH₄ decorrente da decomposição natural dos materiais digeridos e, por utilizar a energia do biogás na substituição parcial dos combustíveis fósseis (SCARLAT et al., 2018).

Segundo Peres (1982) é um processo em que materiais orgânicos complexos são convertidos em compostos mais simples, na ausência de ar ou oxigênio livre. Demirer e Chen (2005), descreve o processo como sendo um sistema de tratamento da matéria orgânica por meio da degradação, formando CH₄ e CO₂.

Segundo Nogueira (1992), a principal finalidade do processo de digestão anaeróbia, é a remoção da carga orgânica poluente, produção e captação de CH₄ na forma de biogás e produção de biofertilizantes mais estáveis, mais ricos em nutrientes assimiláveis e com melhores qualidades sanitárias em relação ao material original.

Boldrin et al., (2016) ressalta que a digestão anaeróbia é uma das tecnologias mais eficientes para a extração de energia limpa e renovável a partir de biomassa, tanto térmica como elétrica, além de ser útil para reciclagem de nitrogênio e fósforo a partir de substrato animal, nutrientes que são essenciais para agricultura, sendo também uma tecnologia de redução dos gases de efeito estufa.

Segundo Matos (2016), como a digestão anaeróbia é um processo biológico, é necessário que se mantenha condições favoráveis para que ocorra a eficiência do processo que pode ser afetado por vários fatores que podem favorecer-lo ou não.

Alguns fatores como temperatura; tipo de resíduo; substâncias tóxicas presentes; pH; quantidade de água; composição do substrato, entre outros, devem ser controlados durante a digestão anaeróbia, uma vez que estes fatores podem interferir diretamente no resultado final do sistema, com consequentes perdas dos potenciais energéticos contidos nos dejetos (ORRICO JÚNIOR, 2007; OLIVEIRA, 2009; ORRICO JUNIOR et al., 2010). Para Inoue (2008) este conjunto de fatores interferem também no potencial de produção de biogás.

Segundo Mendonça (2009) a temperatura é um dos principais fatores que influencia na digestão anaeróbia, podendo comprometer diretamente na termodinâmica da reação, alterando a velocidade específica de utilização, uma vez que o processo pode ocorrer em uma faixa de temperatura que varia de 10 °C a 60 °C, dependendo dos microrganismos que estarão atuando.

As bactérias criofílicas agem na faixa inferior a 20 °C, as mesofílicas agem na faixa de 30 °C a 40 °C e as termofílicas entre 45 °C e 60 °C (CASTRO e CORTEZ, 1998). A faixa ótima de operação do processo está em torno de 35-37°C (SILVA, 2012; MAYER, 2013;).

O pH é outro parâmetro muito importantes no processo de biodigestão, pois afeta diretamente, na medida em que seleciona quais microorganismos irão se desenvolver com mais eficiência no meio reacional (ELBESHISHY et al., 2017). Recomenda-se que valores abaixo de 6,0 e acima de 8,3 devem ser evitados, uma vez que podem inibir por completo a atividade das bactérias formadoras de CH₄ (VAN HAANDEL e LETTINGA, 1994; CHERNICHARO, 1997).

Para o processo global de biodigestão, tem-se que a faixa ótima de pH situa-se entre 6,8 a 7,4 (MAO et al., 2015). Por outro lado, a faixa de pH mais apropriada para a fase metanogênica é estabelecida entre 6,8 e 7,2 (WARD et al., 2008; KHALID et al., 2011; ZHOU et al., 2016), portanto, a depender da fase em que encontra o processo, há uma faixa de pH mais adequada. A entrada de antibióticos, inseticidas e desinfetantes no biodigestor também pode inibir a atividade biológica diminuindo a capacidade do sistema em produzir biogás (OLIVEIRA, 1983).

Segundo Silva (2012), a umidade refere-se à quantidade de água presente na biodigestão é um dos fatores essenciais no processo, pois solubiliza a massa orgânica e proporciona fluidez as enzimas e outros produtos microbianos, entretanto, em quantidades demasiadas pode atrapalhar no processo de formação do biogás.

Uma das formas de ter uma maior eficiência e otimização do processo e potencializar a produção de biogás, é utilizar-se da co-digestão, que segundo Rodrigues (2005), incide em fazer a junção de dois ou mais substratos durante o processo, utilizando-se as mesmas instalações, uma vez que promove o equilíbrio das cargas orgânicas, os tempos de retenção hidráulica e os níveis de umidade no biodigestor.

Feiden (2001) ressalta que, para o caso específico da mandioca, estudos efetuados para o tratamento da manipueira são predominantemente de processos biológicos anaeróbios, embora trabalhos isolados tenham sido efetuados utilizando outros processos.

Feinden e Cereda (2003) e Zanadréa (2010) apontam a digestão anaeróbia como uma opção viável para o tratamento das águas de feculárias, pois além da redução de sua carga orgânica, há também a produção do biogás, rico em CH₄, assim como do biofertilizante. Inoue (2008) ressalta que o processo também estaria ajudando os produtores de farinha a enfrentar um problema relacionado ao combustível (lenha), empregado por eles para secar a farinha, que está se tornando escasso.

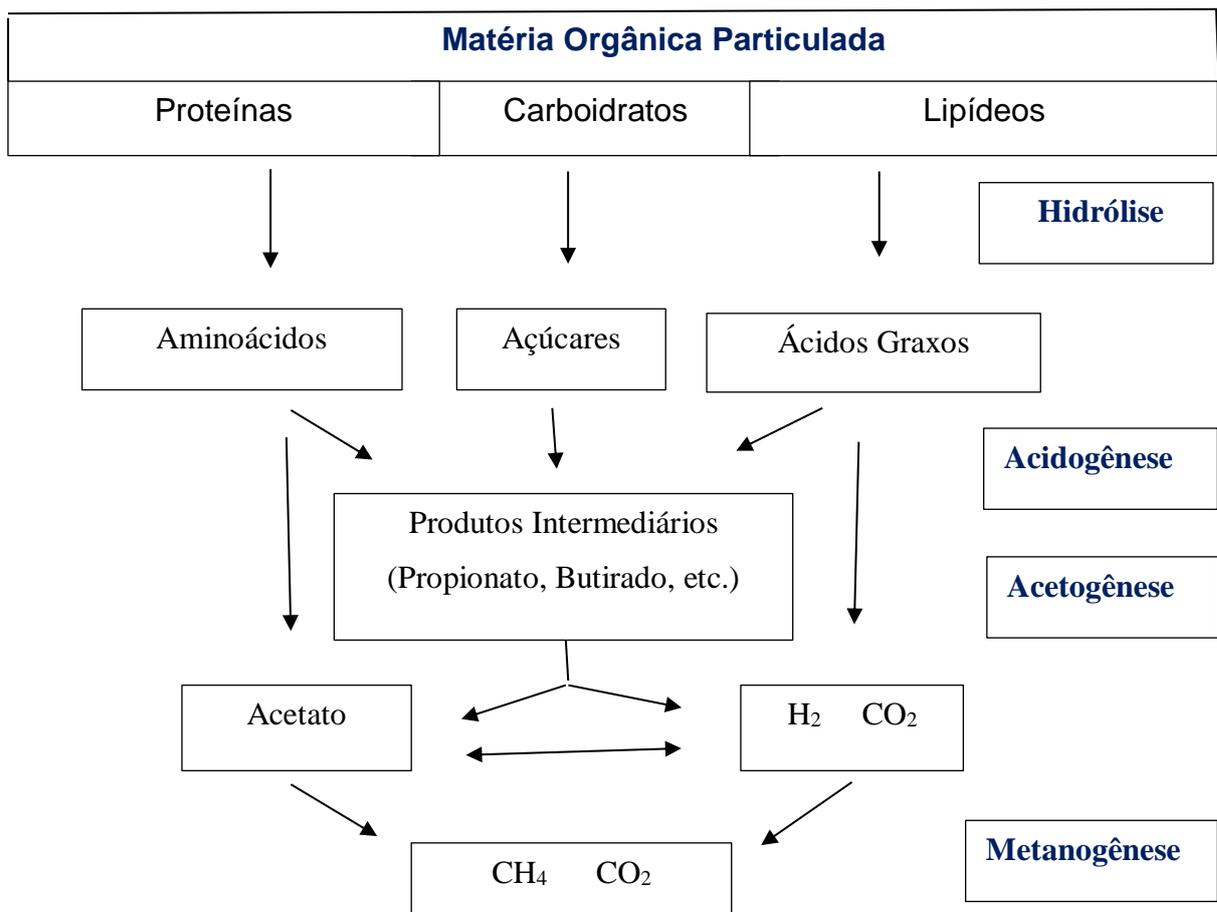
Segundo Tentscher (1995), o biogás pode ser utilizado para a secagem desse produto, minimizando os problemas ambientais causados pelo processo de industrialização da mandioca além de reduzir os custos com eletricidade e lenha.

3.3.1 Etapas da digestão anaeróbia

Marshi, Bressiani e Barbosa (2014) e Aryal et al., (2018), ressaltam que o processo da digestão anaeróbia ocorre em quatro estágios principais: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese conforme Figura 1. Esse processo é desenvolvido por um consórcio de microorganismos agrupados em bactérias hidrolíticas, acidogênicas e metanogênicas (PAUSS et al., 1987).

Na etapa de hidrólise o material particulado é transformado em compostos de menor peso molecular facilitando a absorção pelas células. Na acidogênese estes compostos reduzidos são absorvidos pelas células das bactérias fermentativas, e excretados na forma de ácidos graxos voláteis, álcoois e ácido láctico, além de outras substâncias orgânicas simples (MARSHI, BRESSIANI e BARBOSA, 2014; ARYAL et al., 2018).

Figura 1- Sequência esquemática da digestão anaeróbia



Fonte: Adaptado de Pontes (2003)

Na etapa de acetogênese, esses produtos oriundos da acidogênese formam os substratos para produção do metano, sendo eles o acetato, hidrogênio e dióxido de carbono. Finalmente ocorre o processo de metanogênese, onde o CH₄ é produzido por bactérias acetotróficas, com a redução do ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas com a utilização do CO₂ (FORESTI et al., 1999; ZHENG et al., 2014; PATIL et al., 2016).

Segundo Karlsson et al., (2014), o biogás, produzido pela conversão da matéria orgânica contida no ciclo natural da terra, deve ser decomposto de modo que não emita gases que contribuam para o aumento do efeito estufa, desta forma o melhor a se fazer é decompor o material em um biodigestor, para que o biogás possa ser aproveitado. O processamento torna-se interessante ao passo que se produz um combustível proveniente do tratamento de resíduos passíveis de grande poluição ambiental (SONG et al., 2014; WU et al., 2016).

3.4 Biodigestor

Segundo Castanho e Arruda (2008), o biodigestor é uma câmara hermeticamente fechada onde a matéria orgânica diluída em água sofre um processo de fermentação anaeróbia, e são constituídos de um misturador, onde a matéria prima e a água são misturados, uma câmara, onde ocorre a fermentação anaeróbia; uma válvula, onde sai o biogás; e uma saída para que o biofertilizante seja retirado.

Medeiros et al., (2015) ressaltam que o uso do biodigestor tem grande potencial em reduzir a massa de resíduos e o seu posterior aproveitamento como fertilizante para culturas agrícolas.

De acordo com Castanho e Arruda (2008), a tecnologia dos biodigestores foi trazida ao Brasil na década de 1970, com a crise do petróleo, sendo os principais modelos implantados o Chinês e o Indiano. Os benefícios do biogás e do biofertilizante obtidos pelos biodigestores rurais fizeram com que os programas de disseminação tivessem um crescimento significativo na região.

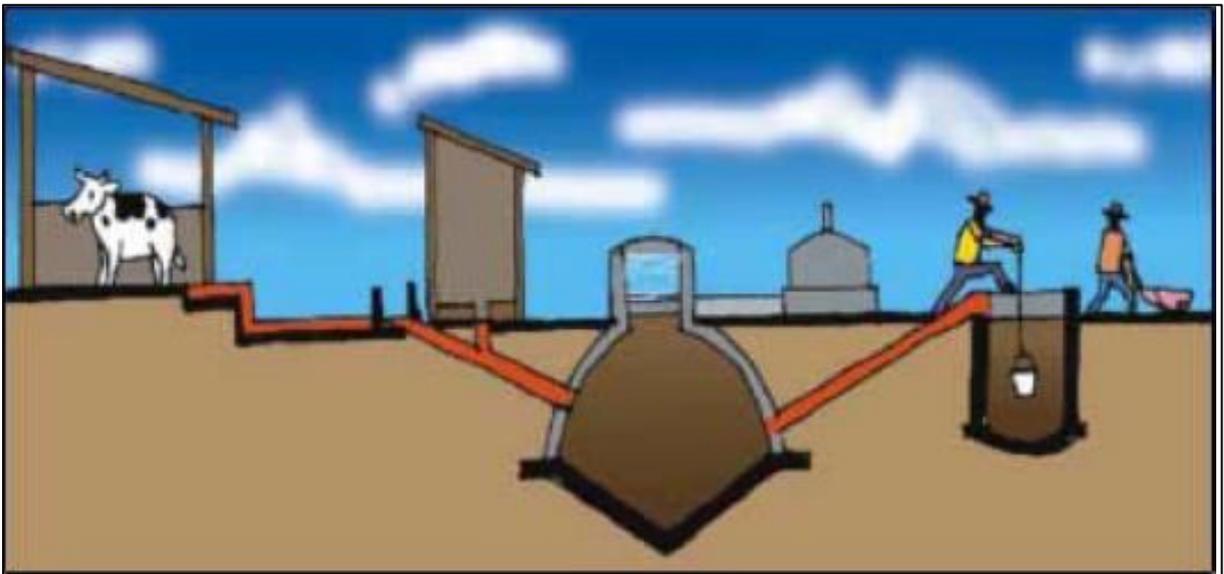
Ainda segundo os autores, posteriormente por motivos diversos, houve uma forte desaceleração nos programas de disseminação, levando a cortes nos incentivos governamentais, o que juntamente com a falta de assistência e apoio técnico aos proprietários que não dominavam a nova tecnologia acabou prejudicando a continuidade operacional dos biodigestores já instalados.

3.4.1 Modelos de biodigestores

Existem vários modelos de biodigestores, podendo ser de abastecimento contínuo e batelada. Os modelos mais conhecidos de biodigestores de abastecimento contínuos são o Indiano, o Chinês, e o Canadense.

Conforme mostra a Figura 2, os biodigestores de abastecimento contínuo são construídos de forma que possam ser abastecidos diariamente, semanalmente ou de acordo com a necessidade, contendo uma caixa de entrada um tanque onde ocorre a digestão do material e uma caixa de saída.

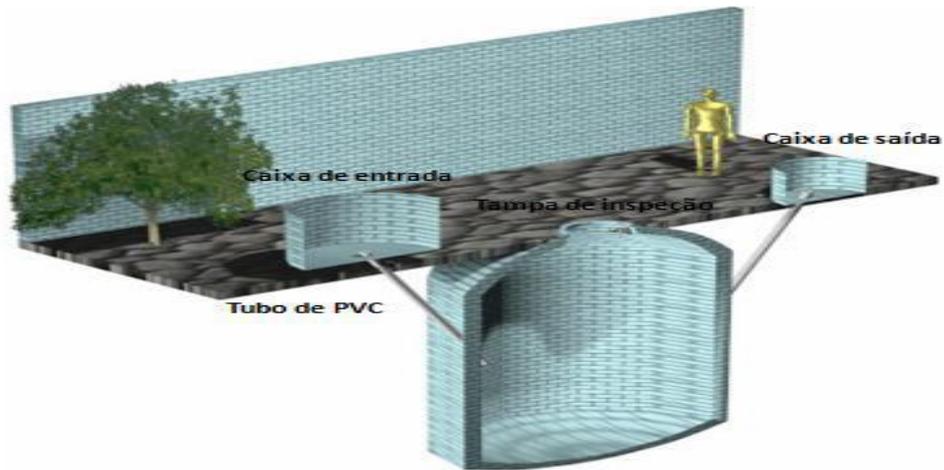
Figura 2 - Biodigestor de produção contínua



Fonte: Castanho e Arruda (2008)

Segundo Castanho e Arruda (2008), o biodigestor modelo Chinês foi desenvolvido voltado para as pequenas propriedades rurais. É um modelo de peça única, construído em alvenaria e enterrado no solo para ocupar menos espaços. Este modelo tem um custo mais barato em relação aos outros, pois sua cúpula também é feita em alvenaria, conforme Figura 3.

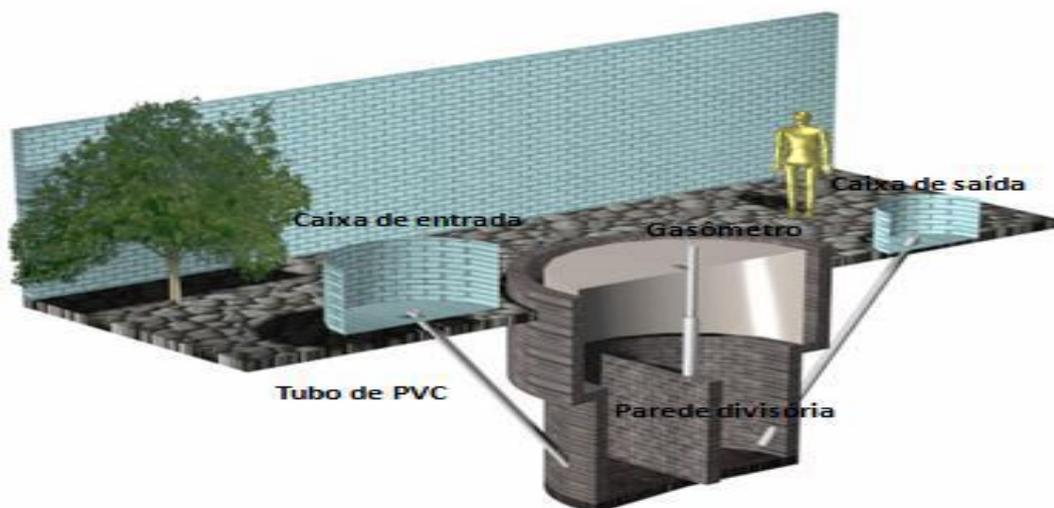
Figura 3 - Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo Chinês



Fonte: Deganutti et al., (2002)

De acordo com Deganutti et al., (2002), o biodigestor modelo Indiano, caracteriza-se por possuir uma campanula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo de água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação, conforme Figura 4.

Figura 4- Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo Indiano



Fonte: Deganutti et al., (2002)

Segundo Castanho e Arruda (2008), o biodigestor modelo Canadense é um modelo tipo horizontal, apresentando uma caixa de carga em alvenaria e com a largura maior que a profundidade, possuindo, portanto, uma área maior de exposição ao sol, o que possibilita numa grande produção de biogás e evitando o entupimento. Durante a produção de gás, a cúpula do biodigestor infla, pois é feita de material plástico maleável (PVC), podendo ser retirada, conforme Figura 5.

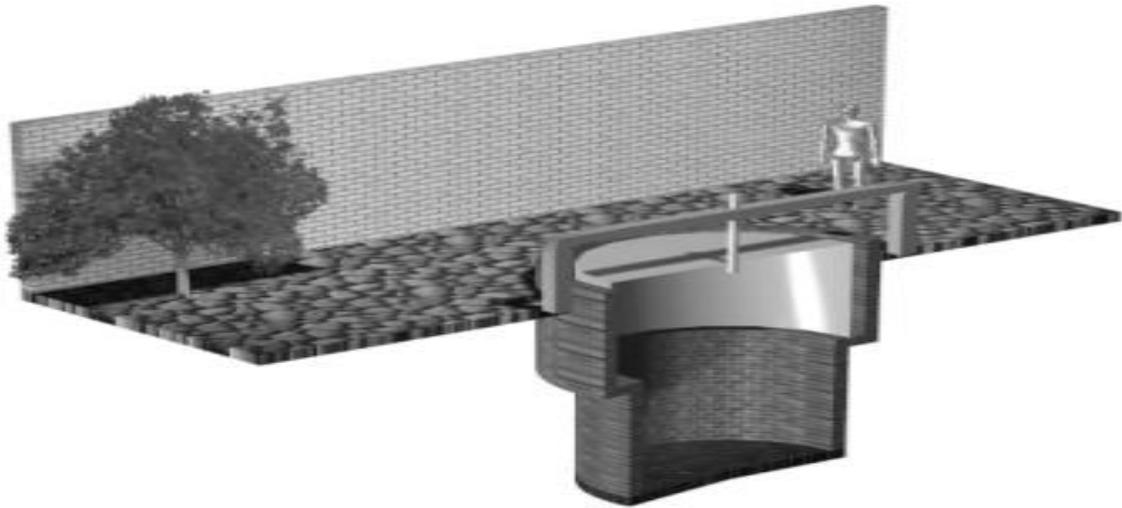
Figura 5 - Biodigestor modelo Canadense



Fonte: Castanho e Arruda (2008)

Segundo Deganutti et al., (2002), o biodigestor modelo batelada trata-se de um sistema simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação pode ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Pode ser abastecido uma única vez, portanto, não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efetivo de produção de biogás, conforme Figura 6.

Figura 6- Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo batelada



Fonte: Deganutti et al., (2002)

3.5 Produtos obtidos a partir da digestão anaeróbia

3.5.1 Biogás

Biogás é uma mistura gasosa com potencial combustível, composta principalmente pelos gases CH_4 (50-70%) e CO_2 (30-50%) e traços de outros gases como os sulfetos, nitrogênio, monóxido de carbono e hidrogênio (BALMANT, 2009; SOUZA et al., 2010; ANGELIDAKI et al., 2018).

É considerado um biocombustível e uma fonte de energia limpa, uma vez que a emissão de gases poluentes é bem menor em comparação com a queima de combustíveis fósseis, trazendo desta forma benefícios econômicos, ambientais e climáticos (CHASNYK et al., 2015; SUN et al., 2015; ABDESHAHIAN et al., 2016; ARYAL et al., 2018; SCARLAT et al., 2018).

Através de geradores, o biogás pode ser usado para a geração de energia elétrica ou térmica, é uma alternativa ao uso do Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) ou à lenha, além disso, o biometano presente no biogás pode ser utilizado como substituto aos combustíveis derivados de petróleo (gasolina e diesel).

Para a utilização como combustível veicular é necessário que ocorra a purificação do biogás a fim de que o CO_2 e pequenas quantidades de outros gases

sejam removidos, gerando o biometano com concentração de CH₄ superiores a 96% (KONRAD et al., 2016).

De acordo com Karlsson et al., (2014), o biogás sempre se formou a partir da decomposição anaeróbia da matéria orgânica e, há muito tempo, este processo acontece pela quebra da matéria orgânica em ambientes anóxicos no fundo do mar, porém, somente a partir do final do século XIX e início do século XX que se começou a explorar a técnica de como utilizar o gás produzido a partir deste processo.

Os autores ainda relatam que, a China e a Índia foram os primeiros países a produzir biogás e a utilizá-lo como fonte de energia, mais especificamente para iluminação e cocção de alimentos. De início utilizavam restos de comidas e dejetos em geral como matéria prima, já na segunda metade da década de 1990 começaram a utilizar lodos de esgoto.

Marshi, Bressiani e Barbosa (2014) ressaltam que, a quantidade e a composição do biogás produzido no processo de digestão anaeróbia dependem do substrato adicionado ao biodigestor e das condições ambientais e parâmetros de operação.

Brasil (2008), salienta que os substratos ou resíduos utilizados na produção de biogás e biofertilizante podem ter diversas origens conforme mostra a Tabela 1.

Tabela 1 - Substratos que podem ser utilizados para produção de biogás e biofertilizante

Origens	Resíduos
Doméstica ou Urbana	Restos de Alimentos e Podas
Agrícola ou Industrial	resíduos de agroindústria alimentícia, indústria madeireira, frigoríficos
saneamento básico	lodos de estações de tratamento de esgotos

Fonte: Adaptado de Brasil (2008).

Matos (2016) enfatiza que, dentre os resíduos originados da pecuária, destaca-se o esterco animal, que geralmente são aplicados na lavoura sem o tratamento prévio, contaminando o lençol freático, causando a eutrofização de rios, dentre outros problemas ambientais.

Além das variáveis já citadas que podem comprometer os resultados com uso da digestão anaeróbia, é importante saber sobre a disponibilidade do substrato que será utilizado, avaliando-se fatores como quantidade, qualidade, logística entre outros fatores, pois são informações importantes na tomada de decisão e pode afetar diretamente na viabilidade de projeto neste segmento.

Levando-se em consideração que cada propriedade ou empresa irá gerar resíduos em quantidades e características diferentes, na Tabela 2 mostra-se a produção média diária de dejetos produzidos por diferentes animais e a respectiva produção de biogás.

Tabela 2 – Produção média de dejetos produzidos por diferentes animais e as produções de biogás.

Dejetos	Produção diária (kg/animal)	Produção de biogás (m³ por ton.)
Bovino	15	270
Suíno	2,25	560
Equinos	10	260
Ovinos	2,80	250
Aves	0,18	285

Fonte: Adaptado de Sganzerla (1983) apud Gaspar (2003).

Segundo Deganutti et al., (2002), para uma família de cinco pessoas, em termos de uso caseiro, são necessários cerca de 8,93 m³ de biogás por dia. Essa quantidade de gás corresponde a ¼ de um bujão de gás de 13 kg e pode ser obtida com a produção de esterco de 20 a 24 bovinos.

Barreira (2011), destaca que, para se produzir um metro cúbico (1m³) de biogás, são necessárias diferentes quantidades de resíduos a depender de sua fonte, como mostra a Tabela 3. Em termos práticos, cada m³ de gás metano equivale a 1,5Kg de lenha ou 1,5 litro de gasolina comum (PINTO, 2008).

Tabela 3 - Quantidades de resíduos para produção de 1m³ de biogás

Fonte	Quantidade (Kg)
Esterco fresco de vaca	25

Esterco seco de galinha	5
Esterco de porco	12
Plantas ou cascas de cereais	25
Lixo	20

Fonte: Adaptado de Barreira (2011).

Ainda de acordo com o autor, os resíduos devem ser diluídos em água antes de serem colocados no biodigestor. A regra geral é que se misture a matéria sólida com igual proporção de água, mas existem algumas porcentagens de mistura já avaliadas, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4 – Proporções de matéria orgânica e água

Matéria orgânica	Quant. de M.O. (l)	Quant. de água (l)	Proporção
Esterco de vaca fresco	1	1	1/ 1
Esterco de vaca seco à superfície	1	2	1/ 2
Esterco de cavalo	1	1	1/ 1
Restos culturais verdes	1	0,5 ou 2	1/ 0,5 ou 1/2
Esterco de galinha	1	2	1/ 2
Esterco de porco	1	1	1/ 1
Esterco Humano	1	1	1/ 1

Fonte: Adaptado de Barreira (2011).

O biogás assim como o biofertilizante podem ser usados na própria unidade produtora como comercializado seus excedentes, gerando assim renda à unidade ou propriedade. Pode-se também optar pela comercialização de créditos de carbono pela não emissão de CO₂. Oliveira (2009) realizou um estudo de produção de biogás por meio de tratamento do lixo urbano, onde pode observar que além de créditos de carbono e biofertilizante, comprovou a viabilidade econômica e ambiental com a aplicação do processo.

Chavalparit e Ongwandee (2009) ressaltaram que o uso do biogás como substituto de combustível fóssil em fecularias na Tailândia, aparece como uma opção de tecnologia limpa para o tratamento de subprodutos. Mshandete e Parawira (2009) atribuem ao aumento do interesse no biogás como fonte de energia a substituição de

combustível fóssil o fato de que o mesmo proporciona vantagens ambientais por ser gerado de recursos renováveis.

Godoy e Santos (2004) realizaram estudos de como as agroindústrias de mandioca se adaptaram à legislação ambiental ao lançarem os efluentes em corpos receptores e concluíram que, as pequenas agroindústrias tem dificuldades e custos maiores em seu controle para a tender à legislação, o que constitui mais uma desvantagem para as micro e pequenas empresas.

De acordo com Matos (2016) a maneira mais prática para se utilizar o biogás é o seu uso em geradores para a produção de energia elétrica, embora seja possível também, o uso direto para queima. Para que o biogás possa ser utilizado como combustível em carros, tratores e caminhões recomenda-se que ele seja purificado com objetivo de remover o CO₂ e demais gases presentes na composição para poder ser comprimido à alta pressão (DEGANUTTI et al., 2002). A Tabela 5 mostra a equivalência energética de 1 m³ de biogás

Tabela 5 - Equivalência energética de 1 m³ do biogás

	Unidades
Gasolina	0,61 L
Querosene	0,57 L
Óleo diesel	0,55 L
Gás liquefeito	0,45 Kg
Álcool combustível	0,79 L
Lenha	1,538 Kg
Energia elétrica	1, 428 Kw/h

Fonte: Deganutti et al., (2002).

Segundo Cremonez (2019), é difícil estabelecer uma relação ótima de ar e combustível em motores, uma vez que sua composição varia consideravelmente de acordo com a composição do material orgânico utilizado como matéria-prima, conforme já mencionado, justificando, assim, a necessidade da purificação do gás antes da sua utilização.

Algumas impurezas presentes no biogás como o ácido sulfídrico (H₂S), CO₂ e água, não apenas inibem o potencial energético do gás, mas lhe confere características corrosivas que podem danificar equipamentos como compressores e

motores de combustão, fazendo-se necessário seu tratamento a partir de técnicas como lavagem, adsorção físico-química, absorção e separação criogênica (PRATI, 2010; ACÁCIO, 2014; BRANCOLI, 2014; SONG et al., 2017; JIN et al., 2017; ARYAL et al., 2018).

Segundo Brancoli (2014) e Cremonez (2019) a remoção do CO₂ é um processo de purificação do biogás, e por ser o segundo componente mais presente na mistura gasosa e por não ser um gás combustível pode atrapalhar no processo de queima do biogás, portanto, se removido, o rendimento calorífico é maior devido ao aumento da concentração de CH₄.

Em diversas partes do mundo são instaladas usinas ou biodigestores para a produção de biogás e biofertilizante, porém ainda em pequenas quantidades, sobretudo no Brasil que, além de apresentar grande potencial neste segmento devido a diversidade de fontes de matérias-primas, fatores climáticos e outros.

Segundo dados do CIBiogás apresentados por Mariani (2015) sobre o Levantamento de unidades de produção de biogás no Brasil para fins energéticos ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), até o ano da apresentação, haviam no Brasil, um total de 148 unidades instaladas, com destaque para a região sul do País.

Em uma visão mais global, observa-se um aumento no número de pesquisas voltadas para a produção e utilização do biogás, seja em escala doméstica ou industrial além de investigarem os obstáculos e impactos socioeconômicos da adoção dessa tecnologia, principalmente em países pobres e subdesenvolvidos (MENGISTU et al., 2016).

3.5.2 Biofertilizante

Quando se trata de nutrição de plantas, logo se pensa na utilização de fertilizantes seja químico ou orgânico, que apresente um equilíbrio de macro e micronutriente indispensáveis para que haja desenvolvimento adequado de plantas e também melhore as características do solo.

O composto resultante da digestão anaeróbia, conhecido por biofertilizante, apresenta valor agregado por reciclar os nutrientes presentes no resíduo inicial. A matéria orgânica digerida é, portanto, um ótimo fertilizante natural, com altas concentrações de fósforo e nitrogênio, promove melhoria nas propriedades físicas do solo, tornando-o mais solto, com menor densidade, estimulando as atividades

biológicas (MARSHI, BRESSIANI e BARBOSA, 2014) e, reduz a acidez do solo devido à capacidade de retenção de bases, pela formação de complexos orgânicos e pelo desenvolvimento de cargas negativas (OLIVEIRA et al., 1986).

Com um pH básico de aproximadamente 7,5, o biofertilizante também atua como corretivo do pH do solo, além de não propagar mau cheiro e não ser poluente (SGANZERLA, 1983; BARROS, 2019). O pH do solo afeta a disponibilidade de nutrientes, os microrganismos do solo e o crescimento das raízes (GALBIATTI et al., 1996; TAÍZ et al., 2017).

A produção de biofertilizante é decorrente do processo de fermentação, ou seja, da atividade dos microrganismos na decomposição da matéria orgânica e complexação de nutrientes, o que pode ser obtido com a simples mistura de água e esterco fresco (TIMM et al., 2004, SANTOS, 1992), da mesma forma, outros tipos de resíduos orgânicos também podem ser utilizados para esta finalidade.

A fermentação pode ser realizada de maneira aeróbica e anaeróbica e o resultado desse processo é um sistema de duas fases, uma sólida usada como adubo organomineral e outra líquida utilizada como adubo foliar (BURG e MAYER, 1999). A composição do biofertilizante pode variar de acordo com o tipo de resíduo utilizado.

Segundo Darolt e Neto (2006) o uso de biofertilizante foi constatado no início da década de 80 por extensionistas da EMATER-RIO, em lavouras de café e cana-de-açúcar, regados nas covas para realizar a complementação nutricional e auxiliar na irrigação, já que era altamente diluído. Os resultados alcançados com as pulverizações de biofertilizante líquido a 20% em diluição com água, mostraram a redução de ataque de fitopatógenos e de pragas, devido ao equilíbrio do ecossistema das lavouras pulverizadas, além do aumento da produção e da produtividade (SANTOS, 1991).

No caso do biofertilizante proveniente da digestão anaeróbia do efluente do processamento da mandioca, segundo Pessuti et al., (2015) trata-se de um produto rico em matéria orgânico, e fornece elementos essenciais para o desenvolvimento da planta, como, nitrogênio, fósforo e potássio. De acordo com os autores, quando este biofertilizante é adicionado ao solo, promove a mineralização dos elementos que poderão ser absorvidos pelas plantas da mesma forma que os dos fertilizantes minerais, além de melhorar suas qualidades físicas, químicas e biológicas.

Araújo et al., (2007) avaliaram o efeito de doses de esterco bovino, na presença e ausência de biofertilizante, aplicados no solo e via foliar em pimentão, observou-se

que a aplicação do biofertilizante de forma isolada ou associada com matéria orgânica, apresenta-se como uma alternativa á adubação convencional, observou-se também que, a aplicação via foliar resultou em maiores incrementos na produtividade de frutos comerciais no pimentão.

De acordo com Fernandes e Testezlaf (2002), a reciclagem de resíduos orgânicos, visando o seu reaproveitamento como fonte alternativa para a produção de biofertilizante, é uma medida estratégica sob o ponto de vista ambiental e conveniente quando economicamente viável.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Substratos para digestão

Os substratos utilizados nos ensaios foram a manipueira, proveniente da produção de fécula de mandioca e esterco de gado leiteiro.

A manipueira foi obtida em uma Fecularia situada na zona rural do Município de Aparecida do Rio Negro, localizado a 66 Km de distância de Palmas Tocantins. O material foi coletado diretamente da calha de decantação na área de processo da empresa e depositado em recipiente plástico com volume total de 20 litros, conforme mostra a Figura 7.

Figura 7 - Coleta da manipueira em calha de decantação (A) e armazenamento em recipiente plástico (B)



Fonte: Autor

A coleta da manipueira foi realizada diretamente da calha de decantação com o auxílio de uma jarra graduada, e armazenada em um recipiente plástico com volume de 20 litros de capacidade.

A manipueira coletada, já estava nas calhas de decantação há cerca de 12 horas, pois a mandioca havia sido processada no final do dia anterior.

O esterco bovino foi obtido em uma pequena propriedade rural na mesma cidade onde foi coletada a manipueira. Foram coletados dejetos frescos, no local onde

se realiza a ordenha dos animais, o esterco foi colocado em um recipiente plástico com o auxílio de uma pá, conforme mostra a Figura 8.

Figura 8 – Esterco bovino coletado em recipiente plástico



Fonte: Autor

Na propriedade são criados gados leiteiros, manejados em sistema de pastejo intensivo rotacionado. Na época da coleta, a propriedade contava com um total de 10 vacas em período de lactação.

Após as coletas todo o material foi encaminhado ao Laboratório de Material Compósitos (LMC) localizado na UFT, onde permaneceu até o início das pesagens e distribuição nos biodigestores.

4.2 Biodigestores e condições experimentais

O experimento foi conduzido em uma área aberta com cobertura, localizado na sede da UFT no município de Palmas. O experimento foi instalado no dia 2 de agosto de 2018 permanecendo até o dia 10 de setembro de 2018, quando foram realizadas as coletas do biogás e do biofertilizante, totalizando 41 dias.

Optou-se por não realizar correções do potencial hidrogeniônico, controlar a temperatura, e acrescentar água a mistura, pois são fatores que podem influenciar nos custos se implantados em sistemas de larga escala.

No experimento utilizou-se 15 unidades de biodigestores, que foram confeccionados utilizando-se potes de vidro com tampas plásticas com capacidade total de 3 litros. Para os manômetros, utilizou-se mangueira cristal 5/16 mm. Para o encaixe do manômetro ao pote, utilizou-se bicos de torneiras de plástico que foram inseridas em um pequeno orifício feito na tampa, sendo posteriormente, devidamente vedados utilizando-se abraçadeiras metálicas e cola silicone na parte interna e externa das tampas.

Depois de abastecidos com os substratos, os potes foram colocados sobre um banco de madeira de 70 cm de altura e, os manômetros de coluna d'água foram presos a um compensado fixo na parede. (Figura 9).

Figura 9 - Biodigestores confeccionados



Fonte: Autor

As análises do substrato, biogás e do biofertilizante, foram realizadas nos seguintes Laboratórios: Laboratório de Materiais Compósitos (LMC), Laboratório de Solos (LABSOLOS), Laboratório de Saneamento Ambiental (LABSAN), Laboratório de sistemas de produção de energia a partir de fontes renováveis (LASPER) localizados no campus da UFT em Palmas e Laboratório de Aquicultura Sustentável da Universidade Estadual paulista (UNESP) -Instituto de Biociências, Campus do Litoral Paulista, São Paulo.

4.3 Delineamento Experimental

Utilizou-se o Delineamento Inteiramente Casualizado (DIC), sendo composto por 5 tratamentos e três repetições.

Em cada um dos 5 tratamentos (concentrações de esterco bovino e manipueira), foram confeccionados três biodigestores (repetições), totalizando 15 unidades (parcelas experimentais). A Tabela 6 mostra os tratamentos avaliados e suas respectivas composições.

Tabela 6 - Composição dos tratamentos em massa (g)

Tratamentos	Manipueira %	Esterco Bovino %
1	90	10
2	85	15
3	80	20
4	75	25
5	70	30

Fonte: Autor

Para a análise dos dados utilizou-se o teste de normalidade Shapiro Wilk. Os dados que não estavam na curva padrão foram transformados na opção logaritmo base 10. Posteriormente foi gerada a Análise de Variância (ANAVA) e as médias comparadas por teste de regressão. Os modelos foram avaliados pelo teste F ao nível de 5% de significância. Todas as análises foram realizadas utilizando-se o software SISVAR 5.6 (FERREIRA, 2000).

Os gráficos que mostram os valores médios das variáveis avaliadas foram feitos utilizando-se o programa Excel - 2016, versão para ambiente Windows.

4.4 Outros procedimentos

4.4.1 Determinação da massa específica da manipueira e do esterco bovino

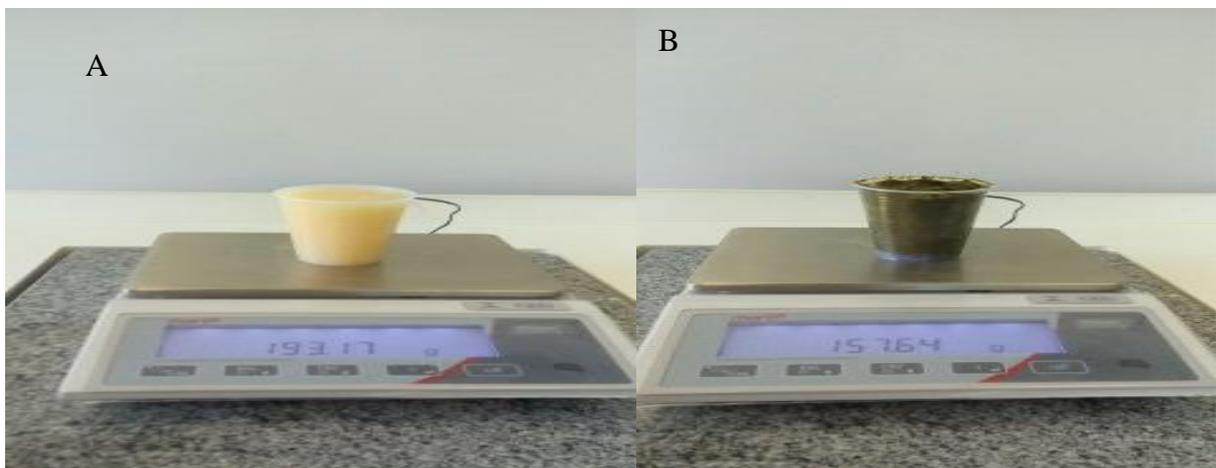
Inicialmente foi realizada a determinação de massa específica como segue:

Utilizou-se um copo descartável com volume de 150 ml. Para garantir a exatidão do volume foi feita a verificação colocando-se água contida em uma proveta

graduada. Foram feitas três repetições. Verificou-se que o volume realmente era 150 ml.

Foram feitas três amostras de esterco bovino, utilizando o copo descartável aferido. O esterco foi colocado dentro do copo sem compactação, no entanto, tomou-se o cuidado para não deixar espaços vazios, o mesmo foi colocado até a borda do copo nivelado conforme mostra a Figura 10.

Figura 10 – Pesagem da manipueira (A) e do esterco bovino (B) para determinação da massa específica.



Fonte: Autor

As amostras foram pesadas no Laboratório de Materiais Compósitos. Utilizou-se uma balança marca Marte, Modelo Ad3300 com capacidade máxima de 3110 g e mínima de 0,5 g. Sensibilidade de 01 g. Seguem dados na Tabela 7.

Tabela 7 – Dados obtidos nas pesagens do esterco bovino para se obter a determinação da massa específica

Amostras	Massa (g)	Volume (m³)	Massa específica (kg/m³)
esterco1	128,85	1,50E-01	8,59E-01
esterco2	138,01	1,50E-01	9,20E-01
esterco3	118,24	1,50E-01	7,88E-01
Massa específica			8,56E-01
Desvio Padrão			0,07

Fonte: Autor

Para a manipueira, o processo de determinação de massa específica foi o mesmo utilizado para a determinação do esterco bovino. Seguem dados obtidos na Tabela 8.

Tabela 8 – Dados obtidos nas pesagens da manipueira para se obter a determinação da massa específica

Amostras	Massa(g)	Volume m3)	Massa específica (kg/m3)
Manipueia1	146,39	1,50E-01	9,76E-01
Manipueia2	143,54	1,50E-01	9,57E-01
Manipueia3	143,27	1,50E-01	9,55E-01
Massa específica			9,63E-01
Desvio Padrão			0,01

Fonte: Autor

4.4.2 Pesagem dos substratos para a obtenção dos valores em massa e volume.

Antes de iniciar as pesagens dos materiais, estimou-se um volume de cerca de 1.150ml para que houvesse uma padronização de espaços utilizados e vagos em cada biodigestor. As porcentagens em massa (g) do esterco foram mantidas em 10%, 15%, 20%, 25% e 30% nos respectivos tratamentos.

Inicialmente foram realizadas as pesagens do esterco e logo em seguida da manipueira, para isso utilizou-se um recipiente plástico para a pesagem do esterco e uma jarra graduada para a manipueira. O material foi colocado aos poucos no recipiente, seguindo os valores percentuais de massa e volume estimados, logo após a pesagem, os valores foram anotados em uma planilha e o material depositado dentro dos biodigestores. A cada pesagem a balança foi zerada e iniciada outra pesagem. Todo o procedimento foi repetido na pesagem de ambos substratos.

Todas as amostras foram pesadas na balança marca Marte, Modelo AD3300 com capacidade máxima de 3110 g e mínima de 0,5 g. Sensibilidade de 0,1 g.

4.4.3 Abastecimento, instalação e determinação do potencial hidrogeniônico

Após as pesagens, os substratos foram colocados diretamente nos biodigestores e homogeneizado com o auxílio de um cano PVC e encaminhado ao local do experimento.

No local do experimento, o material foi novamente homogeneizado e realizado o procedimento de determinação do pH que foi realizado nos próprios recipientes. Utilizou-se um pHmetro portátil digital marca: Digital Instruments, modelo: PA-221.

Os biodigestores foram distribuídos aleatoriamente sobre o banco de madeira e tampados. Na vedação dos biodigestores, utilizou-se cola silicone na parte interna das tampas e logo após fechou-se os potes. Após fechados utilizou-se fita adesiva e tiras de borrachas na parte externa próximo as tampas para evitar vazamentos.

4.4.4 Coleta e análise do Biogás

Para a coleta do biogás utilizou uma seringa hipodérmica estéril de 20 ml e uma agulha hipodérmica 22G x 1¹/₄ (30mm x 0,70mm), já para o armazenamento utilizou-se frascos vácuos com septo de borracha com capacidade de 10ml.

Inseriu-se a agulha no manômetro e extraiu-se o gás de forma que a seringa fosse completamente preenchida, logo em seguida o biogás extraído foi depositado nos frascos identificados. Todo o procedimento foi repetido para as 15 coletas,

Após finalizada as coletas, os frascos foram embalados e encaminhados via correios para o Laboratório de Aquicultura Sustentável da UNESP para a realização das análises cromatográficas. As amostras do gás foram analisadas usando um analisador permanente de gases Shimadzu GC-2014, seguindo metodologia adotada por Matvienko et al., (2001).

4.4.5 Coleta e análise do Biofertilizante

Para a coleta do biofertilizante, utilizou-se uma seringa de 60 mL e, para o armazenamento utilizou-se tubos tipo falcom com capacidade de 15 mL cada. Retirou-se uma amostra homogênea do biofertilizante e depositou nos tubos que foram devidamente identificados e fechados.

Após a coleta, todo o material foi encaminhado ao LABSOLOS e acondicionados em uma geladeira. No dia seguinte as amostras foram retiradas da geladeira para medir o pH e, em seguida foram guardadas em um freezer. Utilizou-se um pHmetro portátil digital marca: Digital Instruments, modelo: PA-221.

As coletas do biogás e do biofertilizante foram realizadas no dia 10 de setembro de 2018 no período da tarde.

Conforme mostra a Figura 11, as análises de K e Na na fração líquida do biofertilizante, foram realizadas em um Fotômetro de Chama modelo 910M-Analyser, no LABSOLOS.

Figura 11 – Análises do biofertilizante (potássio e sódio) em Fotômetro de Chama



Fonte: Autor

As análises do fósforo Total foram obtidas segundo a metodologia de parâmetros físico-químicos de APHA (2005), no LABSAN.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 9 estão os valores em volume (mL) e massa (g) obtidos a partir das pesagens da manipueira e do esterco bovino antes de serem inseridos nos biodigestores.

Tabela 9 – Dados obtidos com a pesagem dos substratos

Tratamentos e Repetições	Manipueira (g)	Esterco (g)	Esterco (%)	Volume (mL)
T1R1	978,00	108,63	10,0%	1.142,87
T1R2	983,21	109,98	10,1%	1.149,85
T1R3	977,37	108,56	10,0%	1.142,13
T2R1	924,39	162,89	15,0%	1.150,58
T2R2	923,66	162,88	15,0%	1.149,81
T2R3	924,16	162,97	15,0%	1.150,43
T3R1	865,25	216,17	20,0%	1.151,41
T3R2	866,31	217,78	20,1%	1.154,39
T3R3	864,06	217,12	20,1%	1.151,28
T4R1	804,06	267,73	25,0%	1.148,09
T4R2	804,22	267,29	24,9%	1.147,74
T4R3	804,42	267,76	25,0%	1.148,50
T5R1	746,41	320,07	30,0%	1.149,37
T5R2	746,40	319,46	30,0%	1.148,64
T5R3	746,27	321,65	30,1%	1.151,07

Fonte: Autor

A Figura 12 mostra os biodigestores já abastecidos e distribuídos sobre um banco de madeira, onde permaneceram durante todo o processo de digestão dos substratos, até a coleta do gás e do biofertilizante.

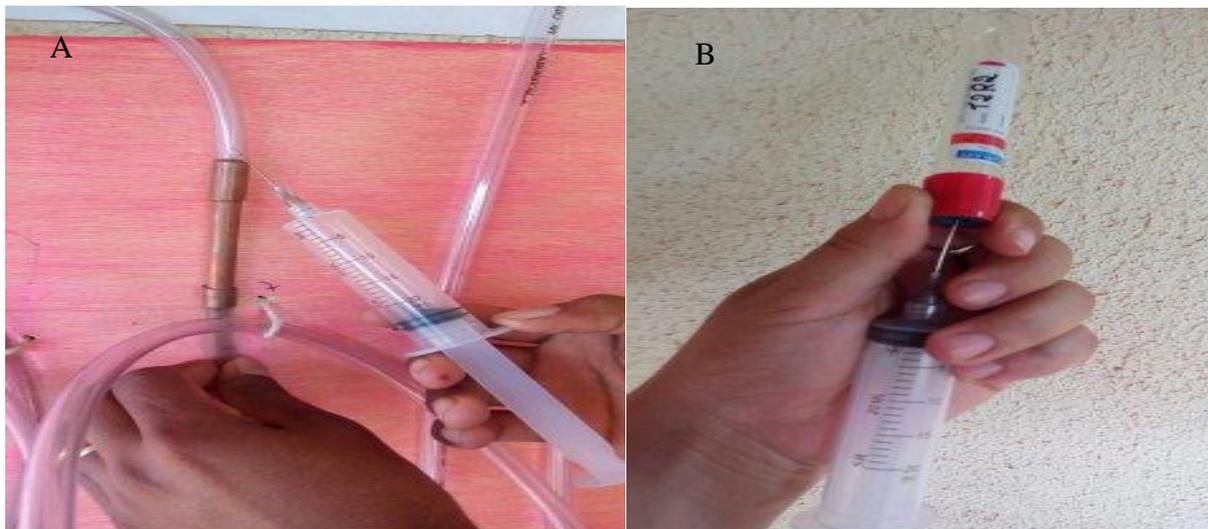
Figura 12- Instalação dos biodigestores com substratos



Fonte: Autor

A Figura 13 mostra a coleta (A) e armazenamento (B) do biogás para posterior realização das análises.

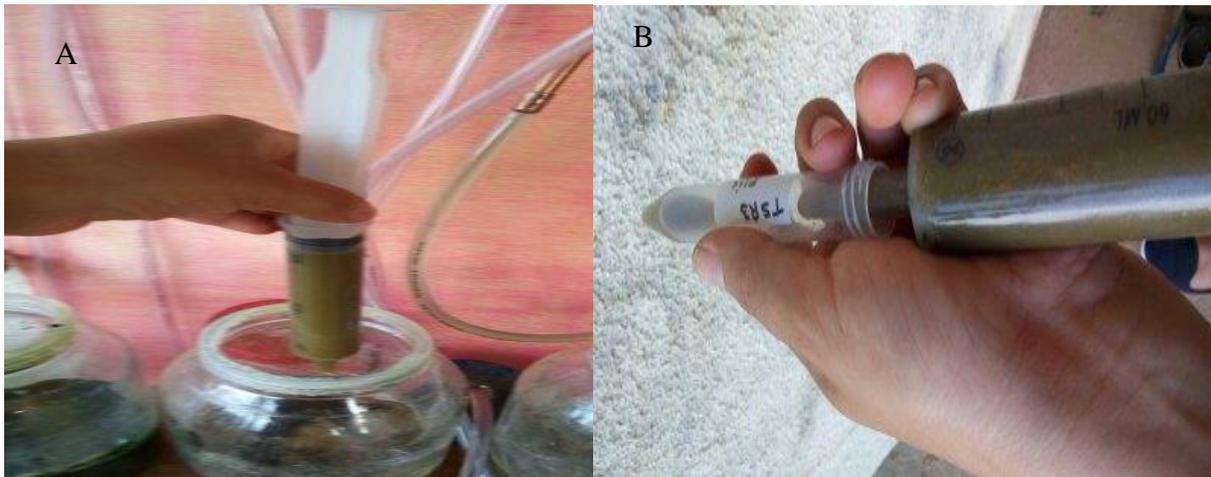
Figura 13- Coleta (A) e armazenamento (B) do biogás



Fonte: Autor

A Figura 14 mostra a coleta (A) e armazenamento (B) do biofertilizante, para posterior realização das análises.

Figura 14 - Coleta (A) e armazenamento (B) do biofertilizante



Fonte: Autor

5.1 Teste de significância das variáveis

A Tabela 10 mostra o teste de significância das variáveis avaliadas através da Análise de Variância. Analisando-se os resultados apresentados na tabela, verifica-se que todas as variáveis avaliadas com exceção a variável pH B (pH do biofertilizante), apresentaram diferença significativa, ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F ($p < 0,05$). A variável P (fósforo) apresentou diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias dos tratamentos, porém, devido à falta de correlação, não foi gerado o ajuste pelo teste de regressão.

Tabela 10 - Teste de significância das variáveis explicativas na análise de regressão - Análise de Variância –ANAVA

FV	GL	QM						
		CH ₄	CO ₂	K	Na	P	pH S	pH B
Tratamentos	4	0,38*	0,08*	2090,066*	103,066*	0,16*	0,47*	0,00 ^{ns}
Erro	10	0,010	0,00	23,266	2,66	0,01	0,004	0,00
T. Corrigido	14							
CV (%)		6,30	1,59	3,61	7,33	5,97	1,18	2,40

CV – Coeficiente de Variação / * - Significativo a 5% de probabilidade. / ns - Não significativo

5.2 Teores médios de CH₄ e CO₂ no biogás em percentual

A partir da Figura 15, pode-se visualizar os valores médios de metano no biogás em função dos tratamentos. Os dados ajustados pelo teste de regressão, foram representados pelo modelo matemático da equação (1). A equação representa a qualidade do biogás quanto ao teor de metano em função dos tratamentos avaliados.

$$Y = 0,075539x^3 - 0,774435x^2 + 2,507361x - 0,817024 \text{ (Equação 1)}$$

O Coeficiente de determinação apresentado ($R^2 = 0,9009$) próximo de 1, demonstra que o modelo proposto está adequado para descrever os resultados.

A Tabela 11 mostra as concentrações de CH₄ no biogás.

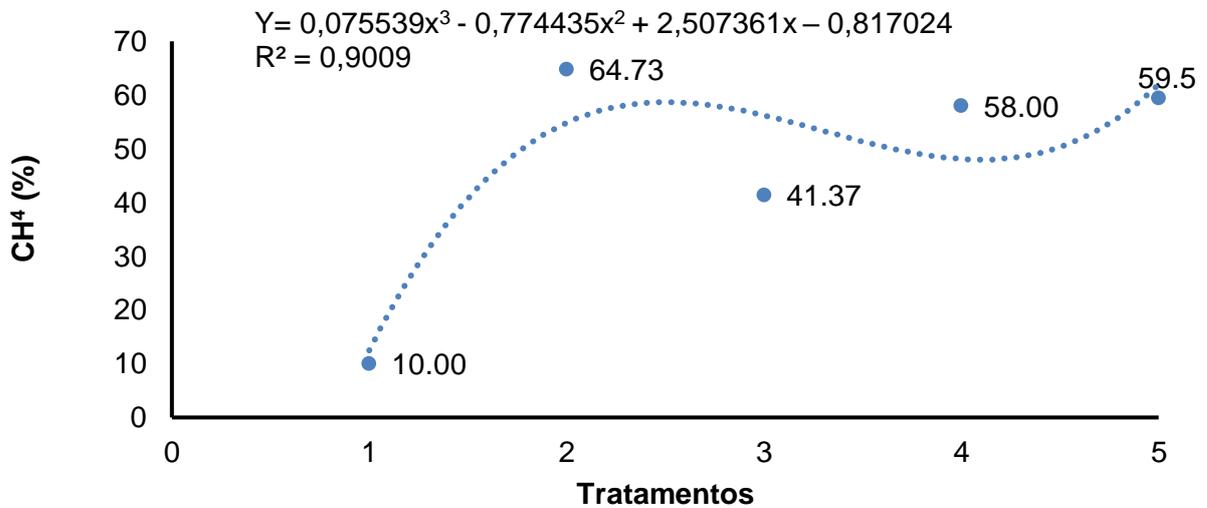
Tabela 11 – Concentrações de CH₄ no biogás em percentual

Tratamentos/ repetições	CH ₄ (%)
T1R1	9.5
T1R2	15
T1R3	5.5
T2R1	64,5
T2R2	65
T2R3	64,7
T3R1	46,6
T3R2	41.2
T3R3	36.3
T4R1	57.7
T4R2	54,3
T4R3	62
T5R1	59.4
T5R2	59.5
T5R3	59.6

Fonte: Autor

Conforme mostra a Figura 15, a produção de CH₄ foi constatada em todos os tratamentos avaliados. Teores de 10,00; 64,73; 41,37; 58,00 e 59,5% de metano no biogás foram obtidos dos tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Figura 15 – Teor médio de CH₄ (%) no biogás em função dos tratamentos



Observou-se uma maior variação no percentual de metano produzido entre o tratamento 1 com os demais tratamentos, essas variações podem estar relacionadas as diferentes proporções dos substratos utilizados nos respectivos tratamentos. provavelmente o tratamento 1 com (90% manipueira + 10% esterco) com menor concentração de esterco e maior concentração de manipueira, não tenha favorecido a produção do gás.

Os tratamentos 2, 4 e 5 apresentaram produções mais expressivas de metano 64,73; 58,00 e 59,5% respectivamente, estando, portanto, dentro da média citada na literatura sobre a composição do biogás.

Segundo Souza et al., (2010) e Angelidaki et al., (2018), o biogás possui em sua composição, cerca de 50 a 70% de CH₄, corroborando com os dados obtidos nesta pesquisa. Marshi, Bressiani e Barbosa (2014) ressaltam que, a quantidade e a composição do biogás produzido no processo de digestão anaeróbia dependem do substrato adicionado ao biodigestor e das condições ambientais e parâmetros de operação.

Portanto, levando-se em consideração as condições experimentais e parâmetros utilizados na condução deste experimento, pode-se inferir que o tratamento 2 com (85% manipueira+15% esterco) apresenta-se como a opção mais viável para a produção de biogás com maior percentual do gás metano.

Na Figura 16, apresentam-se os resultados referentes às porcentagens de CO₂ no biogás. Os dados ajustados pelo teste de regressão, foram representados pelo

modelo matemático da equação (2). A equação representa a qualidade do biogás quanto ao teor de dióxido de carbono em função dos tratamentos avaliados.

$$y = -0,041308x^3 + 0,401709x^2 - 1,216313x + 2,788517 \text{ (Equação 2)}$$

O Coeficiente de determinação apresentado ($R^2 = 0,7048$) demonstra que o modelo proposto está adequado para descrever os resultados.

A Tabela 12 mostra as concentrações de CO_2 no biogás.

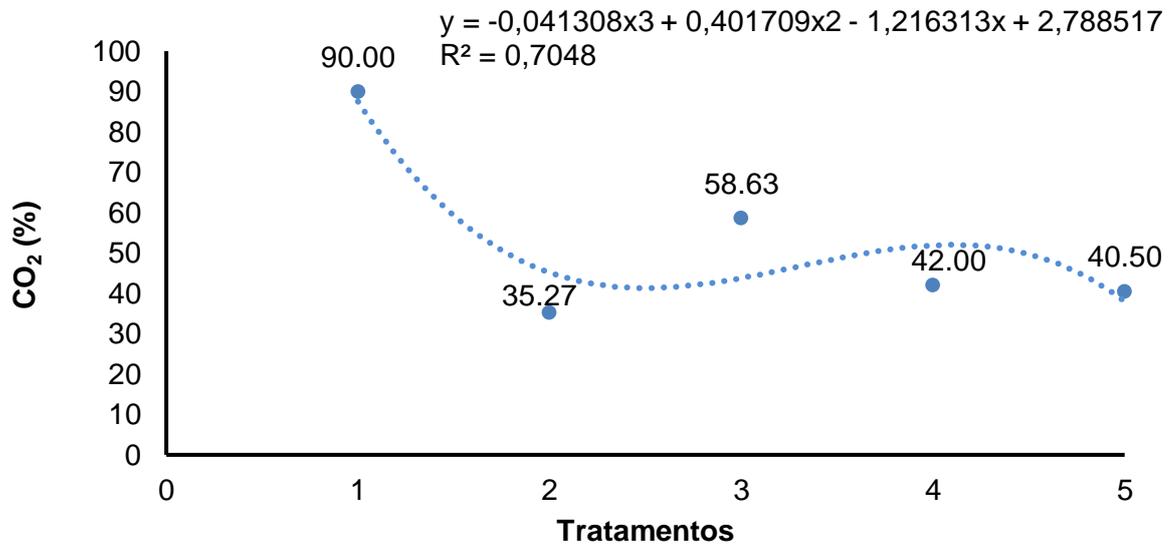
Tabela 12 - Concentrações de CO_2 no biogás em percentual

Tratamentos/ repetições	CO_2 (%)
T1R1	90.5
T1R2	85
T1R3	94.5
T2R1	35.5
T2R2	35
T2R3	35.3
T3R1	53.4
T3R2	58.8
T3R3	63.7
T4R1	42.3
T4R2	45.7
T4R3	38
T5R1	40.6
T5R2	40.5
T5R3	40.4

Fonte: Autor

A partir dos resultados apresentados na Figura 16, observa-se variações mais acentuadas entre o tratamento 1 com os demais tratamentos, onde o tratamento 1 aparece com maior concentração de dióxido de carbono e o tratamento 2 com menor 90% e 35,27% respectivamente.

Figura 16 – Teor médio de CO₂ (%) no biogás em função dos tratamentos



O CO₂, é o segundo gás mais presente na composição do biogás, variando de 30% a 50% segundo Souza et al., (2010) e Angelidaki et al., (2018). Portanto, com base nos resultados apresentados, pode-se dizer que todos os tratamentos com exceção o tratamento 1, possuem potencial para produção de biogás rico em CH₄ e com menores concentrações de CO₂.

A presença de CO₂ em grandes quantidades no biogás não é desejada pelo fato de comprometer sua qualidade além de diminuir seu potencial energético, sendo necessário realizar a purificação do biogás antes de utilizá-lo.

Segundo Brancoli (2014) e Cremonez (2019) a remoção do CO₂ é um processo de purificação do biogás, e por ser o segundo componente mais presente na mistura gasosa e por não ser um gás combustível pode atrapalhar no processo de queima do biogás, portanto, se removido, o rendimento calorífico é maior devido ao aumento da concentração de CH₄.

Portanto, pode-se inferir que, o tratamento 2 apresenta a fração ideal de manureira e esterco bovino (85%+ 15%) respectivamente, para a produção de biogás rico em metano e com menores concentrações de dióxido de carbono.

5.3 Concentrações médias de Na e K (mg/L) no biofertilizante

Na Figura 17 são apresentadas as concentrações médias de Na em mg/L no biofertilizante. Os dados ajustados pelo teste de regressão, foram representados pelo modelo matemático da equação (3). A equação representa, em função dos tratamentos avaliados, a qualidade do biofertilizante representado pela concentração de sódio.

$$y = 3,633333x + 11,366667 \text{ (Equação 3)}$$

O Coeficiente de determinação apresentado ($R^2 = 0,9606$) demonstra que o modelo proposto está adequado para descrever os resultados.

A Tabela 13 apresenta as concentrações de Na no biofertilizante.

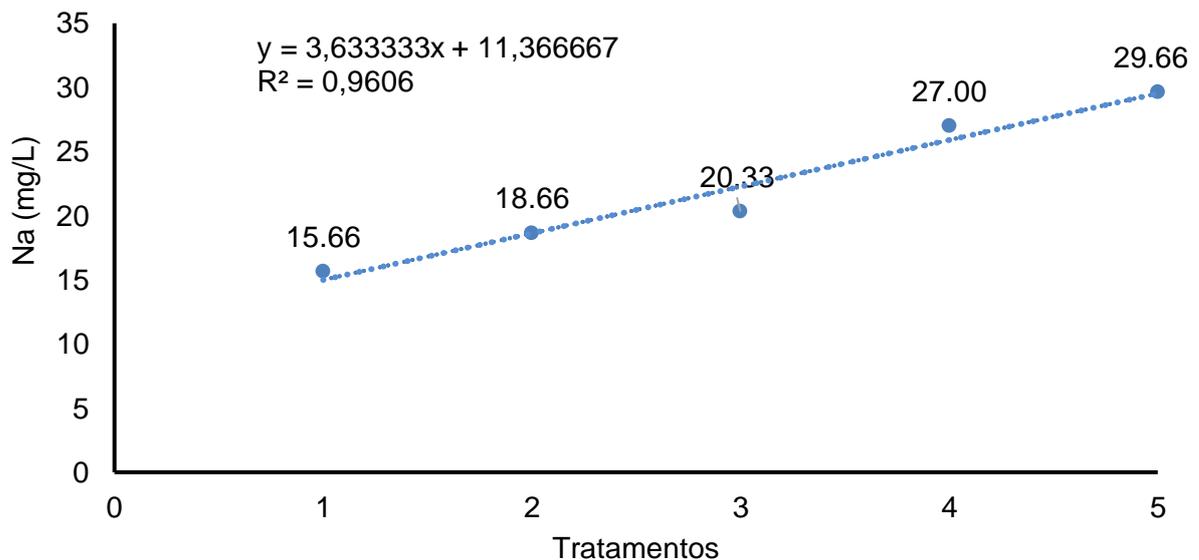
Tabela 13 – Concentrações de Na (mg/L) no biofertilizante

Tratamentos/ repetições	Na (mg/L)
T1R1	16
T1R2	16
T1R3	15
T2R1	20
T2R2	18
T2R3	18
T3R1	23
T3R2	20
T3R3	18
T4R1	26
T4R2	27
T4R3	28
T5R1	29
T5R2	28
T5R3	32

Fonte: Autor

Observa-se na Figura 17, a presença de sódio em todos os tratamentos avaliados. Teores de 15,66; 18,66; 20,33; 27,00 e 29,66 mg/L de sódio no biofertilizante foram obtidos dos tratamentos 1, 2, 3, 4 e 5, respectivamente.

Figura 17 - Valores médios de Na em mg/L no biofertilizante



Observa-se que há um aumento gradativo nas concentrações de sódio nos tratamentos, ao passo que se aumenta a fração de esterco e diminui a fração da manipueira. Provavelmente isso se explica pelo fato dos dejetos bovinos terem em sua composição, elementos advindos de sua alimentação.

De acordo com Daniel (2015), os resíduos dos bovinos são ricos em matéria orgânica e contém quantidades significativas de nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, sódio, magnésio, ferro, zinco e outros elementos constituintes das dietas dos animais. Portanto, pode-se dizer que, a composição do esterco bovino utilizado, exerce influência na composição do biofertilizante produzido.

Com base nos resultados apresentados, observa-se que o tratamento 5 (70% manipueira + 30% esterco) foi o que produziu biofertilizante com maior concentração de sódio. Vale ressaltar que, as concentrações dos nutrientes presentes no biofertilizante podem variar a depender do substrato utilizado e de outras variáveis.

O emprego de fertilizantes orgânicos tem papel fundamental no aumento de produção, visto que, por conterem elevados teores de matéria orgânica podem melhorar as características físicas, químicas e biológicas do solo, além de promover

um desenvolvimento vegetativo adequado à obtenção de produtividade economicamente viável aos produtores rurais (SILVA et al., 2012; OLIVEIRA et al., 2001; ARAÚJO et al., 2007).

Como o objetivo de ter um melhor aproveitamento dos nutrientes presentes no biofertilizante por parte das plantas, faz-se necessário saber as necessidades nutricionais específicas da cultura que irá receber a aplicação, além disso, deve-se também, estar atento as legislações vigentes que estabelecem regras e normas de qualidade dos produtos destinados a agricultura.

De acordo com Matos (2016), o DECRETO Nº 4.954 dispõe sobre a inspeção e a fiscalização da produção e do comércio de fertilizantes, corretivos, inoculantes ou biofertilizantes destinados à agricultura, e dá outras providências.

A Figura 18 mostra as concentrações médias de Potássio em mg/L obtidos no biofertilizante. Os dados ajustados pelo teste de regressão, foram representados pelo modelo matemático da equação (4). A equação representa, em função dos tratamentos avaliados, a qualidade do biofertilizante representado pela concentração de potássio.

$$y = -2,2857x^2 + 30,18x + 68,332 \text{ (Equação 4)}$$

O Coeficiente de determinação apresentado ($R^2 = 0,9992$) demonstra que o modelo proposto está adequado para descrever os resultados.

Semelhante aos resultados obtidos na análise de sódio, os resultados mostram que há aumento gradativo na concentração de potássio na medida em que se diminui a concentração de manipueira e aumenta-se a concentração do esterco, apresentando as seguintes médias nos tratamentos consecutivamente: 96,33 mg/L, 119,00 mg/L, 139,33 mg/L, 151,66 mg/L e 162,33 mg/L, portanto, pode-se afirmar que o tratamento 5, com adição de 30% de esterco foi o que apresentou melhores resultados com a produção de potássio.

A Tabela 14 mostra as concentrações de K (mg/L) no biofertilizante.

Tabela 14 – Concentrações de K (mg/L) no biofertilizante

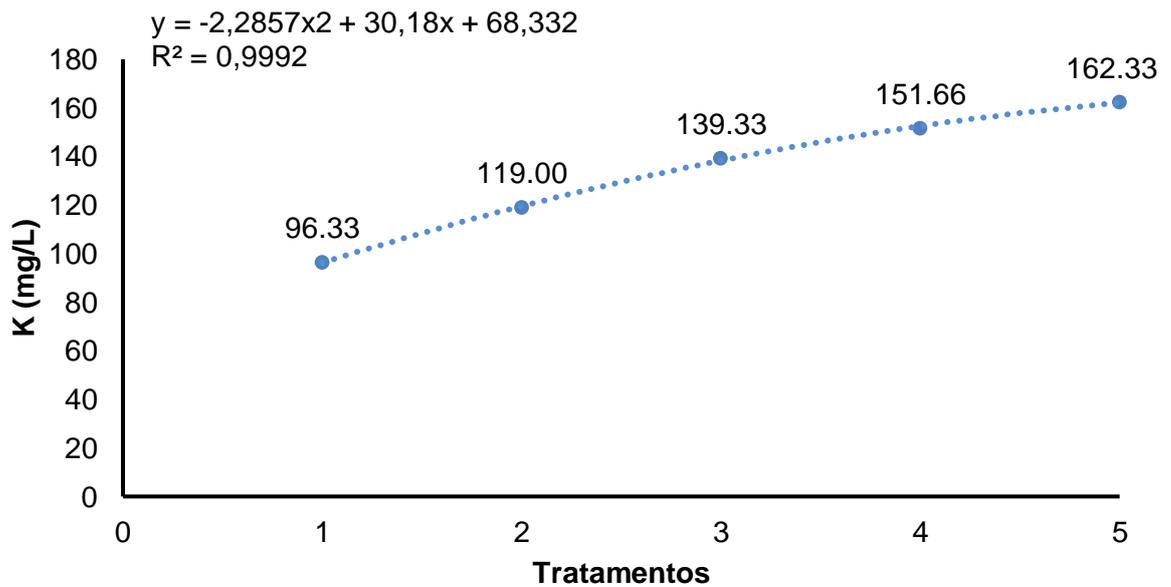
Tratamentos/ repetições	K (mg/L)
T1R1	93

T1R2	94
T1R3	102
T2R1	112
T2R2	120
T2R3	125
T3R1	136
T3R2	139
T3R3	143
T4R1	148
T4R2	151
T4R3	156
T5R1	158
T5R2	162
T5R3	167

Fonte: Autor

Observa-se a partir da Figura 18 o aumento das concentrações de K no biofertilizante em relação aos tratamentos avaliados.

Figura 18 - Valores médios de Potássio (K) em mg/L no biofertilizante



De acordo com Ubalua (2007), o biofertilizante gerado no processo de digestão anaeróbia é rico em material orgânico, com grande poder fertilizante, fornecendo elementos essenciais para o desenvolvimento de plantas, como nitrogênio, fósforo e potássio, além de melhorar as qualidades físicas, químicas e biológicas do solo.

Vale ressaltar que, apesar de ser um ótimo composto para a nutrição de plantas e melhorar as características do solo, deve-se ter alguns cuidados antes de utilizá-lo. Dal Bosco et al., (2008) mencionam que a frequência e a quantidade de efluente aplicado no solo deve ser seguido de análise das características do resíduo, condições climáticas e composição química do solo, com estes cuidados, evita-se possíveis contaminações do solo e das águas, podendo afetar direta e indiretamente a saúde do homem.

Segundo Inoue (2008), a viabilidade da utilização do biofertilizante vai depender também do tipo de cultura, tendo como base o atendimento às necessidades nutricionais das culturas.

Pessuti et al., (2015) realizaram estudo com o objetivo de avaliar a taxa de crescimento e produtividade de uma variedade de soja utilizando biofertilizante proveniente da digestão anaeróbia do efluente da indústria de processamento de mandioca. Os resultados foram satisfatórios, uma vez que a taxa de crescimento médio das plantas e a produtividade de grãos do tratamento que recebeu a maior dose de biofertilizante, foram 90% e 250%, respectivamente, maiores que os das plantas que não receberam nenhuma dose do biofertilizante.

Villela Júnior et al., (2007) utilizaram efluente de biodigestor proveniente da fermentação de esterco bovino como substrato e solução nutritiva no cultivo do meloeiro, obtendo crescimento vegetativo mais rápido, maior precocidade na colheita, frutos mais pesados e maior produtividade.

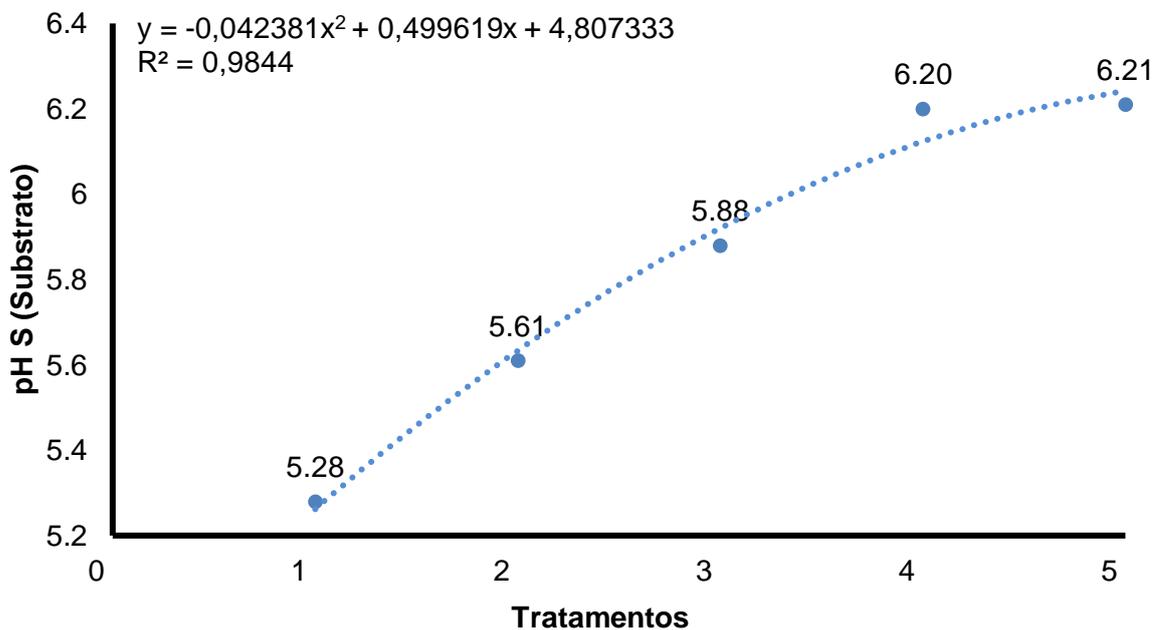
Desta forma, com base nos resultados obtidos nesta pesquisa, pode-se verificar que o tratamento 5 apresentou maior produção potássio, vale ressaltar a importância de se avaliar outras variáveis no biofertilizante que podem influenciar na qualidade e aplicabilidade do mesmo.

Na avaliação da concentração de fósforo, os resultados apresentaram diferença significativa ($p < 0,05$) nas médias dos tratamentos, mas, não se obteve uma função por regressão, devido à falta de correlação dos dados.

5.4 Valores médios do Potencial Hidrogeniônico do substrato e do biofertilizante em função dos tratamentos

Na Figura 19 são apresentados os valores médios do pH do substrato utilizado neste trabalho em função a porcentagem de manipueira e porcentagem de esterco.

Figura 19 - Valores médios de Potencial Hidrogeniônico do substrato (PHS) em função dos tratamentos



Os dados ajustados pelo teste de regressão, foram representados pelo modelo matemático da equação (5). A equação representa, em função dos tratamentos avaliados, as variações do pH no substrato utilizado.

$$y = -0,042381x^2 + 0,499619x + 4,807333 \text{ (Equação 5)}$$

O Coeficiente de determinação apresentado ($R^2 = 0,9844$) demonstra que o modelo proposto é adequado para descrever os resultados.

Observou-se diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos. Os valores médios de pH do substrato foram 5,28; 5,61; 5,88; 6,20; 6,21 nos respectivos tratamentos. Embora os tratamentos 1, 2 e 3 tenham apresentado pH inicialmente baixos (ácidos), os tratamentos 4 e 5 apresentaram valores dentro da

faixa recomendada para o processo de digestão anaeróbia, com 6,20 e 6,21 respectivamente.

O pH é um dos principais fatores limitantes do processo de biodigestão anaeróbia, está associado ao desempenho do processo, uma vez que afeta o desenvolvimento das bactérias produtoras de metano (QUADROS et al., 2010; SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ et al., 2013).

Pode variar entre 6,0 a 8,0 (GELEGENIS et al., 2007; ARAGAW et al., 2013), próximos aos valores observados neste estudo. No entanto, cada fase da digestão apresenta pH ideal diferenciado, visto que o processo é realizado por consórcio de microrganismos de características distintas (CREMONEZ, 2019).

Observou-se o aumento gradativo do pH na medida em que se aumentou a concentração de esterco nos tratamentos, por tanto, subtende-se que as variações das proporções de esterco e manipueira, influenciam diretamente o pH da mistura avaliada, tendendo a equilibrar o pH para a faixa ótima para o processo de digestão anaeróbia.

A adição de alcalinidade em biodigestores na forma de bicarbonato ou hidróxido de sódio é uma prática preventiva já realizada em diversas pesquisas anteriores e em escala industrial (PLAZA et al., 1996; HAMZAWI et al., 1998; AGDAD e SPONZA, 2005) Apud Cremonez (2019). Fator este que, segundo Pierotti (2007) pode afetar economicamente o tratamento anaeróbio em relação ao aeróbio, entretanto, pode se obter melhores resultados na produção de biogás e de biofertilizante.

Os valores médios de pH após 41 dias de digestão nos cinco tratamentos variaram de 6,7 a 7,2, conforme apresentados na Tabela 15. Observa-se que os biofertilizantes apesar de próximos da neutralidade, apresentaram-se levemente alcalinos.

Com um pH básico de aproximadamente 7,5, o biofertilizante também atua como corretivo do pH do solo, além de não propagar mau cheiro e não ser poluente (SGANZERLA, 1983; BARROS, 2019).

Tabela 15 – Valores médios do Potencial Hidrogeniônico no biofertilizante em função dos tratamentos

Tratamentos	pH
1 (90% manipueira + 10% esterco)	7.22

2 (85% manipueira + 15% esterco)	7.24
3 (80% manipueira + 20% esterco)	6.77
4 (75% manipueira + 25% esterco)	7.22
5 (70% manipueira + 30% esterco)	7.14

Fonte: Autor

Valores próximos da neutralidade indicam que a fase metanogênica do processo de biodigestão ocorreu de forma eficiente, consumindo os ácidos orgânicos gerados nas etapas anteriores (CREMONEZ, 2019).

Observou-se que em todos os tratamentos houve aumento do pH no biofertilizante em relação ao pH do substrato. O aumento de pH observado no processo de biodigestão anaeróbia é esperado, visto que, há transformação dos ácidos contidos nos afluentes em produtos gasosos (MATOS et al., 2017).

Para esta variável, não foi observada diferença estatística significativa entre os tratamentos ($P < 0,05$), portanto, pode-se afirmar que, neste caso, as variações de concentração dos resíduos não afetaram o pH

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos conclui-se que, caso o objetivo seja a produção de biogás rico em metano, tem-se o tratamento 2 (85% manipueira + 15% esterco bovino) como a opção mais viável, por outro lado, caso o objetivo seja a produção de biofertilizantes com maiores concentrações dos elementos avaliados, tem-se o tratamento 5 (70% manipueira + 30% esterco bovino) como a melhor opção. Uma vez que, o tratamento 2 (85% manipueira + 15% esterco bovino), gerou 64,73% de CH₄ e 35,27% de CO₂, se sobressaindo aos demais tratamentos na produção de CH₄. e o tratamento 5 (70% manipueira + 30% esterco bovino) apresentou produções superiores de potássio e sódio no biofertilizante.

Na avaliação do pH do substrato, os tratamentos 4 (75% manipueira + 25% esterco bovino) e 5 (70% manipueira + 30% esterco bovino) aparecem com valores mais próximos do intervalo ideal de desenvolvimento das bactérias metanogênicas, (6,20 e 6,21) respectivamente.

Não foi observada diferença estatística significativa ($P < 0,05$) entre os tratamentos para a variável pH do biofertilizante.

6.1 Contribuições para trabalhos futuros

Diante da crescente preocupação mundial com questões que, de certa forma, afetam a nossa qualidade de vida, como mudanças climáticas, resíduos e energia, observa-se a necessidade da busca por alternativas que venham solucionar ou ao menos equilibrar tais situações.

Neste contexto, a presente pesquisa apresenta-se como uma ferramenta que poderá servir de instrumento nesta busca, uma vez que apresenta informações práticas e teóricas sobre o uso de ferramentas e meios de se obter retornos socioeconômicos e ambientais utilizando-se materiais que normalmente são descartados no ambiente de forma inadequada.

No decorrer deste trabalho, identificou-se algumas oportunidades para novas pesquisas que podem vir a somar com este e outros estudos já realizados com esta temática, e que, devido a algumas limitações não foi possível investigar, segue sugestões:

- 1) Avaliar a aplicação do biofertilizante obtido a partir da co-digestão anaeróbia da manipueira com esterco bovino em alguma cultura de interesse.
.
- 2) Avaliar as características do biogás e do biofertilizante em função de diferentes tempos de retenção hidráulica.
- 3) Avaliar as características do biogás e do biofertilizante resultantes da co-digestão da manipueira com outra biomassa.

REFERÊNCIAS

- ABDESHAHIAN, P.; LIM, J.S.; HO, W.S.; HASHIM, H.; LEE, C.T. Potential of biogas production from farm animal waste in Malaysia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.60, p. 714–723, 2016.
- ABREU JUNIOR, C. H.; BOARETTO, A. E.; MURAOKA, T.; KIEHL, J. C. Uso agrícola de resíduos orgânicos potencialmente poluentes: propriedades químicas do solo e produção vegetal. *Tópicos Especiais em Ciência do Solo*, Viçosa, v.4, 2005, 391-470p.
- ACÁCIO, L. C. Soluções em energia – projeto de biodigestor residencial. Relatório apresentado à Universidade Federal de Juiz De Fora. Juiz de Fora – MG, 2014.
- ACHINAS, S.; ACHINAS, V.; EUVERINK, G.J.W. A Technological Overview of Biogas Production from Biowaste. *Engineering*, v.3, n.3, p.299-307, 2017.
- AIRES, K. O.; SOUSA, R. B. A.; SANTOS, J. J. das N.; GUEDES, M. J. F.; MELO, M. C. de. Técnicas utilizadas no monitoramento de biogás em um lisímetro de resíduos sólidos urbanos. (2015). Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências.
- ANGELIDAKI, I.; TREU, L.; TSAPEKOS, P.; LUO, G.; CAMPANARO, S.; WENZEL, H.; KOUGIAS, P.G. Biogas upgrading and utilization: Current status and perspectives. *Biotechnology Advances*, v.36, n.2, p.452-466, 2018.
- AUGUSTO, F. Cromatografia a Gás: curso de diapositivos. Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Química. Campinas, São Paulo, 2000. Chemkeys. Licenciado sob Creative Commons (BY-NC-SA). Disponível em: <www.chemkeys.com>. Acesso em 05 abr. 2018.
- ARAÚJO, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; CAVALCANTE, L. F.; PEREIRA, W. E.; BRITO, N. M.; NEVES, C. M. L.; SILVA, E. E. Produção do pimentão adubado com esterco bovino e biofertilizante. *R. Bras. Eng. Agríc. Ambiental*, v.11, n.5, p.466–470, 2007.
- ARYAL, N.; KVIST, T.; AMMAM, F.; PANT, D.; OTTOSEN, L.D.M. An overview of microbial biogas enrichment. *Bioresource Technology*, v.264, p.359-369, 2018.
- ALVES, A. A. C.; SILVA, A. F. Cultivo da mandioca para a região semi-árida. In: *Embrapa Mandioca e Fruticultura*, 2003.

ARAGAW, T.; ANDARGIE, M.; GESSESSE, A. Co-digestion of cattle manure organic kitchen waste to increase biogas production using rumen fluid as inoculums. *Int J Physical Sci*, 8: 443-450. 2013.

AVALÁ, P. C.; V. W. J. H. K.; HAMILTON, G. P. Metano na atmosfera. *Biotecnologia Ciência & Desenvolvimento*, Brasília – DF, ano 2, n. 7, p. 40-43, jan./fev. de 1999.

APHA; AWWA; WEF (2005). American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation. *Standard Methods for the examination of water and wastewater*. 21 a. ed., Washington, D.C, USA.

AQUINO, S. F.; CHERNICHARO, C. A. L. FORESTI, E.; DOS SANTOS, M. de L. F.; MONTEGGIA, L. O. Metodologias para determinação da atividade metanogênica específica (AME) em lodos anaeróbios. *Eng. Sanit. Ambient.*, v.12, n.2, p.192-201.2007.

BALMANT, W. Concepção, construção e operação de um biodigestor e modelagem matemática da biodigestão anaeróbica. 30 f. Dissertação (Mestrado em Processos Térmicos e Químicos) -Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais-PIPE. Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

BARREIRA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para zona rural. São Paulo: Ícone, 2011.

BARROS, T.D. Biofertilizantes. AGEITEC: Agencia Embrapa de Informação Tecnológica. Biofertilizantes, 2019. Disponível em:<
<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/agroenergia/arvore/CONT000fj1gh4ku02wyiv802hvm3jd85f37c.html>> . Acesso em: 18 de jun. de 2019.

BARANA, A C. Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica. 95f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu. (Tese de Doutorado em PDF), 2000.

BOLDRIN, A.; BARAL, K.R.; FITAMO, T.; VAZIFEHKBHORAN, A. H.; JENSEN, I.G.; KJAERGAARD, I.; LYNG, K-A.; NGUYEN, Q.V.; NIELSEN, L.S.; TRIOLO, J.M. Optimised biogas production from the co-digestion of sugar beet with pig slurry: Integrating energy, GHG and economic accounting. *Dinamarca*, 2016. 606-617.

BRASIL. A. M. P. Embrapa. Avaliação da viabilidade do uso de resíduos na agricultura. Jaguariúna: Edislene Ap. Bueno Ruza, 2008. 9 p. Disponível

em: <http://www.cnpma.embrapa.br/download/circular_19.pdf>. Acesso em 05 abr. 2018.

BRANCOLI, P. L. Avaliação experimental da co-digestão anaeróbia de resíduos orgânicos e lodo de esgoto em digestores têxteis. Rio de Janeiro, 2014.

BURG, I.C.; MAYER, P.H. Alternativas ecológicas para prevenção e controle de pragas e doenças. 7 ed. Francisco Beltrão: GRAFIT, 153 p, 1999.

CARRERE, H.; DUMAS, C.; BATTIMELLI, A.; BATSTONCE, D.J.; DELGENES, J.P.; STEYER, J.P.; FERRER, I. Pretreatment methods to improve sludge anaerobic degradability: a review. J. Hazard. Mater. v.183, p.1-15, 2010.

CARRILHO, N.F.Q. Valorização de bio-resíduos alimentares por digestão anaeróbia descentralizada – caso de estudo: campus da FCT/UNL. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, 2012.

CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B. Influência da temperatura no desempenho de biodigestores com esterco bovino. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 2, n. 1, p. 97-102. Jan/abr 1998.

CASTANHO, D. S.; ARRUDA, H. J. Biodigestores. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campus Ponta Grossa. VI Semana de Tecnologia em Alimentos, 2008.

CORREIA, I. A. DOS S.; SILVA, N. C. B.; SOUZA, A. T. DE; SCANDELA, A. P.J. Caracterização da manipueira e possibilidades de tratamento. Research Gate, 2018. COLLOQUIUM EXACTARUM. 10. 180-185. 10.5747/ce.2018.v10.nesp.000177.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Análise mensal-mandioca janeiro de 2019: Brasília: Companhia Nacional de Abastecimento. 2019. Disponível em < <https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca> > . Acesso em: 03 jun. 2019.

CREMONEZ, P. A. Digestão anaeróbia de um polímero à base de fécula de mandioca. Tese (Doutorado), Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Campus de Cascavel, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Programa de Pós-graduação em Engenharia Agrícola, 2019.

CHAVALPARIT, O.; ONGWANDEE, M. Clean technology for the tapioca starch industry in Thailand. *Journal of Cleaner Production*, Amsterdam, v.17, n.2, p.105-110, 2009.

CHASNYK, O.; SOŁOWSKI, G.; SHKARUPA, O. Historical, technical and economic aspects of biogas development: case of Poland and Ukraine. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.52, p.227–39, 2015.

CHO, S.K.; JU, H.J.; LEE, J.G.; KIM, S.H. Alkaline-mechanical pretreatment process for enhanced anaerobic digestion of thickened waste activated sludge with a novel crushing device: performance evaluation and economic analysis. *Bioresource Technology*, v.165, p.183-190, 2014.

CHERNICHARO, C. A. L. Reatores anaeróbios: princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA/), 1997. 246p.

DAROLT, M. R. (Gerente); NETO, E. A. T. (Estagiário). Biofertilizantes: caracterização química, qualidade sanitária e eficiência em diferentes concentrações na cultura de alface. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2006.

DAL BOSCO, T. C.; SAMPAIO, S.; OPAZO, M. A. U.; GOMES, S. D.; NÓBREGA, L. H. P. Aplicação de água residuária de suinocultura em solo cultivado com soja: cobre e zinco no material escoado e no solo. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 699-709, 2008.

DANIEL, T. da R. Avaliação dos afluentes e efluentes em sistemas de biodigestores em escala real para a produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos da pecuária leiteira. Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e tecnologia do Leite e Derivados) – Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, 2015.

DEGANUTTI, R., PALHACI, M. do C. J. P.; ROSSI, M., TAVARES, B. R.; SANTOS, C. dos. Biodigestores rurais: modelo indiano, chinês e batelada. 2002. Disponível em: <<http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n4v1/031.pdf>>. Acesso Set. 2017.

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

DORAN, J.W.; LINN, D.M. Bacteriological quality of run off water from pastereland. *Applied of Microbiology*, v.37, p.985-991, 1979. Acesso em:< <https://aem.asm.org/content/aem/37/5/985.full.pdf>>. Acesso em 28 jul.2019.

ELBESHISHY, E; DHAR, B.R.; NAKHLA, G.; LEE, H-S. A critical review on inhibition of dark biohydrogen fermentation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.79, p.656–668, 2017.

FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0 In...45ª Reunião Anual da Região Brasileira da Sociedade Internacional de Biometria. UFSCar, São Carlos, SP, julho de 2000. P.255-258.

FERNANDES, A. L. T.; TESTEZLAF, R. Fertirrigação na cultura do melão em ambiente protegido, utilizando-se fertilizantes organominerais e químicos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 6. n.1. 2002. 45-50p.

FERNANDES JUNIOR, A.; TAKAHASHI, M. Tratamento da manipueira por processos biológicos – aeróbio e anaeróbio. In: CEREDA et al., *Industrialização da mandioca*. São Paulo: Ed. Paulicéia, 1994. 174p.

FEIDEN, A. Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbico com separação de fases em escala piloto. 2001. 80p. Tese (Doutorado em Agronomia - Área de concentração Energia na Agricultura) Universidade Estadual Paulista - UNESP, Botucatu-SP. 2001.

FEIDEN, A.; CEREDA, M. P. Potencial energético do biogás gerado no tratamento de águas residuárias de fecularias em sistema piloto de biodigestão anaeróbia com separação de fases. *Energia na Agricultura (Botucatu)*, v. 18, n. 2, p. 54-66, 2003.

FIORETTO, R. A. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: CEREDA, M. P. *Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca*. (Série Culturas de Tuberosas Amiláceas Latino Americanas, v.4). São Paulo: Fundação Cargill, v. 4, 320p. 2001.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEI, A. V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P. F. F. Fundamentos do Tratamento Anaeróbio. In.: CAMPOS, J. R. (Coord.). *Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo*. 1ªed. Rio de Janeiro: RiMa Artes e Textos, p. 29-52. 1999.

FUKUDA, C.; OTSUBO, A. A. Cultivo da mandioca na região centro sul do Brasil: colheita e pós-colheita. In: EMBRAPA *Mandioca e Fruticultura*, 2003.

GASPAR, R. M. A. B. L. Utilização de biodigestores em pequenas e médias propriedades rurais com ênfase na agregação de valor: um estudo de caso na região de Toledo-PR. 119 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia de Produção) – UFSC, Santa Catarina. 2003.

GALBIATTI, J. A.; CAMELO, A. D.; SILVA, F. G.; GERARDI, E. A. B.; CHICONATO, D. A. Estudo quali-quantitativo do biogás produzido por substratos em biodigestores tipo batelada. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n. 4, p. 432–437, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v14n4/v14n04a13.pdf>>. Acesso em 25 jul. 2019.

GALBIATTI, J.A.; GARCIA, A.; SILVA, M.L.; MASTROCOLA, M.A.; CALDEIRA, D.S.A. Efeitos de diferentes doses e épocas de aplicação de efluente de biodigestor e da adubação mineral em feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris*L.) Engenharia Agrícola, v.31 n.1 Jaboticabal, 1996.

GELEGENIS, J.; GEORGAKAKIS, D.; ANGELIDAKI, I.; CHRISTOPOULOU, N.; GOUMENAKI, M., 2007. Optimization of biogas production from olive-oil mill wastewater, by codigesting with diluted poultry-manure, Applied Energy, vol.84, pp.646–663.

GUERREIRO, L. Agricultura. Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – RT, 2005.

GODOY, A.M.G.; SANTOS, R.J.C. Gestão dos efluentes líquidos das indústrias de farinha de mandioca de Araruna - PR. Produto & Produção, Porto Alegre, v.7, n.3, p.37-49, 2004.

HEYDT, A. R.; CREMOZEN, P. A.; PARISOTTO, E. I. B.; MEIER, T. R. W.; TELEKEN, J. G. Biodigestão anaeróbica de resíduos líquidos de fecularia com adição de glicerol em fase termofílica. Gest. sust. ambient., Florianópolis, n. esp, p.498-514, dez. 2015.

HEPP, F. Avaliação da geração de biogás e biometano utilizando cama de bovinos de corte confinados e dejetos suínos. Monografia- Curso de Engenharia Ambiental-Centro Universitário Univates. 2016. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/1390/1/2016FranciscoHepp.pdf>>. Acesso em 20 jul. 2019.

INOUE, K. R. A. Produção de biogás, caracterização e aproveitamento agrícola do biofertilizante obtido na digestão da manipueira – Dissertação (Mestrado de Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 2008.

JIN, Q.; YANG, Y.; LI, A.; LIU, F.; SHAN, A. Comparison of biogas production from an advanced micro-bio-loop and conventional system. *Journal of Cleaner Production*, v.148, p.245-253, 2017.

JUNQUEIRA, J. B. Biodigestão anaeróbia e compostagem com dejetos de bovinos confinados e aplicação do biofertilizante e do composto em área cultivada com *Panicum maximum* Jacq., CV Tanzânia. Dissertação (mestrado em Zootecnia). Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária - Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 2011. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/96528/junqueira_jb_me_jabo.pdf>. Acesso em 28 jul. 2019.

KARLSSON, T.; KONRAD, O.; LUMI, M.; SCHMEIER, N. P.; MARDER, M.; CASARIL, C. E.; KOCH, F. F.; PEDROSO, A. G. Manual básico de biogás. 1º Ed. Ed. da Univates, Lajeado, 2014. 69 p. Disponível em: <https://www.univates.br/editora-univates/media/publicacoes/71/pdf_71.pdf>. Acesso em: 10 jan. 2018.

KHALID, A.; ARSHAD, M.; ANJUM, M.; MAHMOOD, T.; DAWSON, L. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Manage.*, v.31, n.8, p.1737–1744, 2011.

KIM, D.; LEE, K.; PARK, K.Y. Enhancement of biogas production from anaerobic digestion of waste activated sludge by hydrothermal pre-treatment. *International Biodeterioration & Biodegradation*, v.101, p.42-46, 2015.

KONRAD, Odorico et al.; Enhancing the analytical capacity for biogas development in Brazil: assessment of an original measurement system for low biogas flow rates out of agricultural biomass residues. *Eng. Agríc.*, Jaboticabal, v. 36, n. 5, p. 792-798, Oct. 2016. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-69162016000500792>. Acesso em 25 jul. 2019.

KONRAD, O.; AKWA, J. V.; KOCH, F. F.; LUMI, M.; TONETTO, J. Quantification and characterization of the production of biogas from blends of agro-industrial wastes in a large-scale demonstration plant. *Acta Scientiarum*, v. 38, n. 4, p. 415–421, 2016. Disponível em:<<http://periodicos.uem.br/ojs/index.php/ActaSciTechnol/article/view/28649/pdf>>. Acesso em 25 jul. 2019.

LORENZI, J.O. Mandioca. Campinas, CATI, 2003. 116p. (Boletim Técnico).
MAO, C.; FENG, Y.; WANG, X.; REN, G. Review on research achievements of biogas from anaerobic digestion. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.45, p.540–555, 2015.

MARCHI, M. E. V.; BRESSIANI, P. A.; BARBOSA, P.M. Digestão anaeróbia de resíduos orgânicos para cozinha industrial dos restaurantes LATIFE. São Paulo, 2014. 114 p.

MARIANI, L. Levantamento de unidades de produção de biogás no Brasil para fins energéticos ou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Workshop Rede Biogásfert. 2015.

MATOS, C. F. Produção de biogás e biofertilizante a partir de dejetos de bovinos, sob sistema orgânico e convencional de produção. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola e Ambiental) – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

MATOS, C. F.; PINHEIRO, E. F. M.; L. PAES, J. L.; LIMA, E.; CAMPOS, D. V. B. de. Avaliação do potencial de uso de biofertilizante de esterco bovino resultante do sistema de manejo orgânico e convencional da produção de leite. Revista Virtual de Química, Vol. 09, N^o 5. 2017.

MATVIENKO, B.; SIKAR, E.; ROSA, L.P. dos S.; MA, De F. R.; CIMBLERIS, A.C.P. Gas release from a reservoir in the filling stage. In: Williams WD (Ed) International Association of Theoretical and Applied Limnology. 27: 1415-1419, (2001).

MAYER, M. C. Estudo da influência de diferentes inóculos no tratamento anaeróbio de resíduos sólidos orgânicos. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental) - Centro de Ciências e Tecnologia na Universidade Estadual Da Paraíba. Campina Grande-PB, 2013.

MEDEIROS, G.A. de; CAETANO, M.M.M.; MORAES, F.G.; MACHADO, F.H.; PAES, M. X.; AMANCIO, D.T.; RIBEIRO, A. I.; PINHEIRO, L. T.; CASTRO RIBEIRO, L.F. Gestão de resíduos sólidos e biodigestor: abordagem extensionista. Sorocaba, SP, 2015.

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

MENGISTU, M.G.; SIMANE, A.; ESHETE, G.; WORKNEH, T.S. Factors affecting households' decisions in biogas technology adoption, the case of Ofla and Mecha Districts, northern Ethiopia. Renewable Energy, v.93, p.215-227, 2016.

MSHANDETE, A. M.; PARAWIRA W. Biogas technology research in selected sub-Saharan African countries - A review. African Journal of Biotechnology, Abraka, v.8, n.2, p.116-125, 2009.

NETO, E.D.D.; ALVARENGA, L.H.; COSTA, L. de M.; NASCIMENTO, P.H.; SILVEIRA, R.Z.; LEITE, L.H. de M. Implementação e Avaliação de um Biodigestor de Produção Descontínua. Revista eletrônica E-xacta, v.3, n.2, p.36-43, 2010.

NOGUEIRA, L. A. H. Biodigestão, a alternativa energética. São Paulo: Nobel, 1992. 93p.

OLIVEIRA, S. V. W. B. Estudo de viabilidade de aplicação do biogás no ambiente urbano. FUNDACE, Universidade de São Paulo, Faculdade de Economia e Administração, Ribeirão Preto – SP. 2009.

OLIVEIRA, P. A. V. de. Influência da temperatura na produção de biogás. In: REUNIÃO SOBRE A INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA BIODIGESTÃO ANAERÓBICA, 1., Santa Maria. Anais. Santa Maria: UFSM, 1983. p.32-38. 1983,

OLIVEIRA, R. D. Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouro e as possibilidades no mercado de carbono. 2009. 79 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, I. P.; SOARES, M.; MOREIRA, J.A.A.; ESTRELA, M. F. C.; DAL´ACQUA, F.M.; PACHECO FILHO, O. Resultados técnicos e econômicos da aplicação de biofertilizante bovino nas culturas de feijão, arroz e trigo. Goiânia: EMBRAPACNPAF, 1986. 24 p. (Circular Técnica, 21).

OLIVEIRA, A. P.; FREITAS NETO P. A.; SANTOS E. S. Produtividade do inhame, em função de fertilização orgânica e mineral e de épocas de colheita. Horticultura Brasileira, v. 19, p. 144-147, 2001.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P. Biodigestão anaeróbia e compostagem de dejetos de suínos, com e sem separação de sólidos. 2007. 93 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Departamento de Engenharia Rural/Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal. 2007.

ORRICO JÚNIOR, M. A. P.; ORRICO A. C. A.; LUCAS JÚNIOR, J. Avaliação de parâmetros da biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos alimentados com dietas à

base de milho e sorgo. Revista Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 30, n. 4, p. 600 - 607, jul./ago. 2010.

OSTREM, K; NICKOLAS, J. Greening Waste: Anaerobic digestion for treating the organic fraction of municipal solid wastes. 2004.

PATIL, P.N.; GOGATE, P.R.; CSOKA, L.; DREGELYI-KISS, A.; HORVATH, M. Intensification of biogas production using pretreatment based on hydrodynamic cavitation. Ultrasonics Sonochemistry, v.30, p.79–86, 2016.

PAUSS, A.; NAVEAU, H.; NYNS, E.J. Biogas production. In: HALL, D.O.; OVERENDR.P. (Eds.). Biomass: Regenerable Energy, Wiley-Interscience Publications, New York, pp. 273-291, 1987.

PERES, C.S. Microbiologia da digestão anaeróbica. Simpósio Nacional de Fermentação. Viçosa, 1982. Anais. Brasília, MME, 1982.

PESSUTI, C. A.A.; HERMES, E.; NEVES, A. C.; SILVA, R. P. da.; PENACHIO, M.; ZENATTI, D. C. Diferentes doses de biofertilizante proveniente da digestão anaeróbia de efluente de processamento de mandioca no cultivo de soja. Artigos. 2015.

PIEROTTI, S. M. Avaliação da partida de reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (UASB), em escala real, sob condições hidráulicas desfavoráveis. 2007. 141p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos-SP, 2007.

PINTO, P., H., M. Tratamento de manipueira de fecularia em biodigestor anaeróbio para disposição em corpo receptor, rede pública ou uso em fertirrigação. Dissertação (Mestrado de Energia na Agricultura) - Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

PONTES, P. P. Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador. 2003. 198p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte - MG. 2003.

PRADO, P.I.L.A.; MOURA, J.M.; FERNANDES, A.T.; CAMPOS, P.C.P. Viabilidade econômica de um biodigestor no IFMT - *Campus* Cuiabá Bela Vista. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Goiânia. 2012.

PRATI, L. Geração de energia elétrica a partir do biogás gerado por biodigestores. Monografia (Curso de Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba-PR, 2010.

QUADROS, D. de G.; OLIVEIRA, A. de P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. de J., 2010. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, vol. 14, n.3 pp. 326–332. 2010.

RODRIGUES, A. A. L. S. Co-digestão anaeróbia de resíduos de natureza orgânica. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos) – Universidade de Aveiro, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Aveiro – Portugal, 2005.

RODRIGUES, J. P.; ORRICO, A. C. A.; ORRICO JUNIOR, M. A. P.; SENO, L. O.; ARAÚJO, L. C.; SUNADA, N. S. Adição de óleo e lipase sobre a biodigestão anaeróbia de dejetos suínos. Ciência Rural, Santa Maria, v. 44, n. 3, p. 544-547, Mar. 2014.

SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, E. P.; WEILAND, P.; BORJA, R., 2013. The effect of biogas sparging on cow manure characteristics and its subsequent anaerobic biodegradation, International Biodeterioration & Biodegradation, vol. 83, pp. 10-16.
SCARLAT, N.; DALLEMAND, J-F.; FAHL, F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. Renewable Energy, v.129, p.457-472, 2018.

SANTOS, A.C.V. dos. Biofertilizante líquido, o defensivo da natureza. Niterói: EMATER-RIO, Agropecuária fluminense, 8. 1992. 16 P.

SANTOS, J.I.; ROGÉRIO, F.; MIGLIAVACCA, R.A.; et al. Efeito da Adubação Potássica na Cultura do Crambe. Biosci. J., v.28, n.3, p.346-350, 2012.

SEGURA, D. de S.B. Educação ambiental na escola pública: da curiosidade ingênua à consciência crítica. 1. ed. São Paulo, 2001.

SEBRAE. Os produtos da manipueira: fontes de lucro com produtos sustentáveis. Cartilha sobre produtos de mandioca. 1 ed. Brasília-DF., 2015.

SILVA, D. J.; QUEIROZ, A. C. Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos. 3ed. Viçosa, UFV, 235p.:il. 2002.

SILVA, G. A. Estimativa da Geração de Biogás no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa Através Do Teste Bmp. João Pessoa, PB, 2012.

SILVA, M. J.; ROEL, A. R. Cultivo da Mandioca. Apontamentos dos Cursos: Cultivo de mandioca e derivados; Engorda de frango caipira. Campo Grande-MS, 2001. 100p.

SILVA, J. A.; DE OLIVEIRA, A. P.; ALVES, G. D. S.; CAVALCANTE, L. F.; DE OLIVEIRA, A. N.; ARAÚJO, M. A. Rendimento do inhame adubado com esterco bovino e biofertilizante no solo e na folha. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 16, n. 3, p. 253-257, 2012.

SILVA, J.E.P. Avaliação técnica e econômica de um biodigestor de fluxo tubular: estudo de caso do modelo implantado na ETEC “Orlando Quagliato” em Santa Cruz Do Rio Pardo, SP. 2016. 69f. Dissertação (Mestrado em Agronomia), Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho, Botucatu, SP, 2016.

SOUZA, O.; FEDERIZZI, M.; COELHO, B.; WAGNER, T. M.; WISBECK, E. Biodegradação de resíduos lignocelulósicos gerados na bananicultura e sua valorização para a produção de biogás. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, n.4, p.438–443, 2010.

SONG, Z.; ZHANG, C.; YANG, G.; FENG, Y.; REN, G.; HAN, X. Comparison of biogas development from households and medium and large-scale biogas plants in rural China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v.33, p.204–213, 2014.
SONG, C.; LIU, Q.; JI, N.; DENG, S.; ZHAO, J.; LI, Y.; KITAMURA, Y. Reducing the energy consumption of membrane-cryogenic hybrid CO₂ capture by process optimization. *Energy*, v.124, p.29-39, 2017.

SGANZERLA, E. Biodigestores: uma solução. Porto Alegre: Agropecuária, 1983.

SKRETZER, S.G; NAGAOKA, A.K.; MOREIRA, T.E.; BAUER, F.C.; PINTO, J.G.C.P. Educação ambiental em gestão de resíduos e uso de biodigestor em escola pública de Florianópolis- SC, 2015.

TENTSCHER, W. A. K. Biogas technology as a component of food processing systems. *Food Technology*, jan, p. 80-85, 1995.

TIMM, O. J.; GOMES, J. C. C.; MORSELLI, T. B. Insumos para agroecologia: pesquisa em vermicompostagem e produção de biofertilizante líquidos. *Revista Ciência e Ambiente*. Universidade Federal de Santa Maria, 2004.

THAIZ, L.; ZEIGER, E.; MOLLER, I. M.; MURPHY, A. Nutrição mineral. Fisiologia e desenvolvimento vegetal. Porto Alegre: Artmed, 2017. p119 - 142.

UBALUA, A. O. Cassava wastes: treatment options and value addition alternatives. African Journal of Biotechnology, Abraka, v. 6. N. 18, p. 1065-1073, 2007.

VAN HAANDEL, A. C.; LETTINGA, G. Tratamento anaeróbio de esgotos. Um manual para regiões de clima quente. Campina Grande: UFPB, 1994. 232p.

VAN HORN, H. H. Components of dairy manure management systems. Journal Dairy Science, Champaign, v. 77, n. 7, p. 2008-2030, jul. 1994.

VILLELA JÚNIOR, L.V.E.; ARAÚJO, J.A.C.; BARBOSA, J.C.; PEREZ, L.R.B. Substrato e solução nutritiva, desenvolvidos a partir de efluente de biodigestor para cultivo do meloeiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v.11, n.2, p.152-158, 2007.

WARD, A.J.; HOBBS, P.J.; HOLLIMAN, P.J.; JONES, D.L. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources. Bioresour. Technol., v.99, n.17, p.7928–7940, 2008.

WILKERSON, V. A.; MERTENS, D. R.; CASPER, D. P. Prediction of excretion of manure and nitrogen by Holstein dairy cattle. Journal Dairy Science, Champaign, v.80, n. 12, p. 3193-3204, dec. 1997.

WU, B.; ZHANG, X.; BAO, D.; XU, Y.; ZHANG, S.; DENG, L. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios. Bioresource Technology, v.206, p.155–163, 2016. WU, B.; ZHANG, X.; BAO, D.; XU, Y.; ZHANG, S.; DENG, L. Biomethane production system: Energetic analysis of various scenarios. Bioresource Technology, v.206, p.155–163, 2016.

YUAN, H.; YU, B.; CHENG, P.; ZHU, N.; YIN, C.; YING, L. Pilot-scale study of enhanced anaerobic digestion of waste activated sludge by electrochemical and sodium hypochlorite combination pre-treatment. International Biodeterioration & Biodegradation, v.110, n.5, p.227-234, 2016.

ZANANDRÉA, V. Análise do uso da tecnologia de biodigestores para fins energéticos em propriedades rurais. Trabalho de Conclusão de Curso—Universidade de Dois Vizinhos, 2010.

ZHENG, Y.; ZHAO, J.; XU, F.; LI, Y. Pretreatment of lignocellulosic biomass for enhanced biogas production. *Progress in Energy and Combustion Science*, v.42, p.35–53, 2014.

ZHOU, J.; ZHANG, R.; LIU, F.; YONG, X.; WU, X.; ZHENG, T.; JIANG, M.; JIA, H. Biogas production and microbial community shift through neutral pH control during the anaerobic digestion of pig manure. *Bioresource Tecnology*, 2016.