



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE
PRÓ-REITORIA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE
NÍVEL MESTRADO**



JULIANA MARÇAL DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DO BIOGÁS UTILIZANDO A MANIPUEIRA PROVENIENTE DA
CASA DE FARINHA DE ITAPORANGA D'AJUDA/SE**

SÃO CRISTÓVÃO

2021

JULIANA MARÇAL DE OLIVEIRA

**ANÁLISE DO BIOGÁS UTILIZANDO A MANIPUEIRA PROVENIENTE DA
CASA DE FARINHA DE ITAPORANGA D'AJUDA/SE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

ORIENTADOR: Dr. Roberto Rodrigues de Souza.

SÃO CRISTÓVÃO

2021

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL
UNIVERSIDADE FEDERAL DE SERGIPE

O48a Oliveira, Juliana Marçal de.
Análise do biogás utilizando a manipueira proveniente da Casa de Farinha de Itaporanga D'Ajuda/SE / Juliana Marçal de Oliveira; orientador Roberto Rodrigues de Souza. – São Cristóvão, SE, 2021.
102 f. : il.

Dissertação (mestrado em Desenvolvimento e meio ambiente)
– Universidade Federal de Sergipe, 2021.

1. Biodigestores. 2. Biomassa. 3. Mandioca como combustível. 4. Energia – Fontes alternativas. I. Souza, Roberto Rodrigues de, orient.
II. Título.

CDU 662.76

JULIANA MARÇAL DE OLIVEIRA

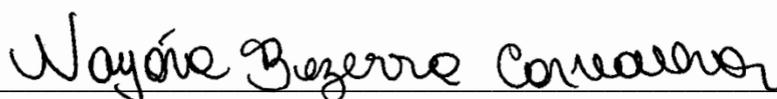
**ANÁLISE DO BIOGÁS UTILIZANDO A MANIPUEIRA PROVENIENTE DA
CASA DE FARINHA DE ITAPORANGA D'AJUDA/SE**

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do título de Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente da Universidade Federal de Sergipe.

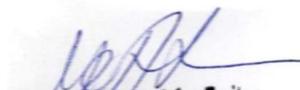
Aprovada em 24 de fevereiro de 2021



Dr. Roberto Rodrigues de Souza - Universidade Federal de Sergipe
Presidente-Orientador



Dr. Nayára Bezerra Carvalho - Universidade Federal do Rio Grande do Norte
Examinadora Externa



Prof. Dr. Jefferson Arlen Freitas
Departamento de Engenharia Ambiental
CCET/UFS
Matrícula SIAPE: 2193695

Dr. Jefferson Arlen Freitas - Universidade Federal de Sergipe
Examinador Externo

É concedido ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS) responsável pelo Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente permissão para disponibilizar, reproduzir cópia desta Dissertação e emprestar ou vender tais cópias.

Juliana Marçal de Oliveira.

Juliana Marçal de Oliveira
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Roberto Rodrigues de Souza

Dr. Roberto Rodrigues de Souza - Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

Este exemplar corresponde à versão final da Dissertação de Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente concluído no Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente (PRODEMA) da Universidade Federal de Sergipe (UFS).



Dr. Roberto Rodrigues de Souza - Orientador
Programa de Pós-Graduação em
Desenvolvimento e Meio Ambiente - PRODEMA
Universidade Federal de Sergipe - UFS

*Dedico este trabalho a meu sobrinho
João Miguel Marçal de Jesus que na sua
inocência me deu forças para trilhar
nesse caminho.*

AGRADECIMENTOS

É com muita alegria, depois de um pouco de desespero que ela ficou pronta!

Antes de qualquer coisa, agradeço a Deus por ter me dado saúde, coragem, sabedoria, paciência, para enfrentar a dissertação, principalmente nos momentos em que parecia não haver solução neste cenário de pandemia.

Agradeço a minha mãe, o meu pai, a minha irmã, o meu sobrinho por sempre estarem presentes, me dando muita força, carinho, amor, atenção, embora estivessem alguns quilômetros de distância entre a gente.

As minhas vovós Norma e Ivone por compreenderem a minha ausência. Irene (*in memoriam*) por ter mexido uns pauzinhos do céu para a finalização da dissertação, assim como aos meus avós José Aderaldo (*in memoriam*) e José Graciliano.

Agradeço aos meus familiares pelo apoio e torcida em especial, a madrinha Rosa, tio Clebinho e tio Adinaldo por terem me dado um apoio diferenciado.

Agradeço a Mércia, Juliana Lisboa, Marcela, Cleia, Dona Terezinha, Tatiane, Laiany, Laryssa, Ayala, Cleberson e Ester pelo incentivo e ajuda nos momentos de S.O.S.

A Thiago por seu companheirismo, estando sempre ao meu lado. Assim também a Maria Augusta pelo acolhimento e a kim ao carinho.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica, sem vocês não seria capaz de ter essa bagagem de conhecimento.

Ao meu orientador por ter aceitado o pedido, juntamente com o tema de me orientar e fazer acontecer o estudo.

A coordenadora Maria José pela confiança, como também a família do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente- PRODEMA/UFS.

Ao dono do Empreendimento por ter cedido seu estabelecimento para que pudesse obter resultados a apresentar a este estudo.

A Rafael do Flavor/UFS pela ajuda nas realizações das análises cromatográfica, e ao grupo de pesquisa em biotecnologia e meio ambiente – GPBIOMA pelo apoio necessário.

A Fundação de Apoio à Pesquisa e à Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe – FAPITEC/SE pela concessão da bolsa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

E a todos que contribuíram de forma direta e indireta durante o meu mestrado.

*“A menos que modifiquemos à nossa
maneira de pensar, não seremos capazes
de resolver os problemas causados pela
forma como nos acostumamos a ver o
mundo”.*

Albert Einstein

RESUMO

No processo de fabricação da farinha de mandioca é gerado um efluente chamado manipueira, gerado no momento da retirada da umidade da massa ralada. A mesma possui um elevado teor de matéria orgânica e glicídios que contaminam facilmente o meio ambiente, podendo acarretar contaminação do solo e corpos d'água, além da mortalidade de animais que a consumir. A produção de biogás é um meio eficaz para conter essa poluição, no entanto, na maioria dos casos, é necessário o processo de purificação para a eliminação dos gases indesejáveis, gerado no processo. Dessa forma, para que seja realizado o desenvolvimento sustentável, é necessário estudo para elaboração de processos para minimizar a propagação da poluição. A vista disso, o objetivo deste estudo foi realizar um processo de tratamento via biodigestão anaeróbia que minimize os danos causados pelo efluente da produção da farinha de mandioca em escala de bancada por meio de biodigestores anaeróbios para a produção do biogás. Partindo de adaptações da literatura existente, foi utilizado no procedimento kitassatos de 500 ml e garrafas PETs de 250 ml como biodigestores anaeróbios capaz de produzir biogás, utilizando a manipueira coletado de uma casa de farinha na cidade de Itaporanga d' Ajuda/SE como biomassa, visando este tratamento como recurso energético para as casas de farinha. Como resultados da análise laboratorial da manipueira em estudo foram obtidos valores de pH: 4,98; DBO: 1090,00 mg O₂/L; DQO > 10.000,00 mg O₂/L; carbono orgânico total: 32.300,00 mg C/L; sólidos totais a 105 °C: 67.280,00 mg/L; sólidos totais fixos: 9.642,00 mg/L; sólidos totais voláteis: 57.640,00 mg/L; e amido quantitativo: 1,35 g/100g. Na análise do biogás foram obtidos resultados dos níveis de CH₄ e CO₂, para os testes utilizando a manipueira em branco a média foi de 11,68% de CH₄ e 88,32% de CO₂, enquanto que, com a manipueira concentrada de 2:1 a média dos níveis de CH₄ subiu para 83,87% e os CO₂ diminuiu para 16,13%. Sendo assim, o presente estudo apresentou resultados favoráveis para a produção de biogás quando utilizado a manipueira concentrada de 2:1, fazendo deste presente estudo servir de base para pesquisas futuras, favorecendo o meio ambiente e os pequenos produtores de farinha de mandioca.

Palavras-Chaves: Biodigestor anaeróbio 1. Biomassa 2. Purificação 3. Energia Renovável 4.

ABSTRACT

In the manioc flour manufacturing process, an effluent called cassava wastewater is generated, generated when the moisture is removed from the grated dough. It has a high content of organic matter and carbohydrates that easily contaminate the environment, which can lead to contamination of the soil and water bodies, in addition to the mortality of animals that consume it. The production of biogas is an effective means to contain this pollution, however, in most cases, the purification process is necessary for the elimination of undesirable gases, generated in the process. Thus, for sustainable development to take place, a study is needed to elaborate processes to minimize the spread of pollution. In view of this, the objective of this research was to carry out a treatment process via anaerobic digestion that minimizes the damage caused by the effluent from the production of cassava flour on a bench scale by means of anaerobic digesters for the production of biogas. Based on adaptations of the existing literature, kitsassatos of 500 ml and PET bottles of 250 ml were used in the procedure as anaerobic digesters capable of producing biogas, using the cassava wastewater collected from a flour house in the city of Itaporanga d 'Ajuda / SE as biomass, aiming at this treatment as an energy resource for flour houses. As a result of the laboratory analysis of the cassava wastewater under study, values were obtained, pH: 4.98; BOD: 1090.00 mg O₂/L; COD>10,000.00 mg O₂/L; total organic carbon: 32,300.00 mg C/L; total solids at 105 ° C: 67,280.00 mg/L; total fixed solids: 9,642.00 mg/L; total volatile solids: 57,640.00 mg/L; and quantitative starch: 1.35 g/100g. In the analysis of the biogas, results were obtained for the levels of CH₄ and CO₂, for the tests using the blank cassava wastewater the average was 11.68% of CH₄ and 88.32% of CO₂, while, with the concentrated manipueira of 2:1 the average of CH₄ levels rose to 83.87% and CO₂ decreased to 16.13%. Therefore, the present study showed favorable results for the production of biogas when using the concentrated 2:1 cassava wastewater, making this study serve as a basis for future research, favoring the environment and small producers of cassava flour.

Keywords: Biodigester anaerobic 1. Biomass 2. Purification 3. Renewable Energy 4.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Etapas para a fabricação da farinha de mandioca: colheita da mandioca (a); mandiocas agrupadas nos balaios para o transporte (b); raspagem (c); lavagem da mandioca (d); ralador/triturador (e); prensa (f); forno (g).....	27
Figura 2: Diagrama do reator metanogênico e gasômetro.....	29
Figura 3: Biodigestor operando.	30
Figura 4: Sistema completo de biodigestão anaeróbia, composta por câmara digestora e gasômetros.	31
Figura 5: Esquema de digestão anaeróbica e medição do biogás produzido.....	32
Figura 6: Aparato de um biodigestor de bancada.	33
Figura 7: Implantação do reator piloto horizontal anaeróbio tubular com alimentação contínua por gravidade.	34
Figura 8: Esquema que descreve o dispositivo experimental.....	35
Figura 9: Modulo experimental.	35
Figura 10: Sistemas de digestão anaeróbia em frascos de penicilina (100 mL).....	36
Figura 11: Sequência de processos e grupos microbianos da digestão anaeróbia.....	39
Figura 12: Ilustração do biodigestor Indiano.....	46
Figura 13: Esquema do processo em um reator UASB.	47
Figura 14:Esquema ilustrativo da configuração típica de um RALF.	48
Figura 15: Protótipos de biodigestores modelo batelada.....	49
Figura 16: Lagoa anaeróbia coberta.	50
Figura 17: local da coleta da manipueira do presente estudo.	61
Figura 18: Fonte da manipueira do presente estudo.	62
Figura 19: Etapas na casa de farinha para geração da manipueira. (a) Raspagem, (b) Mandiocas descascadas, (C) Ralação da massa, (d) massa prensada.....	63
Figura 20: Manipueira.	64
Figura 21: Descarte incorreto da manipueira.	64
Figura 22: Aparato do biodigestor de batelada.....	66
Figura 23: Esquema para obter a manipueira concentrada.....	68
Figura 24: Aparato do biodigestor de batelada com PET.....	69
Figura 25: cromatógrafo gasoso de modelo CP-3380, Varian.	70
Figura 26: Primeiro teste de bancada para a produção do biogás.	74
Figura 27: Segundo teste de bancada para a produção do biogás.	75
Figura 28 : Terceiro teste de bancada para a produção do biogás.....	76
Figura 29: Biogás produzido nos testes da manipueira em branco.	77
Figura 30: Biogás produzido nos testes da manipueira concentrada.....	78
Figura 31: Análise Cromatográfica das amostras B3 e C3.....	79
Figura 32: Análise Cromatográfica das amostras D3, E3, F3.	80

LISTA DE TABELA

Tabela 1: Classificação da temperatura na digestão anaeróbia.	43
Tabela 2: Estudos referentes ao tratamento da manipueira.	45
Tabela 3: Composição típica do biogás.	52
Tabela 4: Comparação de propriedades de biogás e gás natural.	53
Tabela 5: Ensaio e métodos do efluente em estudo.	66
Tabela 6: Biomassas da primeira tentativa.	67
Tabela 7: Biomassas da segunda tentativa.	68
Tabela 8: Biomassas da terceira tentativa.	69
Tabela 9: Análise Físico-química da manipueira.	71
Tabela 10: Volume de biogás produzido nas amostras em branco.	77
Tabela 11: Volume de biogás produzido nas amostras concentradas.	78
Tabela 12: Resultado das análises do biogás.	79

LISTA DE SIGLAS

ANP – Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

COT – Carbono orgânico total

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DCT – Detector de condutividade Térmica

DQO – Demanda Química de Oxigênio

DTR – Distribuição do tempo de residência

EPE – Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia

ETE – Estação de tratamento de efluente

HDPE – Geomembrana de polietileno de alta densidade

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IEA – International Energy Agency

ITPS – Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe

OCDE – Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico

ODS – Objetivos de desenvolvimento sustentável

pH – potencial de Hidrogênio

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PETs – Polietileno tereftalato

PVC – Policloreto de polivinila

RAHLF- Reator Anaeróbio Horizontal de Leito Fixo

RSU – Resíduos sólidos urbanos

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento

SF – Sólidos Fixos

ST – Sólidos Totais

SV – Sólidos Voláteis

LISTA DE SÍMBOLOS

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

F₂O₃ – Óxido de ferro

F₂(OH)₃ – Hidróxido de ferro

H₂ – Gás hidrogênio

H₂O – Água

H₂S – Sulfeto de hidrogênio

HCN – Ácido cianídrico

N₂ – Gás nitrogênio

NH₃ – Amoníaco

O₂ – Gás oxigênio

SI – Silício

VOCs – Compostos orgânicos voláteis

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1. Sociedade, Natureza e Desenvolvimento Sustentável Referente à Produção do Biogás a partir da Manipueira	20
2.2. Produção da Farinha de Mandioca	24
2.3. Processos de Tratamento do Efluente para a Produção de Farinha de Mandioca... ..	28
2.4. Digestão Anaeróbia	38
2.4.1 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia	41
2.5. Tipos de Tratamento Anaeróbios	44
2.6. Biogás.....	50
2.7. Purificação do Biogás.....	55
2.7.1. Demais processos para a purificação do biogás	58
3. METODOLOGIA	60
3.1. Método do Estudo	60
3.2. Delimitação da Área de Estudo	61
3.2.1. Visita ao empreendimento.....	62
3.3. Procedimentos Metodológicos	65
3.3.1. Determinação da composição da manipueira.....	65
3.3.2. Procedimento para a produção do biogás.....	66
3.3.3. Análise por cromatografia gasosa	70
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	71
4.1 Análise Físico-química da Manipueira.....	71
4.2 Produção de Biogás Experimental em Escala Bancada.....	74
5. CONCLUSÃO	82
6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	84
REFERÊNCIAS	85
APÊNDICE	100

1. INTRODUÇÃO

Para que as atuais e futuras gerações possam ter uma boa qualidade de vida, faz-se necessário o processo de desenvolvimento sustentável, exigindo adequações nos aspectos ambientais, sociais e econômicos, por meio de olhar atencioso aos limites ambientais correspondente aos recursos naturais (FEIL; SCHREIBER, 2017). A busca por novas fontes de recursos energéticos sustentáveis, faz do efluente gerado na fabricação da farinha de mandioca um produto de energia sustentável, que pode ser utilizado como alternativa para diminuir os impactos causados ao meio ambiente (MACHADO; PEDROTTI, 2009).

No processo da produção da farinha de mandioca, é gerado um efluente chamado de manipueira, resultante da prensagem da mandioca ralada e lavada. Na maioria das vezes, esse efluente é descartado em local inadequado, gerando diversos impactos ambientais negativos – a exemplo da alteração da autodepuração – e, conseqüentemente, a eutrofização em corpos d'água (REBOUÇAS *et al.*, 2015). Esse resíduo possui alto teor de matéria orgânica e dois glicosídeos cianogênicos, chamado linamarina e lotaustralina que geram o ácido cianídrico (HCN) depois da hidrólise, compostos altamente perigosos ao metabolismo dos seres vivos (LINHARES; SEIXAS; MAIA, 2018).

Na literatura, há relatos de estudos que utilizam biodigestores a fim de promover benefícios ambientais, tais como a minimização do uso de fontes de energia não renováveis, e o reaproveitamento de resíduos orgânicos, proporcionando vantagens ao meio ambiente. Os combustíveis derivados de fontes de energia não renováveis podem ser substituídos pelo biogás gerado no biodigestor (OLIVEIRA *et al.*, 2019). O biogás proveniente da biomassa agrícola das zonas rurais tem caráter fundamental para o desenvolvimento sustentável (CREMONEZ *et al.*, 2016).

A respectiva pesquisa tem como problemática a falta de um sistema adequado para o tratamento do efluente manipueira (que contém um alto grau de toxicidade) nos locais de produção de farinha de mandioca de pequeno porte, conhecidos popularmente como “casas de farinha”. A maioria desses locais são pequenas comunidades e o processo de produção é artesanal, e o efluente gerado é lançado diretamente no solo sem nenhum tratamento, podendo acarretar na contaminação de corpos hídricos, causando intoxicação na população humana,

animais terrestres e dos ambientes aquáticos. Dessa forma, é necessário um tratamento antes do descarte da manipueira, a exemplo do uso de um biodigestor e geração de biogás, podendo substituir a queima da lenha utilizada na fabricação da farinha de mandioca pelo biogás. Segundo Pardo *et al.* (2020), a utilização de lenha como fonte de energia provoca a contaminação do ar que pode provocar doenças respiratórias a população.

Como justificativa, na literatura a maioria dos estudos são encontrados processos complexos, ou seja, mais elaborado utilizando a combinação da manipueira com outros produtos, na presente pesquisa foi utilizada apenas a manipueira como biomassa para a produção de biogás, de modo experimental em escala de bancada. Com a intenção de expandir nas pequenas comunidades produtoras de farinha de mandioca em projeto futuro, se tornando uma tecnologia social para os pequenos produtores. Sem a utilização de aditivos para que o produtor consiga de maneira acessível a produção do biogás. Visto que, ao ser fabricada a farinha de mandioca é extraído da raiz e quando prensada gera aproximadamente 30% de manipueira do volume total das raízes de mandioca.

A hipótese estabelecida neste estudo é a possibilidade de agregar valor ao efluente da casa de farinha (manipueira) utilizando processo simples que possa ser aplicado futuramente em comunidades. Com a intenção da substituição parcial ou total da lenha utilizada nos fornos da casa de farinha pelo biogás produzido a partir da manipueira, obtendo a economia do valor gasto na compra de lenha.

Nesse contexto, a pesquisa tem como objetivo desenvolver um processo de tratamento via biodigestão anaeróbia que minimize os danos causados pelo efluente da produção da farinha de mandioca em escala de bancada por meio de biodigestores anaeróbio para a produção do biogás. Consideram os seguintes objetivos específicos:

- Caracterizar físico-quimicamente a manipueira;
- Adaptar biodigestor anaeróbio em escala de bancada partindo da literatura existente;
- Quantificar o volume de biogás produzido;
- Analisar a quantidade de CH₄ e CO₂ presente no biogás gerado;
- Propor a purificação do biogás em projeto futuro.

A presente pesquisa será apresentada da seguinte estrutura: fundamentação teórica, metodologia, resultados e discussão, recomendações para trabalhos futuros, conclusão, cronograma, referências e apêndices.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Na fundamentação teórica serão discutidos os temas a saber: sociedade, natureza e desenvolvimento sustentável referente a produção do biogás a partir da manipueira; produção da farinha de mandioca; processos de tratamento do efluente para a produção de farinha de mandioca; digestão anaeróbia; tipos de biodigestores anaeróbios; biogás; purificação do biogás; e demais processos para a purificação do biogás.

2.1. Sociedade, Natureza e Desenvolvimento Sustentável Referente à Produção do Biogás a partir da Manipueira

Desde os primitivos hominídeos até às complexas sociedades do século XXI, a natureza a todo momento sofreu interferência da sociedade humana que estava ao seu redor. Ora retirando da mesma o essencial para a fabricação de elementos para saciar as necessidades dos seres humanos, e pondo na própria seus detritos das produções de suas atividades. Ora promovendo diversas estruturas em sociedade, procurando um entendimento sempre próspero dos fenômenos da natureza, fornecendo valor e significado, conforme a fase do desenvolvimento de aprendizagem e cultural de cada sociedade (SANTOS FILHO, 2015).

Portanto, a concepção da natureza intocada é um mito, já que os seres humanos sempre interviram na natureza para a sua sobrevivência. Esse cenário pode ser notado a partir do momento que o homem se tornou caçador-coletor no período paleolítico, até o surgimento da agricultura, ao longo do neolítico, com a chegada dos primeiros assentamentos humanos, formando-se as primeiras sociedades modernas (SANTOS FILHO, 2015).

Entre o final do século XX e início do XXI houve uma mudança do holocentrismo – onde se tinha um ambiente invariável – para o antropocentrismo – no qual se teve um progresso decorrente das transformações nunca antes imaginadas de serem estudadas pelas ciências naturais e, posteriormente, pelas ciências sociais e humanas. O fim do ambiente estável trouxe indícios dos limites do planeta, não por conta das guerras que existiram no século XX, mas devido ao crescimento do consumismo e acréscimo dos níveis de produção acarretando num aumento nas formas de produção de energia através de combustíveis fósseis (VIOLA; BASSO, 2016).

O novo período, conhecido por Terceira Revolução Industrial, não trouxe unicamente as armas que geraram uma tecnologia perigosa. Constituiu, também, no desenvolvimento de *softwares* e no consumismo descontrolado justificado através da busca pelo bem-estar da população a qualquer custo. No entanto, conduziu a resultados altamente catastróficos que emitem sinais mediante as alterações físicas no nível mundial. A exemplo das mudanças climáticas, escassez dos recursos hídricos, secas, desertificações, derretimento das geleiras, avanços no nível do mar, cheias e inundações, entre outros. Acarretando, assim, numa crise ambiental, motivando a desassociação do homem com a natureza, em busca do progresso e desenvolvimento (MATOS; SANTOS, 2018).

A crise ambiental é o retrato de uma apreensão comum que aflige o século XXI. É necessário que a presente geração tenha um comprometimento maior com a natureza para que as futuras gerações não tenham grandes danos, visto que somos responsáveis pelas próprias. Além do mais, qualquer forma de vida é exclusiva e requer respeito independentemente do custo agregado para o homem. A cobiça cartesiana por ter a natureza como fábrica para satisfazer a necessidade do ser humano, tornou o homem como dono da natureza (LARRÉRE; LARRÉRE, 1997).

Perante as dificuldades expostas, ressalva-se que a sustentabilidade é indispensável para que a natureza tenha tempo suficiente de auto depuração, desenvolvimento de ciclos completos dos ecossistemas, a fim de suportar as perturbações do consumo do ser humano. Porém, o modo de vida antropocêntrico faz com que haja o estímulo a exceder os limites da natureza. Em especial, é cada vez mais explícito a demanda do aumento do capital. Logo, se a natureza for devastada, haverá destruição nos suportes da própria economia. É necessário compreender que tudo que realizamos pela natureza, é revertido para a população humana (ACOSTA, 2016).

É notório um progresso da sensibilidade em respeito ao meio ambiente e responsabilidade com a natureza, tendo por consequência a preocupação com o futuro do planeta. Há diversas maneiras de poluição que atingem diariamente os seres humanos, e, em particular, a população mais pobre, podendo acarretar na morte prematura dos mesmos. Um exemplo de causa dessas mortes podem ser a alta quantidade de fumaça inalada, produzida por fonte de energia que é usada para cozinhar ou aquecer-se. Além dos poluentes provenientes dos transportes, indústrias, despejos de substâncias colaboram para a acidificação da água, solo, fertilizantes, fungicidas, inseticidas e agrotóxicos em geral (CUNHA; AUGUSTIN, 2014).

As perturbações ecológicas da crise ambiental moderna são consequência da interferência humana nos processos ecossistêmicos, nos quais estão ganhando ênfase o aquecimento global, as mudanças do clima, a redução da camada de ozônio, a insuficiência de água potável, a perda de cobertura vegetal, a desertificação, a degradação dos solos cultiváveis, a dificuldade para o manejo do resíduo urbano e o dano à biodiversidade (SANTOS FILHO, 2015).

O Encontro Nacional Unificado dos Trabalhadores (as) e Povos do Campo, das Águas e das Florestas em 2012 realizado no pavilhão de exposições no Parque da Cidade de Brasília, já vinha abordando a inclusão da linguagem de valorização das dimensões ambientais nas famílias tradicionais através da produção verde, tanto no setor alimentício com a agroecologia, como na utilização de energia renovável, da qual é incluída a energia proveniente de biomassa, atentando-se ao princípio da função social e ambiental. Vale ressaltar que nas famílias tradicionais da zona rural, são recuperados saberes dos antepassados através da educação, ligados a forma de vida dessas famílias (MEDEIROS, 2015).

Em setembro de 2015, em Nova York, houve uma reunião na sede da Organização das Nações Unidas (ONU) com os líderes mundiais para tomarem uma decisão por meio de um plano de ação para eliminar a pobreza, proteger o planeta e garantir a conquista da paz e prosperidade. Tendo por seguimento a elaboração da Agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável, nela contém 17 objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) com 169 metas. Destarte para o objetivo 7, que consiste em: assegurar o acesso confiável, sustentável, moderno e a preço acessível à energia para todos (PNUD BRASIL, 2015). De acordo com Silva, Peliano e Chaves (2018) em acordo com a meta 7.2:

A meta de energia renovável deve sempre aumentar. O que deve ser priorizado neste momento é a diversificação de fontes de energias renováveis e bioenergéticas, para diminuir a dependência de água que deve ter seu uso direcionado para fins mais nobres (SILVA; PELIANO; CHAVES, 2018, p. 514).

Na meta 7.a foi argumentada a proposta de adequação para as Nações Unidas sobre o uso de energia renovável:

Até 2030, reforçar a cooperação internacional para facilitar o acesso a pesquisa e tecnologias de energia limpa, incluindo energias renováveis, eficiência energética e tecnologias de combustíveis fósseis avançadas e mais limpas, e promover o investimento em infraestrutura de energia e em tecnologias de energia limpa (SILVA; PELIANO; CHAVES, 2018, p. 189).

O Brasil traz como proposta de adequação na meta 7.b que “Até 2030, expandir a infraestrutura e aprimorar a tecnologia para o fornecimento de serviços de energia modernos e sustentáveis para todos” (SILVA; PELIANO; CHAVES, 2018, p. 191). É difícil encontrar lugares que desenvolvam as energias renováveis para o seu auto abastecimento (ARIGLIANO *et al.*, 2014).

As alternativas mais convenientes para a substituição dos combustíveis fósseis são pelas energias renováveis. Ao comparar com as demais fontes energéticas, geram menor impacto ambiental, além de diminuir o consumo de produtos derivados do petróleo. Sendo assim, utilizada como solução em comunidades isoladas com ausência de combustíveis fósseis. Todavia, vale destacar que para qualquer que seja a origem da energia, seu consumo deve ser feito de forma sustentável e econômica para que seja capaz de manter o seu aproveitamento de maneira contínua e segura (BORGES *et al.*, 2016).

Cerca de 15% da energia utilizada no mundo é proveniente de fontes de energia alternativas. Infelizmente, o maior consumo de energia mundial é proveniente de fontes não renováveis, que tem sua origem a partir do petróleo, carvão mineral, gás natural, entre outros. O aumento no número de pesquisas para a disseminação de novos tipos de energia está relacionado com o surgimento do novo cenário da preservação ambiental, criado a partir do aumento dos problemas relacionados com o aquecimento global, obtenção do petróleo e aumento do preço, por exemplo. A biomassa é um tipo de energia renovável que desperta interesse, visto que é produzida a partir de biodigestores, local onde ocorre a decomposição de materiais por bactérias que produzem o biogás (GUIMARÃES; GALVÃO, 2015).

A geração do biogás pode utilizar diversas matérias primas provenientes da biomassa. É uma excelente fonte de energia renovável, que pode ser aproveitado para o uso em aquecimento ou como combustível, além de poder ser convertido em eletricidade. Contudo, sua produtividade e qualidade estará relacionada com a decomposição da matéria-prima utilizada (OKUDOH *et al.*, 2014).

O agente da capacidade calorífica do biogás é o gás metano (CH₄), gerado por meio da degradação biológica anaeróbia da matéria orgânica, com a composição de amônia, compostos orgânicos voláteis, dióxido de carbono, fosfatos, hidrogênio, monóxido de carbono, nitrogênio e sulfetos (DUPONT; GRASSI; ROMITTI, 2015).

Estudos de Santos *et al.* (2012), Mama; Agunwamba (2017), e Peres *et al.* (2018), utilizam a manipueira como biomassa para produção de biogás. Trata-se de um subproduto proveniente do processo da fabricação da farinha a partir da mandioca. Sem um tratamento adequado, esse efluente, ao ser lançado, polui solos e águas, provocando grandes prejuízos ao meio ambiente e ao homem. Esse dano pode ser minimizado se esse efluente for utilizado na produção de biogás, através de digestão anaeróbia, convertendo-o em metano – para ser utilizado como energia – e reaproveitando a matéria orgânica gerada, como adubo. Assim, grande parte do resíduo gerado nas casas de farinha podem ser reaproveitados, trazendo benefícios para a comunidade. É importante ressaltar, também, as vantagens ao meio ambiente que não receberá mais esse efluente, diminuindo os problemas ambientais.

2.2. Produção da Farinha de Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta Crantz*) conforme a classificação botânica pertence à classe das Dicotiledôneas, à subclasse Archiclamydeae, à ordem Euphorbiales, à família Euphorbiaceae (BARBIERO, 2018). Origina-se na América do Sul e possui nomes populares como: mandioca, macaxeira, aipim. É um alimento energético indispensável para mais de 700 milhões de pessoas em mais de 100 mil países que realizam o cultivo desse alimento, em grande parte nos países em desenvolvimento (EMBRAPA, 2019).

Sua plantação, segundo Santos; Alves (2020), por ser resistente às mudanças climáticas com altas temperaturas e, conseqüentemente, a seca, possui um preço acessível para grande parte da população que na maioria das vezes é de baixa renda. A mandioca possui um alto valor energético, é rico em amido, possui fibras e alguns minerais como potássio, cálcio, fósforo, sódio e ferro, sendo uma boa fonte de energia, quando ingerido (SEBRAE, 2012; DIAS, 2006).

A reprodução se dá por meio do caule, chamado de maniva ou de ramo. Além disso, apresenta uma alta variedade genética decorrente de sua alta frequência de polinização, deiscência de frutos e alta heterozigosidade, gerando de maneira contínua novas mandiocas. Podem ser classificadas em “mansa”, consumida na maioria das vezes diretamente e não passa por processo de industrialização. A “brava” *in natura* possui um gosto amargo, além de elevado teor de glicosídeos (superior a 100 mg, equivalente de HCN/kg de raiz fresca polpa) e deve ser

consumida depois de processada (na produção do amido, farinha e outros produtos) (TEIXEIRA *et al.*, 2017).

Conforme levantamento realizado em 2016, o país que mais produziu mandioca foi à Nigéria, obtendo uma estimativa de 57,13 milhões de toneladas, seguido por Tailândia e Indonésia. O Brasil ocupou o 4º lugar no *ranking* de maior produtor mundial com 21,08 milhões de toneladas de raiz de mandioca. O valor da produção mundial de raiz de mandioca correspondeu a 277,1 milhões de toneladas (CONAB, 2018).

Segundo o IBGE (2017), o Brasil apresentou uma queda em relação ao ano anterior, produzindo uma quantidade de 18.876.470 de toneladas em uma área de cultivo de 1.329.566 ha, consistindo em um rendimento médio de 14.356 kg/ha, obtendo R\$ 11.190.867,00 como valor de produção. Os valores relacionados ao estado de Sergipe para a produção são equivalentes a 248.798 tonelada de mandioca, com R\$ 248.798, 00 de valor da produção e 18.917 ha de área plantada.

Grande parte das regiões do Brasil cultivam a mandioca, por meio da agricultura familiar. A região norte é a maior produtora de farinha brasileira com 35 %, seguida pelo Nordeste 25 %, Sul 24 %, Sudeste 10 % e Centro Oeste 6 %. É importante destacar que o Nordeste apresentou secas frequentes, que causaram uma diminuição da produção, perdendo a primeira colocação para à região Norte. Essas regiões contêm centenas de pequenas fabricas de farinha, o que as tornam semelhantes, além de serem os principais consumidores deste produto (SEAB, 2019).

Na região norte, o Pará ganha destaque por ser o produtor líder nacional de mandioca, com cerca de 20% da produção nacional e 50% do total gerado na região norte do Brasil. Esse produto tem destaque na cultura do estado, abrangendo largo fornecimento na mão de obra em áreas de agricultura familiar, tanto nas casas de farinha, como nos comércios, e aponta o maior consumo *per capita* de farinha, contabilizando 35 kg/ano (SEAB, 2019).

No Nordeste, a mandioca tem uma forte demanda na alimentação do dia a dia dos nordestinos. Infelizmente, a seca que atinge a região faz com que não seja atendida a demanda, sendo necessário a importação – que na maioria das vezes é realizada dos estados do Paraná, Santa Catarina e Pará. Apesar disso, se somada a produção dos estados da Bahia, Maranhão e

Ceará obtém-se cerca de 70% da produção nordestina, e os estados do nordeste congregam larga quantidade de indústrias de farinha (SEAB, 2019).

O consumo desse produto *in natura* pelos brasileiros é menor nas regiões sudeste e sul, especificamente no Paraná, Mato Grosso do Sul e São Paulo no qual prevalecem as grandes fabricas de fécula e de farinha. A região centro-oeste é a mais novata na produção de mandioca. Isso ocorre, pois, alguns empresários em busca de vantagens, fizeram seus deslocamentos do Paraná e de Santa Catarina para Mato Grosso do Sul, e está ocupando a segunda posição de produtor de fécula e apresenta capacidade de crescimento para os próximos anos (SEAB, 2019).

A maior parte do mercado da produção brasileira é destinada internamente e não discorre ao mercado externo. Contudo, sua diversidade em produtos e subprodutos, uso e aplicações possibilita sua aplicação no mercado mundial para o consumo humano (SOUZA; FIGUEIREDO; SANTANA, 2015).

Conforme a Portaria n.º 554/1995, a depender do processo da fabricação, a farinha pode ser classificada como: farinha de mandioca d'água, mista e seca, e por sua vez subgrupo de granulação (extrafina, fina beneficiada, fina, média, grossa e bijusada), classe de cor (branca, amarela e de outras cores) e tipos da qualidade do processo de acordo com cada cultura da região do país (BRASIL, 1995).

A fabricação da farinha de mandioca é realizada em casas de farinha que na maioria das vezes são compartilhadas por várias famílias de agricultores, produzida de forma artesanal, próximas ao local de plantio da mandioca (SOUZA; FIGUEIREDO; SANTANA, 2015). As etapas para sua fabricação são: preparação do solo, plantio, colheita, raspagem, lavagem, ralação, lavagem da massa, prensagem, peneiração da massa, torração, peneiração da farinha e acondicionamento da farinha (VELTHEM *et al.*, 2012).

Ao chegar na casa de farinha, é feita a raspagem da casca da mandioca com auxílio de uma faca, após essa etapa é direcionada para um tanque de água para a sua limpeza. Ao serem limpas, as raízes são colocadas no ralador e em sequência a massa ralada é direcionada a uma caixa de madeira (SARTORI *et al.*, 2016). Essa etapa é responsável para a redução da umidade da massa e retirada do ácido cianídrico, o líquido decorrente dessa etapa da origem a manipueira que contém um potencial elevado de toxidade e poluente, com a necessidade de tratamento especial antes do descarte para evitar contaminação do meio ambiente. Deve ser ressaltado

também que para impedir a fermentação e o escurecimento da farinha, a prensagem deve ser operacionalizada imediatamente após a etapa de ralar (PINTO, 2006).

A próxima etapa é o esfarelamento, os blocos compactos da massa serão desintegrados, dispondo para as próximas etapas da secagem e torração, em que é retirada a água do produto, assim como, o sabor característico e aperfeiçoar da cor desejada da farinha de mandioca (MODESTO JÚNIOR; ALVES, 2016). A Figura 1 demonstra as etapas para a fabricação da farinha de mandioca:

Figura 1: Etapas para a fabricação da farinha de mandioca: colheita da mandioca (a); mandiocas agrupadas nos balaios para o transporte (b); raspagem (c); lavagem da mandioca (d); ralador/triturador (e); prensa (f); forno (g).



Fonte: SARTORI *et al.*, 2016.

2.3. Processos de Tratamento do Efluente para a Produção de Farinha de Mandioca

A manipueira requer atenção ao seu descarte, pois possui alta quantidade de poluente, correspondendo a presença de carboidratos, açúcares solúveis, matérias graxas e mucopolissacarídeos. Com valores inferiores, apresenta também, o ácido cianídrico resultante da hidrólise de glicosídeo cianogênico existente na mandioca (MENDONÇA, 2016).

Assim, o descarte da manipueira sem nenhum tipo de tratamento causa poluição em águas subterrâneas e rios, sendo agravado se esse último for intermitente. Isso ocorre, pois, o efluente possui alto teor de compostos orgânicos, o que ocasiona uma queda nos níveis de oxigênio presente na água, provocando a eutrofização dos corpos d'água, morte da fauna aquática e dos animais que a consomem (devido ao excesso do gás cianídrico). São encontrados na manipueira valores altos de DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) e DQO (Demanda Química de Oxigênio) (SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

Apesar dos poluentes orgânicos, a manipueira contém, também, uma toxicidade proveniente do glicosídeo linamarina que está presente na mandioca. Esse composto produz glicose, acetona e ácido cianídrico, a partir da hidrólise, o que torna seu potencial poluidor ainda mais agravante pelo fato de ser facilmente solúvel em água, acarretando sérios prejuízos a fauna ao seu redor. A linamarina ao juntar-se com a lotaustralina é capaz de decompor-se em cianeto de hidrogênio por meio das enzimas e flora intestinal presentes nos intestinos de peixes ou outros animais (SÁNCHEZ *et al.*, 2017). A ingestão de 200 a 500 g de linamarina com lotaustralina de um tubérculo fresco pode levar um indivíduo a morte (SOENTGEN; HILBERT, 2016).

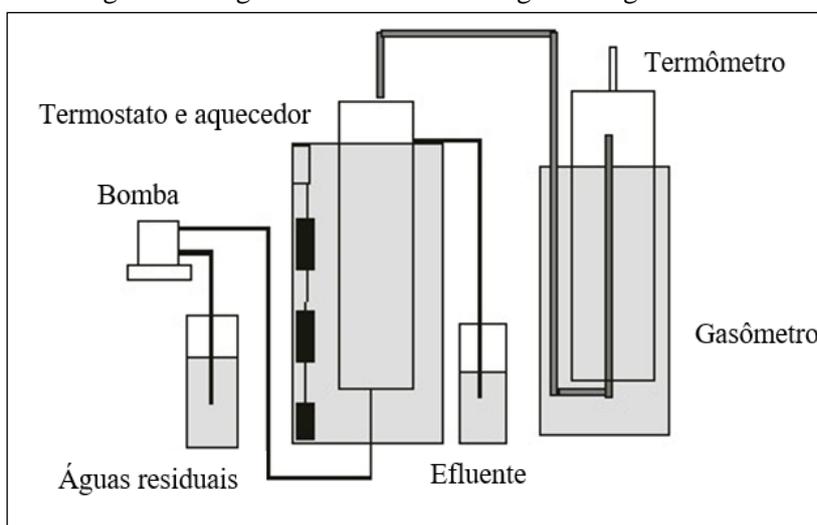
Como já mencionado anteriormente, os glicosídeos existentes na manipueira, apresentam facilidade no desenvolvimento de resíduos líquidos, transformando-os em efluentes tóxicos para as espécies aeróbias, devido o potencial de impedir o transporte de oxigênio (MENDONÇA, 2016). Assim, pode afetar as células nervosas, que ao se combinar com a hemoglobina presente no sangue, transforma-se num inibidor da cadeia respiratória (FONSECA *et al.*, 2016).

A manipueira proveniente da etapa da prensagem da raiz da mandioca possui 25 vezes maior o nível de poluição quando comparada ao do esgoto doméstico. A manipueira de origem de fecularia apresenta uma poluição em proporção menor, por ser diluída, e ainda assim,

apresenta em torno de 12,5 vezes maior que a do esgoto doméstico. Levando em consideração que uma tonelada de mandioca gera aproximadamente 300 L de manipueira, então, uma fecularia que produz essa quantidade de manipueira por dia, consiste a uma poluição de 200 a 300 habitantes/dia (SANTOS *et al.*, 2012).

A partir de procedimento para tratamento da manipueira, realizado por Barana e Cereda (2000), pode-se obter a quantificação do biogás, proveniente de sua decomposição. A produção do metano se deu por fase metanogênica em um reator de leito fixo de fluxo ascendente anaeróbico com diferentes cargas orgânicas, formado por dois tubos de PVC (polivinil cloride) em posição vertical (um no interior do outro). O tubo menor foi preenchido com anéis de PVC rígido, com comprimento de 3 cm, e 2,5 cm de diâmetro e utilizado como leito fixo. A água permaneceu em temperatura constante de 32 ± 1 °C entre os dois tubos, usando três aquecedores de modelo aquário, com alturas variáveis, ligado a um termostato. O volume útil no reator, da coluna interna foi de 9,33 litros, sendo demonstrado na Figura 2.

Figura 2: Diagrama do reator metanogênico e gasômetro.



Fonte: BARANA; CEREDA, 2000.

O gasômetro foi composto por dois tubos de PVC: um de 10 cm e outro de 15 cm de diâmetro, ambos com 100 cm de comprimento. O tubo maior foi preenchido com uma solução salina acidificada (cloreto de sódio a 25% e 5% de ácido sulfúrico concentrado), e o menor, com o topo vedado, ficou flutuante na solução. Por meio de um tubo de PVC-U com 2 cm de diâmetro, o gás foi conduzido através de um tubo (10 cm de diâmetro), que foi proporcional ao volume da produção do gás. Calculou-se o volume de gás produzido multiplicando a área do tubo ($39,27 \text{ cm}^2$) pela altura movida (medido). A respectiva pesquisa não apresentou interesse

em aplicações nas comunidades produtoras da farinha de mandioca (BARANA; CEREDA, 2000).

Silva *et al.* (2013), utilizaram um biodigestor construído de fibra de vidro – com capacidade útil de 80 L de substrato – e gasômetro flutuante – com capacidade de armazenamento de 61 L de biogás. O biodigestor é constituído por dois cilindros retos, em que um está no interior do outro, permitindo um espaço entre os mesmos para comportar água, e, assim, possibilitar condições anaeróbias para a fermentação e a retenção do gás produzido (Figura 3).

Figura 3: Biodigestor operando.



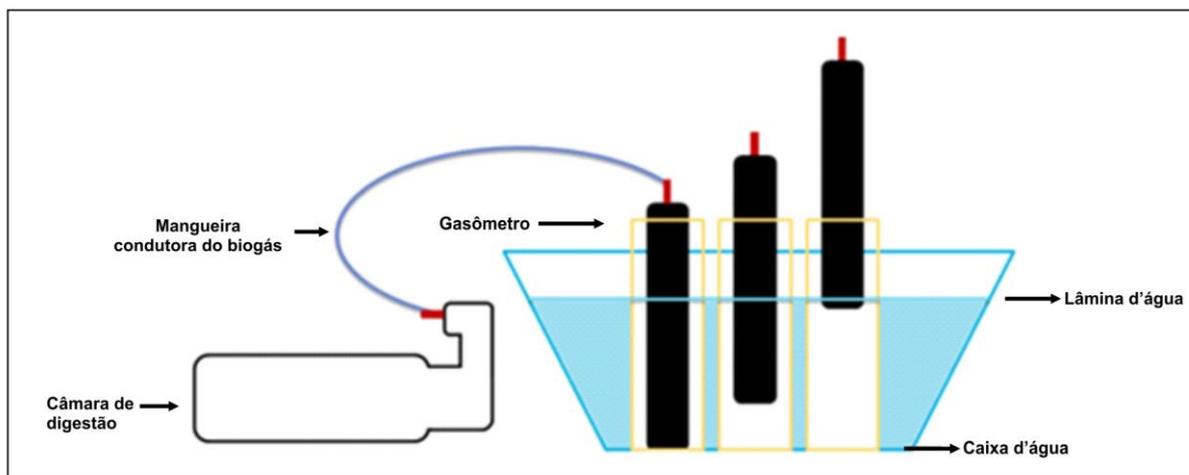
Fonte: SILVA *et al.*, 2013.

O estudo avaliou a biodigestão anaeróbia a partir do substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manípueira e a adição de 25% de biofertilizante proveniente do mesmo substrato. Nos resultados, pôde-se notar que o sistema pode ser uma alternativa para um melhor gerenciamento dos resíduos gerados pelas casas de farinha ou propriedades rurais (ovino-caprinocultura). Por produzir biogás e biofertilizantes, essa proposta constitui não só uma alternativa sustentável, mas também como forma de incrementar o lucro gerado por estas atividades (SILVA *et al.*, 2013).

Nos estudos de SUZUKI *et al.* (2012), os componentes utilizados para a pesquisa foram: água residuária de indústria de fécula de mandioca e cama de aviários de frangos de corte. Foi desenvolvido um biodigestor de fluxo hidráulico descontínuo, ou seja, do tipo batelada. Cada biodigestor batelada continha câmara de digestão e gasômetro (com capacidade

volumétrica conhecida), além de mangueiras e cano de cobre para a união dos mesmos (Figura 4).

Figura 4: Sistema completo de biodigestão anaeróbia, composta por câmara digestora e gasômetros.



Fonte: SUZUKI *et al.*, 2012.

A câmara de digestão continha um volume de $0,26 \text{ m}^3$, e era composta por canos de PVC vedados (pelo mesmo material), que possuía um orifício no centro, no qual foi colocado um pedaço de cano de cobre, e encaixada uma mangueira plástica flexível, cuja função era de comunicação entre a câmara de digestão e o gasômetro. Esse último também foi constituído de PVC, com um orifício na tampa onde foi colocado um pedaço de cano de cobre, encaixando-o na outra extremidade da mangueira (SUZUKI *et al.*, 2012).

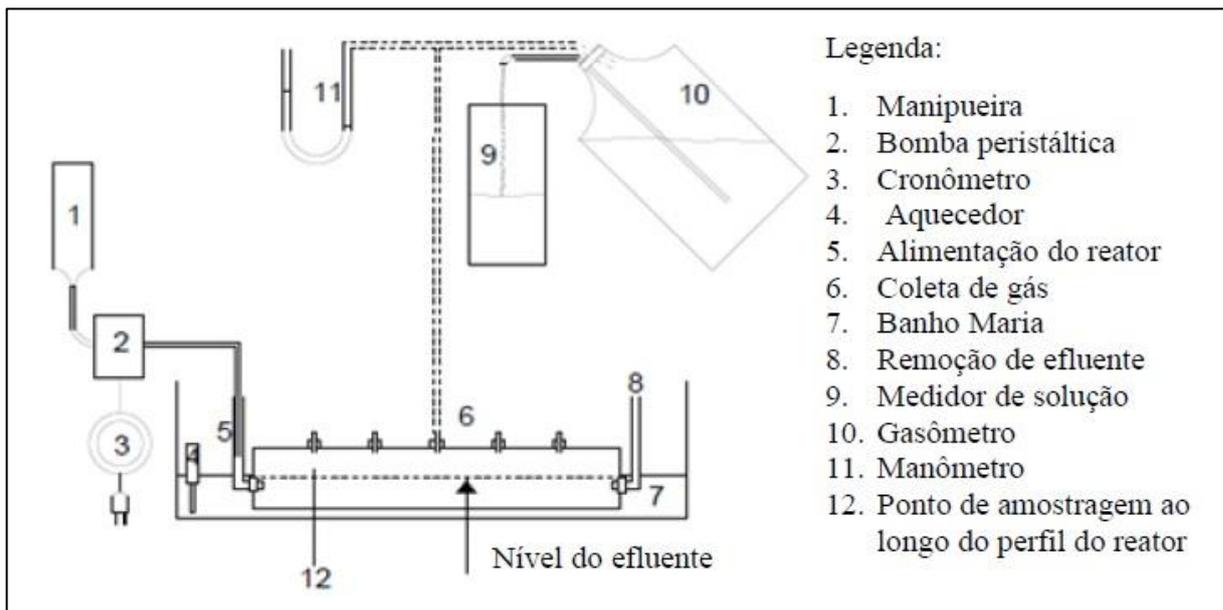
O gasômetro construído era do tipo cúpula móvel, ou seja, conforme a produção de gás de cada câmara digestora, movia-se, conforme pode ser observado no esquema apresentado na imagem abaixo. Esse estudo também não apresentou possibilidade de implementação na comunidade envolvida (SUZUKI *et al.*, 2012).

O efluente utilizado por Kunzler *et al.* (2013), como substrato para a digestão anaeróbia foi coletado em uma fábrica de fécula de mandioca, localizada na cidade de Toledo/PR. Durante o processamento da mandioca para a obtenção do amido, a indústria reaproveita a água utilizada no processo de extração de amido e da limpeza das raízes. Assim, o efluente utilizado consistia em água de extração de amido e água de lavagem de raiz.

Os reatores anaeróbicos utilizados foram alimentados em fluxo contínuo. Fabricados em tubo PVC, com as seguintes dimensões: o primeiro, com diâmetro de 15 cm e comprimento

de 90 cm; e o segundo com diâmetro de 20 cm e um comprimento de 60 cm. Como suporte, foram utilizados anéis de bambu com comprimento médio de 10 cm, e diâmetro variando entre 1,7 e 2,5 centímetros. Pode-se estimar o volume útil do reator entre 6,0 a 6,8 litros, conforme apresentado na Figura 5. Não foram feitas menções no trabalho a aplicação da técnica de tratamento de efluente para comunidades da população das casas de farinha (KUNZLER *et al.*, 2013).

Figura 5: Esquema de digestão anaeróbica e medição do biogás produzido.



Fonte: KUNZLER *et al.*, 2013.

Okudoh, Trois e Workneh (2013), realizaram a pesquisa pela primeira vez na África do Sul. Foi feita a conversão da biomassa, proveniente da mandioca, em biogás a partir da digestão anaeróbica. Utilizou-se um digestor com capacidade de 25 L, com as seguintes dimensões: 40,5 cm de altura e 14 cm de raio com capacidade para o estudo de 20 L. Colocou-se um cobertor eletricamente aquecido ao redor do digestor cilíndrico, contendo uma torneira no fundo para as amostras serem recolhidas na análise e na placa do topo com duas saídas para o gás ser recolhido, além de poder realizar a limpeza do reator. O sistema continha, também, um agitador mecânico para a mistura que ocorria de cima para baixo através da placa de topo do digestor (Figura 6).

Figura 6: Aparato de um biodigestor de bancada.



Fonte: OKUDOH; TROIS; WORKNEH, 2013.

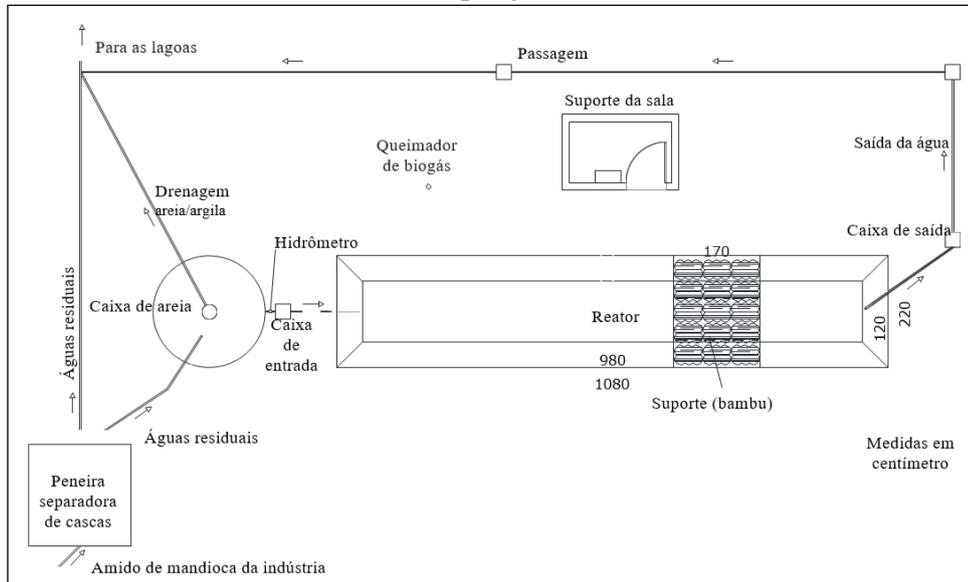
O biodigestor de fase única foi mantido a $36 \pm 0,5$ °C para a digestão anaeróbica, e alimentado com substrato fresco (100 g/L) a cada quatro dias. Os conteúdos foram misturados manualmente três vezes por dia, com um agitador mecânico, durante 30 dias. Outro digestor contendo apenas o inóculo foi utilizado como controle. A produção de biogás do teste de controle de inóculo foi subtraído do total de metano produzido. Este estudo também não apresentou preocupações com comunidades da agricultura familiar da produção da farinha de mandioca (OKUDOH; TROIS; WORKNEH, 2013).

No oeste do Paraná, Kuczman *et al.* (2014), realizaram estudos em uma fábrica de amido utilizando um reator tubular de fluxo horizontal anaeróbio piloto com alimentação por gravidade contínua (Figura 7). A câmara de fermentação, escavada no solo, com seção trapezoidal nas direções transversal e longitudinal e fundo sem declive, tinha as seguintes dimensões: comprimento superior 10,80 m, comprimento inferior 9,80 m, largura superior 2,30 m, largura inferior 1,30 m e profundidade de 2,10 m, com um volume total de 33,6 m³.

A selagem da câmara e do gasômetro foram realizadas com geomembrana de polietileno de alta densidade (HDPE), com espessura de 1,25 mm. Sacos de polipropileno (45 sacos aerados com malha larga) foram empilhados como suporte médio para microrganismos, contendo 9.000 peças de bambu com comprimento de 15 cm e diâmetro de 4 cm, com superfície específica de 11,42 m² o reator. O bambu permaneceu imerso na fermentação do efluente por 470 dias, ocupando um volume de 1,061 m³ na câmara. Antes do reator, foi instalado um recipiente para conter areia e argila contendo o efluente, que também tem a função de trabalhar

para equalizar o fluxo. A vazão diária foi controlada por um hidrômetro, que foi desmontado, limpo e verificado diariamente (KUCZMAN *et al.*, 2014).

Figura 7: Implantação do reator piloto horizontal anaeróbico tubular com alimentação contínua por gravidade.

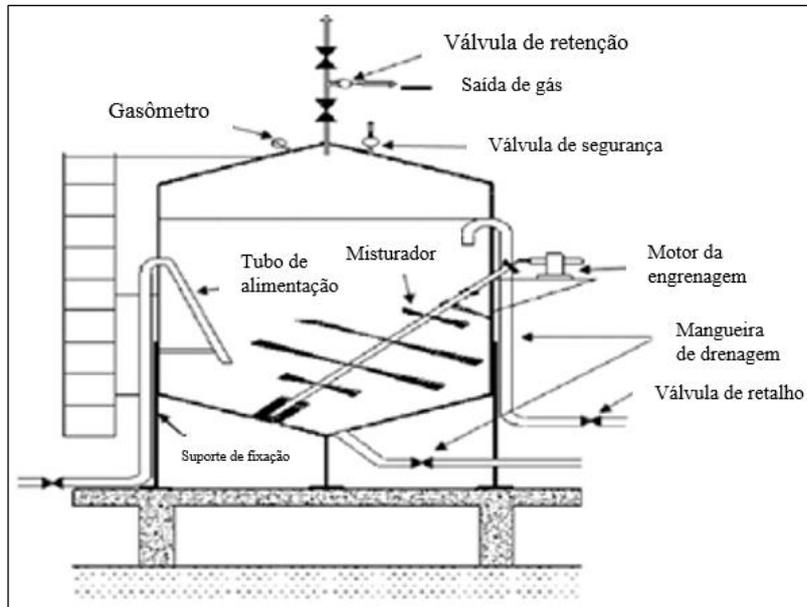


Fonte: KUCZMAN *et al.*, 2014.

Kpata-Konan *et al.* (2015), realizaram um estudo na digestão anaeróbia a partir de um biorreator com capacidade de 6 m³, completamente fechado (Figura 8). Esse biorreator é dividido em três partes, a saber: a parte superior, em que se situa o gás suporte; a parte central, que forma o meio da reação; e a inferior, destinada ao esvaziamento, com um volume de 2 m³. Para o suporte do gás, continha uma válvula de retenção, uma válvula de alívio de segurança e um manômetro. O volume restante de 4 m³ é utilizado para a mistura da reação que inclui o efluente da mandioca, a urina e o estrume de vaca no qual contém um motor de engrenagem para controlar a mistura do digestor, em que é alimentado por um tubo de descarga no qual está fixada uma válvula de borboleta.

Há, também, um amassador que serve para homogeneizar o meio e evitar a deposição. O tubo de alimentação é usado para o abastecimento do digestor a partir de um motobomba. Para a drenagem do reator foi empregado um tubo de descarga, situado na parte inferior do digestor. A pesquisa não foi direcionada a comunidades que fabricam farinha de mandioca (KPATA-KONAN *et al.*, 2015).

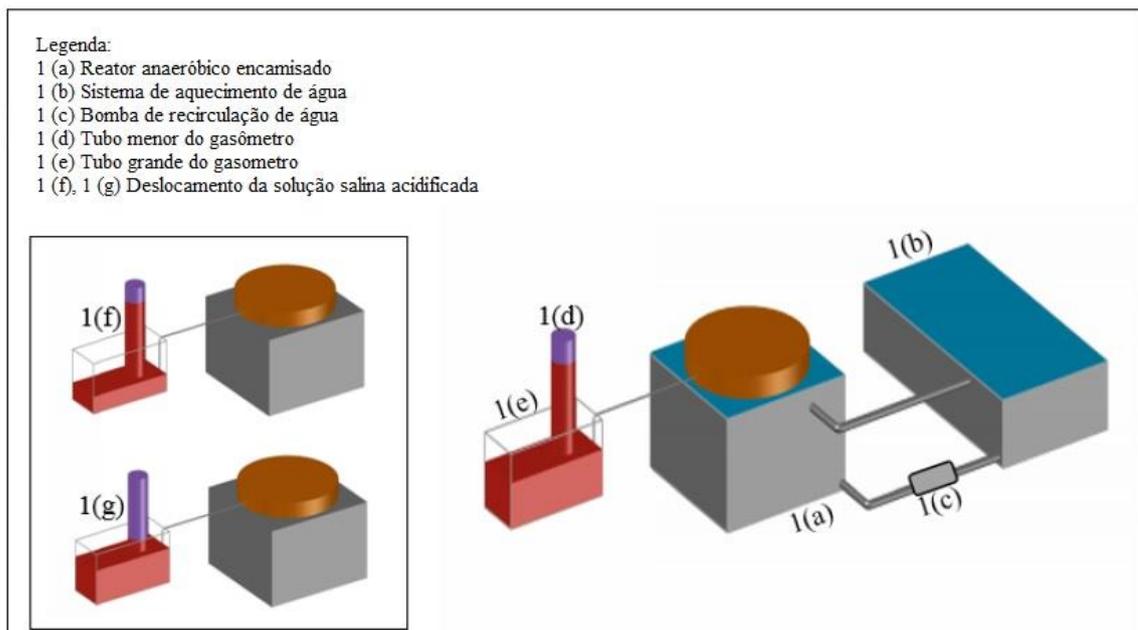
Figura 8: Esquema que descreve o dispositivo experimental.



Fonte: KPATA-KONAN *et al.*; 2015.

Fleck *et al.* (2017), utilizaram como experimento um reator anaeróbico (Figura 9) com camisa produzido em PVC (cloreto de polivinilo) com volume de 20 L, utilizando águas residuais do processamento de mandioca com um substrato que foi fornecido por um fabricante de amido. Utilizaram uma bomba de água de recirculação para o controle de água, da qual variou entre 25 e 90 °C.

Figura 9: Modulo experimental.



Fonte: FLECK *et al.*; 2017.

O gasômetro estava localizado do lado de fora do reator, e acoplado por um tubo de silicone para a condução do biogás. Para a quantificação do biogás produzido, foi encaminhado através de tubos que continha solução salina acidificada dentro de tubos menores para tubos maiores de gasômetro, com base no princípio dos vasos comunicantes. Desse modo, era possível quantificar diariamente o biogás, promovendo assim o deslocamento da solução salina acidificada (FLECK *et al.*, 2017).

Monteiro *et al.* (2015) realizaram estudos para produção de biogás a partir da manipueira e lodo (primário e secundário) proveniente de uma estação de tratamento de esgoto (ETE). A manipueira permaneceu exposta ao sol e ar por um período de 4 dias em recipiente aberto, permitindo a evaporação do ácido cianídrico contido. Em seguida, as matérias primas foram armazenadas em recipientes bem fechados e armazenado sob refrigeração de 4 - 5 °C durante toda fase experimental.

Para o estudo da produção do biogás, os autores utilizaram seis condições de biodigestão anaeróbia. Foram feitas combinações de manipueira com enzimas, em uma proporção de 2% em relação a manipueira, em um período de 48 h antes do preparo da fermentação e lodo de ETE, variando a concentração dos mesmos. Realizaram-se duplicatas no sistema, submetidos à temperatura ambiente com a correção de pH direcionada ao neutro. Foram utilizados frascos de penicilina de 100 ml (com 60% do volume ocupados com o composto) como biodigestor (Figura 10). Após vedados, foram inseridas seringas de 10 mL a fim de indicar a produção do biogás em cada reator. A composição do biogás produzido foi monitorada através de cromatografia gasosa (MONTEIRO *et al.*, 2015).

Figura 10: Sistemas de digestão anaeróbia em frascos de penicilina (100 mL).



Fonte: MONTEIRO *et al.*; 2015.

Sánchez *et al.* (2017), realizaram estudos fundamentados nas fábricas de farinha de mandioca, que tratam seus efluentes a partir de lagoas de decantação – para remover a matéria sedimentável e turbidez, por meio do tratamento biológico. O estudo argumenta que as lagoas podem ser modificadas para lagoas aeradas para uma melhor remoção da demanda bioquímica de oxigênio. Porém, lagoas de decantação produzem mau cheiro e requerem uma área grande e proximidade das fábricas.

Algumas fábricas, bem como agências governamentais, estão começando a considerar a adoção do tratamento anaeróbico como opção mais conveniente para este fluxo de líquido. Segundo as pesquisas, esse sistema é eficaz na minimização da toxicidade do cianeto deste efluente. O tempo de retenção da água residual proveniente das fábricas é cerca de 30 dias em uma série de lagoas abertas. A primeira lagoa serve para a decantação, como a atividade microbiológica é limitada pelo elevado nível de cianetos, apenas cerca de 30% da DBO é removido. Nas lagoas posteriores, anaeróbica e facultativa, ocorre uma diminuição substancial de DBO e DQO. No geral, tal sistema de lagoas pode atingir eficiências de 95% na remoção biológica e química de oxigênio (SÁNCHEZ *et al.*, 2017).

Okudoh *et al.* (2014), realizaram uma pesquisa bibliográfica sobre os substratos provenientes da mandioca com outras combinações, e seus tratamentos em diferentes tipos de reatores. Os autores relataram a geração de biogás a partir da raiz da mandioca, tapioca, efluente da farinha de mandioca, cascas, entre outros, com a mistura de esterco de vaca, esterco de galinha, resíduos de processamento de alimentos e águas residuais de destilaria. Foi notório que quando utilizado valores diferentes de carbono/nitrogênio, diferentes tipos de biodigestores, inoculantes microbianos variados, catalisadores adicionais ou de nutrientes, a literatura demonstrou diferentes resultados para a produção de biogás, alguns com baixa produção de metano, enquanto que outros obtiveram alta nível de metano.

Em 5 de dezembro de 2019 a ABBiogás (Associação Brasileira do Biogás) noticiou que a Tereos Amido & Adoçantes Brasil, empresa de processamento de milho e mandioca do Grupo Tereos adquiriu por R\$ 15 milhões um biodigestor horizontal para o tratamento dos resíduos provenientes do processo do milho e da mandioca. Assim, a empresa poderá ter uma redução de até 20% na compra de biomassas (bagaço de cana, palha de milho entre outros) usadas na caldeira de cogeração para energia nos processos industriais (ABIOGÁS, 2019).

Ao passar pelo biodigestor horizontal, da empresa Tereos, o efluente tem redução de 80% do resíduo orgânico. Para melhorar a eficiência do tratamento, o efluente é encaminhado para um processo de filtragem e oxigenação, tendo até 95% de redução da carga orgânica do efluente, e pode ser direcionado ao meio ambiente após o tratamento. Os resíduos sólidos orgânicos que sobram são destinados a fertilização da plantação de mandioca. O biodigestor é um dos maiores situado na América Latina, ocupando uma área de 10 mil m² com a capacidade de tratar 111 mil L/h de efluentes, e tem gerado um volume de biogás de 1.500 Nm³/h (TEORES, 2020).

Após um mês, a ABiogás publicou em 6 de janeiro de 2020 uma matéria “Tratando de nichos de mercado, que segmentos devem ser mais explorados em 2020?”. Na qual diz que é há muito que progredir quando se trata dos resíduos da suinocultura e da mandioca. “São áreas que estão precisando de solução ambiental, o que estimula o aproveitamento do biogás.” (ABIOGÁS, 2020).

2.4. Digestão Anaeróbia

Cada vez mais tem aumentado o número de estudos em relação ao tratamento biológico de resíduos orgânicos por meio da digestão anaeróbia. Esse tratamento está voltado a produção de biogás a partir das mais diferentes fontes, a exemplo dos resíduos agrícolas, resíduos sólidos urbanos e águas residuais. É fundamental a utilização de estratégias para o processo de digestão anaeróbia, sendo os mais indicados para acompanhar esse processo os ácidos graxos voláteis, alcalinidade, pH, produção e composição do biogás (GIRARDI NETO *et al.*, 2014).

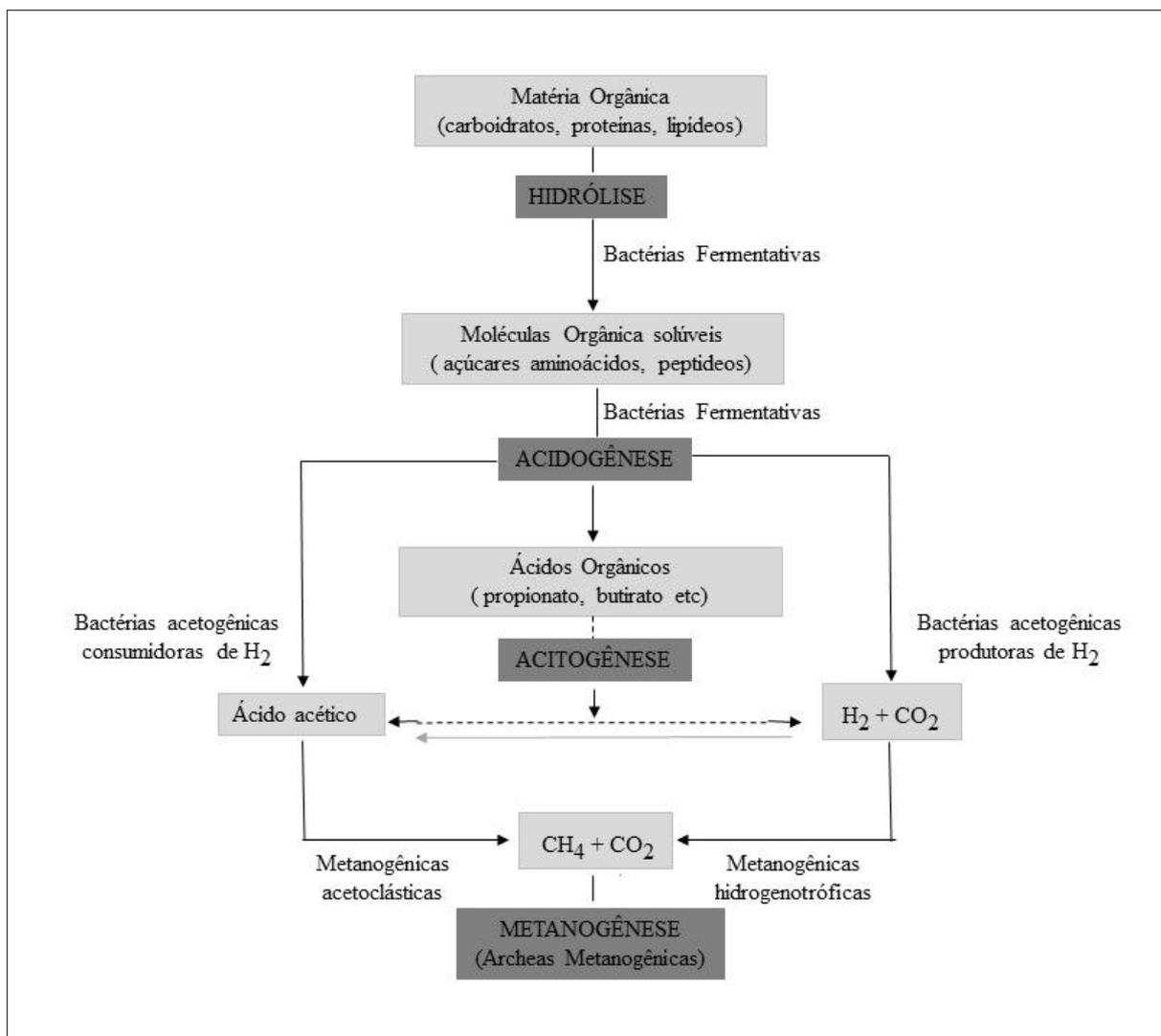
A digestão da biomassa ocorre nos biodigestores anaeróbios, a partir da fermentação da matéria orgânica, que ocorre na ausência de oxigênio, produzindo o biogás e formando um efluente rico em nutrientes, que podem ser, também, utilizados, a exemplo do biofertilizante (FRIGO *et al.*, 2015).

Para que ocorra a digestão anaeróbia é necessário faixas ideais de temperatura para cada tipo de organismo. Há também influência de outros fatores, a exemplo do pH, nutrientes, tempo de retenção, materiais tóxicos. Assim, a biodigestão anaeróbia consegue tratar o efluente

do processo do amido de mandioca, minimizando os efeitos e impactos ambientais deste efluente, já citados anteriormente (FLECK *et al.*, 2017).

Normalmente, a digestão anaeróbia acontece em duas etapas. A primeira é realizada pelas bactérias facultativas e anaeróbias, com a finalidade de transformar os compostos orgânicos complexos em mais simples, a exemplo dos ácidos voláteis. A segunda é formada por bactérias anaeróbias, que têm a função de transformar o que foi produzido pelo primeiro grupo em metano e dióxido de carbono. O processo da digestão anaeróbia pode ser dividido em: hidrólise, acidogênese, cetogênese e metagênese (Figura 11) (ANTONELLI *et al.*, 2016).

Figura 11: Sequência de processos e grupos microbianos da digestão anaeróbia.



Fonte: Adaptada de SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017.

a) Hidrólise

Nessa etapa, substâncias e materiais orgânicos complexos de alta massa molar (proteínas, polissacarídeos, lipídeos, ácidos nucleicos) e material orgânico presente na forma particulada, são hidrolisados em substâncias de menor massa molecular (açúcares, aminoácidos e peptídeos) por um número alto de microrganismos hidrolíticos, por diferentes enzimas hidrolisantes, como celulase, celobiase, xilanase, amilase, protease, lipase. As proteínas são degradadas resultando em aminoácidos, os carboidratos se transformam em açúcares solúveis e os lipídeos são convertidos em ácidos graxos de cadeia longa e glicerina (SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017).

As reações hidrolíticas possuem duas fases, por enzimas extracelulares secretadas por bactérias que são obrigatórias ou anaeróbios facultativos. Na primeira fase, é formada uma colonização bacteriana, local em que as bactérias hidrolíticas cobrem a superfície dos sólidos. As bactérias na superfície da partícula liberam enzimas e produzem monômeros que podem ser utilizados pelas próprias bactérias hidrolíticas ou outras bactérias. Na segunda fase, a superfície da partícula será degradada por bactérias a uma profundidade constante por um determinado tempo (CHRISTY; GOPINATH; DIVYA, 2014).

b) Acidogênese

Nessa fase, os compostos resultantes da etapa da hidrólise (açúcares, aminoácidos e peptídeos) são fermentados, expelindo substâncias simples, como os ácidos graxos voláteis de cadeia curta, alcoóis, ácido lático, compostos minerais (gás carbônico, gás hidrogênio, amoníaco, sulfeto de hidrogênio), além de novas células bacterianas (SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017).

Em geral, a acidogênese é a fase mais rápida na conversão anaeróbia dos complexos orgânicos na digestão da etapa líquida. No período da acidificação de açúcares, ácidos gordos de cadeia longa e aminoácidos decorrente da hidrólise, é utilizado como substrato para microrganismos fermentativos como o *Streptococcus*, *Lactobacillus*, *Bacillus*, *Escherichia coli*, *Salmonella*, para a produção de ácidos orgânicos, a exemplo do acético, propiônico, butírico e outros ácidos graxos de cadeia curta (CHRISTY; GOPINATH; DIVYA, 2014).

c) Acetogênese

Na Acetogênese, ocorre a conversão dos produtos da acidogênese em compostos com apenas um ou dois átomos de carbono (metanol ou formiato e acetato), com produção de hidrogênio e outros substratos mais simples e apropriado às *Archaeas* metanogênicas. Nessa fase os produtos que não conseguem ser transformados diretamente em metano pelas bactérias metanogênicas, são transformados em substratos metanogênicos e ácidos graxos voláteis. Os álcoois são oxidados em substratos metanogênicos como acetato, hidrogênio e dióxido de carbono (ADEKUNLE; OKOLIE, 2015).

É essencial que os organismos que exerçam as reações de oxidação anaeróbica contribuam com o grupo seguinte (os microrganismos que produzem o metano). Essa colaboração entre os microrganismos decorre da pressão parcial do hidrogênio presente no sistema. Por meio da oxidação anaeróbia, os prótons são empregados como receptores finais dos elétrons que conduzem à produção de H₂. Contudo, as reações de oxidação só acontecem caso a pressão parcial do hidrogênio estiver baixa, por esse motivo a contribuição dos metanógenos é essencial, pois eles consomem constantemente o H₂ para a produção do metano (ADEKUNLE; OKOLIE, 2015).

d) Metagênese

Nessa fase, é realizada por microrganismos metanogênicos responsáveis pela produção de metano e dióxido de carbono por meio de produtos intermediários. Tais microrganismos são classificados como *Archaea*, um grupo reconhecido como distinto das bactérias típicas. Todas as fases da digestão anaeróbica estão relacionadas entre si, visto que, os produtos da fase anterior são utilizados como substrato a próxima fase. Nessa última etapa, a digestão anaeróbia é muito vulnerável às perturbações devido aos micróbios que participam do processo. Durante essa etapa, o processo da reação bioquímica é mais lento (SHAH *et al.*, 2014; ADEKUNLE; OKOLIE, 2015).

2.4.1 Fatores que influenciam a digestão anaeróbia

Os principais parâmetros que influenciam na digestão anaeróbia estão referentes ao substrato, as características do biodigestor, as condições de operação. Caso ocorra um

desequilíbrio no processo, por serem sensíveis, as *archaeas* metanogênicas interrompem a produção do metano, e ocorre o aumento na concentração dos ácidos orgânicos voláteis e de outros produtos intermediários, impedindo que não ocorra a produção do biogás (SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017).

- pH

É necessário o acompanhamento do pH para ocorrer eficiência no processo anaeróbio, pois as bactérias metanogênicas são muito sensíveis às variações deste parâmetro. Recomenda-se proporcionar faixas ideais ao pH para que aconteça o crescimento máximo dos microrganismos presentes na digestão anaeróbia, pois, o pH está relacionado às concentrações de ácidos orgânicos voláteis no meio, resultante do equilíbrio entre populações de microrganismos e a alcalinidade total do sistema (Veloso *et al.*, 2018). Nos biodigestores, a faixa de pH é entre 6,0 a 8,0, sendo recomendado 7,0 o ideal para os reatores trabalharem bem. Em estados superior ou inferior desta faixa a produção de metano decresce, tendendo a cessar (QUADROS *et al.*, 2010).

- Nutrientes

Estão presentes nas células dos microrganismos anaeróbios o nitrogênio (12%), fósforo (2%) e enxofre (1%), valor relativos à matéria seca. No processo anaeróbio na demanda biológica de oxigênio, N e P a relação é de 700:5:1. Como também íons de enxofre, potássio, cálcio, magnésio, cloro e sulfato são importantes para a digestão anaeróbia. Os elementos traços como ferro, cobre, zinco, magnésio, molibdênio e vanádio são importantes para o crescimento celular (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019).

Os compostos de enxofre podem provocar problemas para o processo anaeróbio, por precipitar os nutrientes essenciais em níveis traços como ferro, níquel, cobre e molibdênio, que são insolúveis em baixos potenciais redox (precipitação como sulfeto). Íons de metais pesados como Cu^{++} e Zn^{++} , íons metais alcalinos e alcalinos terrosos e NH_4^+ ocasionam efeitos inibitórios (AMARAL; STEINMETZ; KUNZ, 2019).

- Temperatura

A temperatura estabelece condições favoráveis para o desenvolvimento das comunidades microbianas na biodigestão anaeróbia. Os microrganismos anaeróbios são

classificados de acordo com as faixas de temperatura ótimas e favoráveis nas quais eles podem crescer e se desenvolver, como é apresentado na Tabela 1 (LIU *et al.*, 2018).

Tabela 1: Classificação da temperatura na digestão anaeróbia.

Faixa	Intervalo °C
Psicrofílico	<20
Mesofílico	20 - 45
Termofílico	45 - 60
Hipertermofílico	> 60

Fonte: LIU *et al.*, 2018.

As temperaturas mais utilizadas na digestão anaeróbia de resíduos orgânicos são as termofílicas (55 °C) e mesofílicas (35 °C). A temperatura mesofílica apresentar ser mais estável na digestão anaeróbia, tem menor probabilidade de inibição da amônia e dos ácidos graxos de cadeia longa, e menor consumo de energia do que a temperatura termofílica. Em contrapartida, a digestão anaeróbica termofílica, conhecida por suas taxas metabólicas mais altas de microrganismos, sólidos voláteis e remoção de DQO, fornece inativação de patógenos mais eficaz e produz maior volume de biogás em comparação com o tratamento mesofílico. No entanto, o processo termofílico apresenta limitação sobre o mesofílico, como a maior sensibilidade às condições operacionais, diminuição da estabilidade devido ao acúmulo de amônia e ácidos graxos voláteis (ácido propiônico), menor teor de metano no biogás e maior energia líquida na entrada (LIU *et al.*, 2018).

- Tempo de retenção

É o tempo que o biodigestor precisa para degradar o substrato, trata-se do período entre a entrada do efluente e a saída do afluente no digestor. A duração irá depender da biomassa utilizada, do tipo de digestor, além de outros fatores. Normalmente os biodigestores convencionais operam em dias, enquanto que os industriais em apenas algumas horas. O cálculo do TRH é realizado a partir do tempo médio em que o substrato permanece no interior do biodigestor, ou seja, é a razão entre o volume do biodigestor e a vazão de alimentação. O TRH é um parâmetro operacional importante para um digestor anaeróbio que determina a taxa de carregamento orgânico e a retenção da biomassa. Em diferentes condições de temperatura, a taxa metabólica de microrganismos anaeróbios pode ser afetada pelo TRH (FENG *et al.*, 2019).

- Materiais tóxicos

Os íons minerais e os metais pesados fazem parte dos materiais tóxicos que interferem no crescimento das bactérias na digestão anaeróbia. Pequenas quantidades de íons como sódio, potássio, cálcio, magnésio e sulfato proporcionam o desenvolvimento das bactérias, enquanto que em altas concentrações podem ter efeito tóxico (Amorim, 2015).

A amônia livre, NH_3 , acarreta efeitos de toxicidade ou de inibição, por ter a possibilidade de ser transportada para o interior da célula, desnaturando proteínas no interior da membrana dos micro-organismos causando desbalanceamentos protônicos e deficiências de potássio. Existem quatro grupos de micro-organismos da digestão anaeróbia, da qual, as arqueias metanogênicas são as mais suscetíveis a NH_3 . Porém existe discrepância de informações na literatura sobre a sensibilidade das acetoclásticas e das hidrogenotróficas, visto que, algumas pesquisas relatam que *Methanosarcinas* são mais tolerantes a amônia do que outros metanogênicos, em especial a *Methanosaeta sp* (Amorim, 2015).

Estudos demonstram que a toxicidade de cianeto sobre os micro-organismos que ocorre na fermentação anaeróbia do amido de mandioca, em reatores contínuos e descontínuos, em concentrações de cianeto entre 0,100 a 0,130 g/L o processo de digestão sofre inibição de até 50%. A toxicidade do cianeto é influenciada pelas suas formas químicas, estabilidade e biodisponibilidade para a exposição aos micro-organismos (Amorim, 2015).

2.5. Tipos de Tratamento Anaeróbios

A princípio, os reatores anaeróbios tratavam dos resíduos semi-sólidos como estrume de animais, lixo doméstico e estabilização de lodo de origem de efluentes dos tratamentos primários e secundário. Esses reatores formados por tanques simples, sem recirculação de lodo com ou sem agitação com tempo de retenção entre 15 dias a 60 dias. São nomeados de reatores convencionais, de baixa taxa (CETESB, 2020).

Na década de setenta, surgiu uma nova configuração para os reatores anaeróbios, passaram a acumular biomassa dentro de si, por meio de retenção ou recirculação. Deste modo,

o tempo de retenção do líquido é diferente e independente do tempo de retenção do lodo, proporcionando a redução do tempo de retenção hidráulica (3 horas a 5 dias) no tratamento dos efluentes (CETESB, 2020).

Existe uma variedade de biodigestores, mas, estes possuem ponto em comum, visto que são formados, basicamente, por uma câmara totalmente fechada e vedada (onde é inserido o material orgânico em solução aquosa para que ocorra a fermentação) e uma campânula de armazenamento ou gasômetro (no qual há geração e mantimento de biogás a fim de posterior captação). O aspecto do biogás será influenciado pela temperatura, pressão e teor de umidade (DUARTE *et al.*, 2015). A Tabela 2 traz estudos aplicados às águas residuais de mandioca manipueira, da qual a manipueira faz parte.

Tabela 2: Estudos referentes ao tratamento da manipueira.

Tratamento utilizado para a manipueira	Autores
Produção de biogás a partir de águas residuais de mandioca e esterco de vaca sob alteração dos parâmetros meteorológicos em biodigestor modelo Indiano.	MAMA; AGUNWAMBA, 2017.
Produção de biogás a partir de águas da manipueira usando reator de manta de lodo anaeróbico de fluxo ascendente de três estágios.	JIRAPRASERTWONG; MAITRIWONG; CHAVADEJ, 2019.
Desempenho de reatores de manta de lodo anaeróbico de fluxo ascendente para tratamento de águas residuais de mandioca.	JIJAI; SRISUWAN; SIRIPATANA, 2015.
Produção de hidrogênio e metano a partir de águas residuais de mandioca usando reatores anaeróbicos de manta de lodo de fluxo ascendente.	INTANOO; CHAIMONGKOL; CHAVADEJ, 2016
Os efeitos de inóculo e tempo de retenção hidráulica na produção de hidrogênio a partir de águas residuais de mandioca e mistura de glicose em um reator anaeróbico de leito fluidizado.	ROSA <i>et al.</i> , 2014.
Produção de hidrogênio a partir de águas residuais de mandioca usando um reator de batelada de sequenciamento anaeróbico.	SREETHAWONG <i>et al.</i> , 2010.
Tratamento anaeróbico de efluente de extração de amido de mandioca usando filtro de fluxo horizontal com bambu como suporte.	COLIN <i>et al.</i> , 2007.
Remoção de cianeto de águas residuais de moinho de mandioca usando <i>Azotobacter vinelandii</i> TISTR 1094 com microrganismos mistos em sistema de tratamento de lodo ativado.	KAEWKANNETRA <i>et al.</i> , 2009.
Processo de reciclagem completa por meio do tratamento anaeróbico de duas fases com águas residuais de mandioca para produção de bioetanol.	ZHANG <i>et al.</i> , 2010.
Caracterização do desempenho e da estrutura da comunidade microbiana de um reator anaeróbico CIC para o tratamento de águas residuais de mandioca.	SU <i>et al.</i> , 2017.

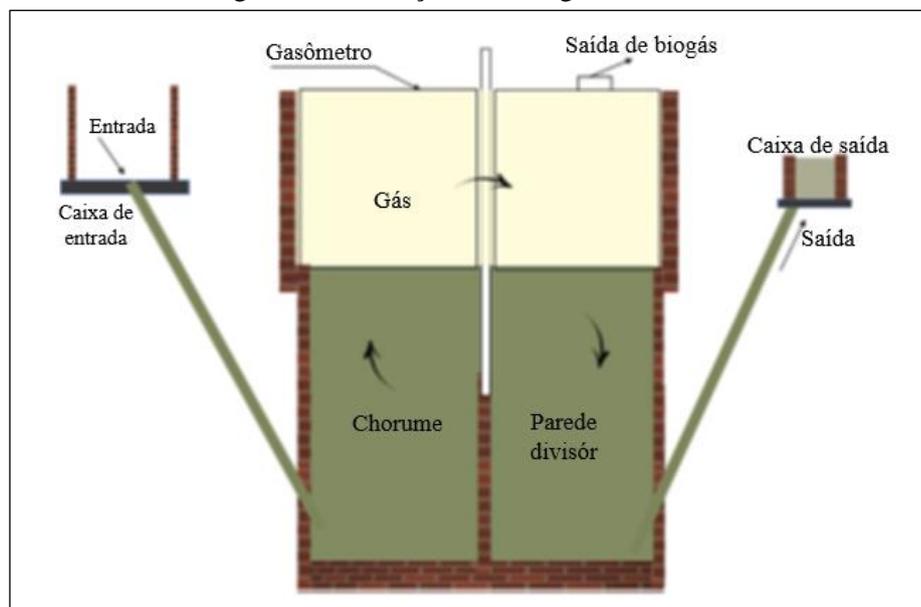
Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

A seguir será apresentado alguns tipos de biodigestores e reatores para tratamento de efluentes:

- Biodigestor Indiano:

O primeiro biodigestor Indiano construído foi em Bombaim na Índia em 1857. É constituído por uma campânula utilizada como gasômetro, de modo que pode estar imergida sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central, que separa o tanque de fermentação em duas câmaras (conforme observado na Figura 12). A biomassa é capaz de propagar-se no interior da câmara de fermentação devido a parede divisória que possui. Esse modelo de biodigestor é caracterizado por pressão de operação constante, ou seja, à medida que é produzido o gás, o produto para de ser consumido, mantendo-se constante a pressão no seu interior. O gasômetro está localizado sobre o substrato ou sobre o selo d'água, fazendo com que haja uma diminuição das perdas ao longo do processo de produção do gás (ARAÚJO *et al.*, 2015).

Figura 12: Ilustração do biodigestor Indiano.



Fonte: FREITAS *et al.*; 2019.

As câmaras são conectadas com um tubo (de entrada e saída da biomassa) (CALZA *et al.*, 2015). Os biodigestores Indianos apresentam vantagens sobre os demais por ter fácil adaptação aos diferentes tipos de solo (a exemplo do semiárido, que possui pequena profundidade), e por ter medidas praticamente independentes. Além da produção do biogás, pode ser gerado, também, biofertilizante, a depender das condições do ambiente anaeróbico,

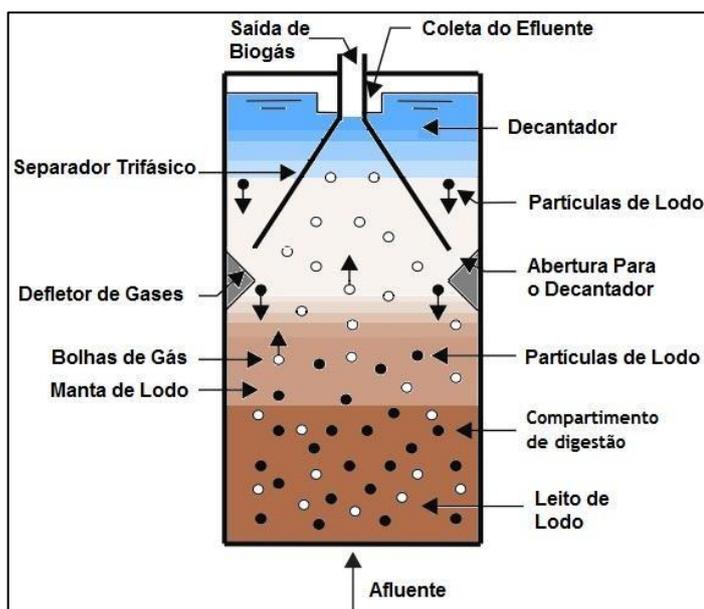
matéria-prima utilizada, agitação (com alimentação diária do biodigestor), pH (neutro ou ligeiramente básico) e temperatura (entre 5 e 55°C), na qual o substrato é submetido (SILVA *et al.*, 2015).

Para um bom desempenho da sua operação o biodigestor Indiano deve ser alimentado com resíduos orgânicos úmidos e não ultrapassar o nível de sólidos totais de 8%. Com essa conduta, haverá melhor circulação do material e prevenção de entupimento na tubulação de entrada e saída (BEZERRA, 2016).

- Reator UASB

Os reatores de fluxo ascendente e manta de lodo também chamados de reatores UASB (Upflow Anaerobic Sludge Blanket) (Figura 13), desenvolvidos por pelo Prof. Gatzte Lettinga e sua equipe, na Universidade de Wageningen, na Holanda, na década de 1970, é utilizado para tratamento biológico de efluentes industriais e domésticos (BORGES; SANTOS, 2018).

Figura 13: Esquema do processo em um reator UASB.



Fonte: BORGES; SANTOS, 2018.

No UASB, a matéria orgânica é decomposta de forma anaeróbia, sem a presença de oxigênio. Constituído de uma coluna de escoamento ascendente, uma zona de digestão, outra de sedimentação e o separador trifásico (gás-sólido-líquido). O efluente flui no reator e após ser distribuído por sua parte inferior, percorrendo uma trajetória ascendente, desde a sua parte mais inferior, até encontrar a manta de lodo. Após a mistura, ocorre a biodegradação e a digestão

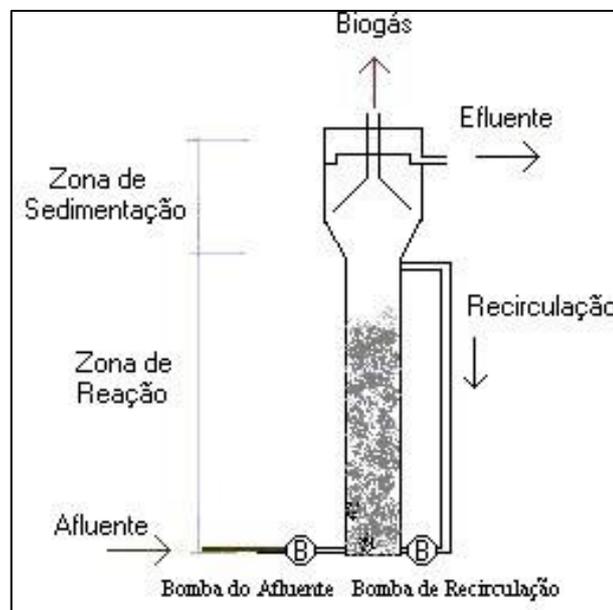
anaeróbia do conteúdo orgânico, tendo como subproduto a geração de gases metano, carbônico e sulfídrico (LEGNER, 2015).

O UASB possui características hidrodinâmicas positivas a composição de grânulos, gerando elevado tempo de retenção celular e acomodando altas cargas orgânicas volumétricas, com pequeno tempo de detenção hidráulica (ordem de grandeza de horas), conforme as condições operacionais e as características dos afluentes, sendo capaz de desvincular o tempo de retenção celular do tempo de detenção hidráulica (SANTANA; OLIVEIRA, 2005).

- Reator Anaeróbios de Leito Fluidificado

Os reatores anaeróbios de leito fluidificado (RALF), são utilizados para tratamento de efluente industriais, como também de águas residuais. No RALF as partículas de pequenas dimensões (0,2 a 10 mm) são condicionadas em leito fluidificado por fluxo ascendente, servindo de suporte para a fixação dos microrganismos que efetua a decomposição do substrato afluente, à proporção que o mesmo atravessa o recheio de partículas, proporcionando a degradação biológica dos compostos orgânicos (CHAVES, 2018). A Figura 14 apresenta a ilustração de um RALF

Figura 14:Esquema ilustrativo da configuração típica de um RALF.



Fonte: CHAVES, 2018.

Este reator é composto por duas zonas, a de reação e a de separação. Na Zona de reação, as biopartículas se deslocam para o tubo de aspiração e recirculam para o fundo do

reator fora do tubo de aspiração. Isso fornece uma mistura eficiente entre as biopartículas e as águas residuais para a degradação dos compostos orgânicos, formação de biofilme e produção de biogás. As biopartículas também entram na região de separação, onde as biopartículas são decantadas na região de sedimentação e são devolvidas à região de reação. Pequenos flocos são removidos pelo decantador inclinado para fornecer um fluxo de efluente claro (DENG *et al.*, 2016).

- Biodigestor Batelada

No modelo batelada (Figura 15), o substrato pode ter granulometria variada, pois é raro ocorrer entupimento no biodigestor. O seu processo não é contínuo, a câmara de digestão é preenchida somente uma vez e o substrato é degradado sem ocorrer acréscimos sequenciais ou ser descarregado até o tempo de residência. Devido as diferenças do tempo para a decomposição e produção do biogás, quando é atingido o seu máximo de produção o biodigestor é desocupado, deixando uma pequena quantidade de material para a próxima alimentação, no qual o novo substrato é misturado com o já fermentado para aproveitar os microrganismos da degradação anterior (ECKERT *et al.*, 2015).

Figura 15: Protótipos de biodigestores modelo batelada.



Fonte: MATOS *et al.*; 2017.

Vale destacar que esse modelo é melhor utilizado para resíduos que necessitam de períodos longos para degradar (FRIGO *et al.*, 2015). Por possuírem uma construção mais simples que os demais biodigestores, é fundamental um estudo preliminar do projeto para a implementação de biodigestores em batelada, tendo em vista a parte econômica maior e o tempo necessário para a sua criação (CALZA *et al.*, 2015).

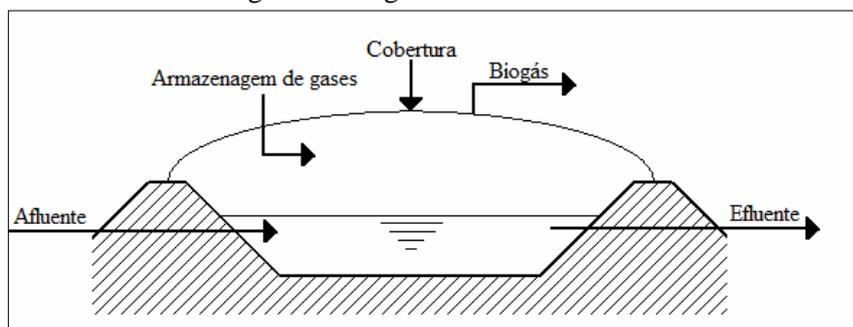
- Lagoa Anaeróbia

A principal vantagem deste tipo de sistemas é a facilidade da operação com pouca mecanização de aquecimento ou mistura, operando em temperatura ambiente e sob condições estritamente anaeróbias. Porém, exige grande área para a realização do tratamento das águas residuárias. O tratamento dá-se por reações bioquímicas, sedimentação de sólidos e desinfecção (SOLDERA, 2018).

No topo da lagoa anaeróbia descobertas contém uma zona aeróbia, onde CH_4 , H_2S , NH_3 e VOCs) são parcialmente oxidados em CO_2 , H_2O , N_2 e N_2O e SO_2 . Esta zona aeróbia é importante para controlar as emissões de gases redutores de odor. Ao decorrer do tempo, os sólidos residuais do tratamento ficam acumulados e criam o lodo da lagoa, ocasionando um baixo desempenho no sistema, por reduzir o volume de tratamento e, por sua vez, o tempo de residência, levando ao aumento das emissões de gases de efeito estufa e gases odoríferos (OWUSU-TWUM; SHARARA, 2020).

Essas lagoas anaeróbias podem ser revestidas por lonas flexíveis, com a finalidade de armazenar e coletar o biogás para a geração de energia resultante da digestão anaeróbia, conforme apresentado na Figura 16. É importante frisar a necessidade demais etapas para o tratamento, usualmente, baseada em processos biológicos aeróbios (BOHRZ, 2010).

Figura 16: Lagoa anaeróbia coberta.



Fonte: BOHRZ, 2010.

2.6. Biogás

A matriz energética nos dias atuais tem como base as fontes de energia não renováveis, composta principalmente pelo petróleo, carvão e gás natural. Devido ao aquecimento global novas pesquisas vêm surgindo para preservação do meio ambiente. Um dos fatores que faz

recorrer a novos modelos de energia é o aumento do valor do petróleo (GUIMARÃES; GALVÃO, 2015).

O agravamento da degradação ambiental por meio das águas residuais com alta carga orgânica, resíduos da pecuária e resíduos agrícolas são problemas atuais dos quais tem a capacidade de tornar o meio impróprio para as futuras gerações. Uma boa opção é a transformação desses resíduos em biogás como fonte de alternativa de energia renovável, através de processos que envolvem a digestão anaeróbica, buscando implementar um tratamento de baixo custo (JIRAPRASERTWONG; MAITRIWONG; CHAVADEJ, 2019).

O aproveitamento energético do biogás pode ser empregado em gás de cozinha, energia elétrica ou até mesmo como fonte de combustível para veículos. Assim, pode contribuir para a energia de um determinado país, podendo favorecer a segurança energética. O resíduo que é produzido pela matéria orgânica ao entrar no processo de decomposição pode ser reaproveitado como fertilizantes na agricultura (GUIMARÃES; GALVÃO, 2015).

Nesse contexto, o biogás apresenta vantagens, segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE), por ser um produto energético flexível na sua utilização, sendo capaz de ser transformado em eletricidade injetada na rede de gás posterior ao seu tratamento necessário para a retirada das impurezas, como também de ser utilizado como combustível, a partir do reaproveitamento dos resíduos de origem rurais, urbanos e industriais. Esse aspecto mostra um grau de descentralização na produção e uso de combustíveis que desencadeia condição de inovação no campo energético (EPE, 2016).

Segundo a resolução normativa nº 8 de 2015 da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, no seu Art. 3º é apresentada a definição do biogás como “O gás bruto obtido da decomposição biológica de produtos ou resíduos orgânicos” (ANP, 2015).

A atividade humana referente a exploração da lenha como fonte energética na maioria dos casos acontece de maneira errada, sendo capaz de gerar impactos negativos ao meio ambiente. Na Chapada do Araripe, o polo gesso tem ênfase na econômica, cerca de 350 empresas são responsáveis por 95% da produção nacional de gesso, sendo, mais de 93% de todo o consumo de energéticos florestais nessa área. Estudos revelam que aproximadamente 33% da matriz energética local são atendidas a partir da exploração da lenha de maneira não sustentável da vegetação nativa, especialmente da caatinga (BRAINER *et al.*, 2012).

Uma das soluções ao problema de geração de energia, é o aproveitamento de dejetos orgânicos para a produção de biogás, promovendo benefícios econômicos e a sua utilização como fonte de energia térmica para a substituição de lenha e do gás liquefeito de petróleo (AMORIM, 2015). A geração do biogás pode ser realizada por diversas fontes de materiais orgânicos, a exemplo de resíduos da agricultura e agroindústria, podas, capins, folhas, até os excrementos, fezes de animais, e também esgotos. A quebra do composto orgânico resultando em biogás é consequência do desenvolvimento das bactérias (SOUZA; SCHAEFER, 2015).

O composto presente em maior quantidade no biogás é o metano, com aproximadamente 50 a 75% de composição. Esse gás que pode ser utilizado para fins de fonte de calor, como já mencionando anteriormente. Quando o metano atinge uma concentração entre 95 e 98%, é considerado gás natural e pode ser utilizado como combustível para veículos. Assim, a geração do biogás contribui tanto para as emissões de metano de fontes orgânicas, como substituição dos combustíveis fósseis. Dessa forma, colabora para o desenvolvimento sustentável, principalmente nas áreas rurais mediante emprego local, obtenção de energia limpa com valor acessível, benefícios à saúde e segurança energética aprimorada (MITTAL; AHLGREN; SHUKLA, 2019). A Tabela 3 demonstra a composição do biogás a partir de materiais residuais.

Tabela 3: Composição típica do biogás.

Gás	Concentração no biogás (%)
Metano (CH ₄)	50 – 75
Dióxido de metano (CO ₂)	25 – 45
Gás sulfídrico (H ₂ S)	0 – 1
Hidrogênio (H ₂)	0 – 1
Monóxido de carbono (CO)	0 – 2
Nitrogênio (N ₂)	0 – 2
Amônia (NH ₃)	0 – 1
Oxigênio (O)	0 – 2
Água (H ₂ O)	2 – 7

Fonte: MAHMOOD; SHAH, 2014.

A proporção da composição do biogás depende da biomassa de origem. Assim, a quantidade de metano no biogás pode variar significativamente, podendo ser proveniente, por exemplo, de algas, esterco de vaca, óleo de sementes, entre outros substratos que contenham matéria orgânica (RAHMAN; RAMESH, 2019).

O biogás apresenta uma temperatura de 650 °C, consideravelmente alta para a autoignição, com quantidade baixa de 0,25 m/s para a velocidade da chama, além da inflamabilidade restrita quando comparada com a do gás natural, na Tabela 4 são apresentadas as comparações entre o biogás e gás natural. Um dos motivos do valor calorífico ser mais baixo no biogás é devido a presença do CO₂. Já existem diferentes técnicas para a remoção do gás carbônico, porém em algumas circunstâncias é inviável a purificação do biogás para o pequeno agricultor, portanto utilizando comumente na forma bruta (RAHMAN; RAMESH, 2019).

Tabela 4: Comparação de propriedades de biogás e gás natural.

Propriedades	Biogás	Gás natural
Composição	CH ₄ -57%; CO ₂ -41%; CO-0,18%; H ₂ -0,18%; H ₂ S+umidade-equilibrado	CH ₄ -85%; C ₂ H ₆ - 7%; C ₃ H ₈ -2%; CO ₂ -5%; N ₂ -1%
Valor calorífico (MJ/Kg)	17	50
Densidade a 1 atm e 15 °C (kg/m ³)	1,2	0,79
Número de octano da pesquisa	130	120
Limites de inflamabilidade (% vol no ar)	7,5-14	5-15
Estequiométrica (kg de ar / kg de combustível)	5,7	17,3
Temperatura de autoignição (°C)	650	540
Velocidade da chama (m/s)	0,25	0,34
Número octano	160	130

Fonte: RAHMAN; RAMESH, 2019.

O biogás não possui cheiro, é incolor e quando está em combustão apresenta coloração azul-lilás, pequenas manchas vermelhas e não produz fuligem. A partir da proporção da quantidade de metano e de substâncias não combustíveis ocorre a variação do poder calorífico do biogás que pode variar entre 5.000 a 12.000 kcal/m³ quando altamente purificado (WESTRUP *et al.*, 2015).

A utilização das energias renováveis ainda é uma parcela pequena em comparação com o total de energia produzida. O uso de biocombustíveis líquidos, eólica, solar, biogás, resíduos urbanos renováveis e maré ainda representa apenas 3,7% do suprimento total de energia primária. Porém pode ser observado que nos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico) ocorreu um aumento de 3,1% em 1990 para 35,7% em 2018. Havendo um aumento para energia solar fotovoltaica e eólica, que cresceu a taxas médias anuais de 37,0% e 23,4%, respectivamente. O biogás teve a terceira maior taxa de crescimento, com

11,9%, seguido pelos solares térmicos com 11,2% e biocombustíveis líquidos apresentando 9,7% (IEA, 2017).

A maior produção de biogás concentra-se nos Estados Unidos, com a origem nos aterros sanitários e na Europa, com a biodigestão anaeróbica de resíduos agropecuários. Pode-se notar um aumento de produção também na Ásia e África. O maior aproveitamento do biogás é em energia elétrica, queima em motogeradores, produção de biometano, após realizar a remoção de contaminante e CO₂ para que seja possível a mudança de biogás para gás natural, principalmente para a utilização em veículos, além do uso dos resíduos como fertilizantes (MILANEZ *et al.*, 2018).

Atualmente, a maior utilização de biogás ocorre em pequenas e médias propriedades rurais, que utilizam da queima para a obtenção de energia térmica. Porém, é necessário que sejam realizados alguns procedimentos (adsorção, filtração por membrana, separação criogênica) para melhorar a pureza da fonte energética. Assim, a ser purificado, pode-se obter até 96,5% de CH₄, produzindo o biometano, e injetar na rede de gás natural ou a compressão (MILANEZ *et al.*, 2018).

O biogás se destaca na matriz energética sustentável por aproveitar efluentes em biodigestores, além de ajudar a diminuir a quantidade de carbono presente na biomassa através da sua digestão. Ainda que a produção de biogás no Brasil seja pequena para o aproveitamento em energia, pode-se dizer que essa técnica tem um futuro promissor. De acordo com a Associação Brasileira de Biogás e Biometano (Abiogás), o Brasil em suas equivalências energéticas apresenta um potencial teórico total de 78 milhões m³/dia de biometano, correspondente a 24% da demanda de energia elétrica, ou suprir em 44% a demanda de óleo diesel, com o maior valor no setor sucroenergético responsável por cerca de 70% desse total (ABIOGÁS, 2016).

A EPE (Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia) realizou pesquisas no setor agropecuário para a substituição do diesel a partir do biogás. A mesma apresentou os seguintes resultados: composição de 55% v. biometano, de equivalência energética de 1 L diesel igual a 1 L biometano. Estima-se para 2026 o potencial de biogás no setor sucroenergético em 8,4 bilhões Nm³ de biogás, sendo 4,6 bilhões Nm³ de biometano do qual pode ser utilizado como óleo diesel. A partir desses dados nota-se que essa quantidade é satisfatória para fornecer a metade da demanda no setor agropecuário até 2026 (EPE, 2017).

A produção de biogás em escala comercial no Brasil é proveniente de matéria orgânica dos resíduos sólidos urbanos (RSU), resíduos da produção de açúcar e etanol de cana, como vinhaça e torta de filtro, e resíduos da pecuária suína. Em uma proporção menor procede de resíduos da produção de alimentos em geral, por exemplo, o amido de mandioca e suco de laranja, grama, dejetos da pecuária bovina e avícola, e efluentes sanitários. Não importa a matéria prima da biomassa do biogás, a sua utilização sempre apresenta uma maneira de reutilizar os resíduos que não teriam mais nenhuma utilidade em fontes de energia, matéria-prima para fertilizantes e outros subprodutos com agregação de valor. O Brasil ainda está em fase de crescimento nesse setor, a integração do biogás na proposta de expansão da energia elétrica evidencia possível aumento nos próximos anos, sendo uma das principais fontes de energia renovável (MILANEZ *et al.*, 2018).

2.7. Purificação do Biogás

Uma das dificuldades para a utilização do biogás é a presença do H₂S. Por ser um gás corrosivo, no decorrer da compressão do gás, nas partes metálicas de motores, bombas, compressores, tanques de armazenamento de gás e válvulas, reduz a vida útil dos equipamentos do processo. Além de ser tóxico, durante sua combustão é um dos gases que formam a chuva ácida, prejudicando o ambiente. O CO₂ deve ser retirado, para obter um biogás com maior concentração de metano, pois a sua presença diminui o potencial energético do biogás por ser considerado um gás inerte em termos de combustão. Sua remoção é significativa para o uso do biogás, tendo como exemplo o uso de biocombustível em veículos, injeção na rede de gás natural, entre outras (MAIA *et al.*, 2014).

Logo, deve ser preservado ao máximo o metano presente no biogás, a purificação é uma boa alternativa para a retirada dos gases indesejados que danificam o processo de combustão e diminuem a eficácia para o seu devido uso. A presença desses gases contaminantes diminui a capacidade para a geração de calor por volume de gás utilizado. Após a retirada dos gases prejudiciais ao sistema, a quantidade de CH₄ será bem maior no biogás, como já mencionado anteriormente, será inodoro, inflamável e com uma densidade menor do que a do ar (MIYAWAKI, 2014).

É recomendado que sejam retirados os contaminantes presentes no biogás antes de qualquer utilização. As principais etapas para o tratamento para o biogás são: a limpeza para a retirada dos compostos nocivos e tóxicos (como o H₂S, N₂, O₂, SI, H, VOCs, CO e NH₃) e regulagem de CO₂ para que a quantidade do calor do biogás esteja no nível ideal. O produto final esperado é o biometano que é constituído com 95-99% de CH₄ e 1-5 % de CO₂, com traços ou a inexistência de H₂S (AWE *et al.*, 2017; OLUGASA; ODESOLA; OYEWOLA, 2014).

Atualmente, as empresas utilizam diversas maneiras para a purificação do biogás com a finalidade de retirar o H₂S e o CO₂ para a obtenção do metano puro. Ainda não existem pesquisas que comprovem qual a melhor tecnologia nem a relação de valor entre as técnicas. Isso faz com que a escolha para a melhor técnica de purificação do biogás dependa da vazão do gás, método de utilização, demanda do mercado, entre outros (MEL *et al.*, 2015).

O método da adsorção demonstra vantagem na técnica de separação para realizar a purificação, por realizar a seleção de acordo com os tipos e formas dos adsorventes são utilizados nos processos de separação. Nos materiais porosos, a adsorção tem energia eficaz e partindo para o lado econômico apresenta mercado de competição, ganhando destaque os que apresentam pequenos volumes dos gases e se faz necessária a purificação. Os materiais mais utilizados para a adsorção são as sílicas, carbonos ativados, argilas e zeólitas (SOUZA FILHO *et al.*, 2018). Tendo como exemplo a utilização do carvão ativado por apresentar um rendimento favorável em áreas de superfícies grandes. O de endocarpo gera um carvão rígido e granulado, com uma grande área superficial satisfatório para a adsorção de corantes, metais pesados, compostos orgânicos e inorgânicos, e gases ácidos como o CO₂ e H₂S, além de apresentarem um baixo custo de produção (ARAÚJO *et al.*, 2018).

A adsorção é usada quando se deseja remover de uma mistura de líquidos ou gases, um ou mais componentes por meio do contato direto com um sólido. Nessa operação, a carga a ser tratada escoar através dos espaços vazios entre as partículas do sólido adsorvente (BRASIL, 2013). Sendo assim, a adsorção é uma operação de transferência de massa do tipo sólido fluido na qual se explora a habilidade de certos sólidos de reter em sua área de contato determinadas substâncias em soluções gasosas ou líquidas, possibilitando separá-las dos outros componentes da mistura. O adsorvente dependerá bastante do sólido utilizado para o procedimento, assim a sua diferença é ocasionada pelas duas classes de relação entre as moléculas (do meio fluido e

as do sólido) tendo por fundamento a natureza das forças que as unem, correspondendo a adsorção física ou química (POSSA, 2018).

Um dos procedimentos mais antigos para a eliminação do H₂S é o procedimento conhecido por esponja de ferro. Os principais materiais utilizados são palha de aço, cavacos e limalha no leito de reação, onde o processo vai ocorrer por meio de adsorção em óxido de ferro. Através desse processo, o enxofre é retirado pelo óxido de ferro pela produção de sulfetos de ferro insolúvel. A inclusão de ar/oxigênio ajuda a aumentar o tempo de vida útil dos leitos de óxido de ferro, formando o enxofre elementar e regenerando o óxido de ferro, esse processo acontece em duas colunas paralelas, uma serve para a retirada do H₂S e a outra para a regeneração do óxido de ferro. Contudo, o enxofre causa a redução da eficiência da esponja de ferro (1/3 após cada regeneração). Esse procedimento possui eficiência alta, com cerca de 99% em muitos casos, mas apresenta a desvantagem devido aos riscos de ignição e o descarte do resíduo químico (CRISTIANO, 2015).

Segundo PATEL *et al.* (2017), o sulfeto de hidrogênio tem uma fácil reação com o óxido de ferro, hidróxido de ferro e óxido de zinco, formando, assim, o sulfeto de ferro ou zinco sulfureto, em que a lã de aço coberta de ferrugem pode ser utilizada no leito da reação. Assim a reação que descreve o óxido de ferro e o hidróxido de ferro reagindo com o H₂S no biogás é a seguinte (equação 1 e 2):



O óxido de ferro é capaz de ser recuperado com oxigênio, no qual pode ser compreendido na próxima reação (equação 3), por ser exotérmica apresenta grande quantidade de calor que é liberada no período da regeneração (PATEL *et al.*, 2017):



É necessário o avanço por novos estudos em relação ao óxido de ferro para a operação catalítica da adsorção-dessorção de CO₂, porém esse catalisador que apresenta baixo valor, sintetização fácil e está presente em grande quantidade em fontes não deve ser menosprezado quanto ao seu potencial de capturar o CO₂ (HAKIM *et al.*, 2016).

2.7.1. Demais processos para a purificação do biogás

a) Absorção

A absorção é um procedimento que pode ser utilizada para a purificação do biogás do qual ocorre a transferência do componente da fase gasosa para a líquida, porém se faz necessário a solubilidade no líquido. Tendo como exemplo o CO_2 – a solubilidade dependerá das propriedades físicas e químicas do solvente – a absorção será física quando as moléculas gasosas estiverem ligadas a moléculas líquidas com fraca força intermolecular. Sendo assim, usualmente os processos de absorção física é realizado em alta pressão e baixa temperatura, com a intenção de aumentar a solubilidade do CO_2 no líquido absorvente. O procedimento por absorção química do CO_2 do biogás é realizado por ligação covalente entre as moléculas e o solvente químico, o processo é eficiente ainda que a temperatura e a pressão estejam ambientes. Assim, a absorção química para a retirada do CO_2 do biogás pode ser operada em uma coluna compactada para a lavagem do gás, e consegue aprimorar pela escolha de um bom solvente como também, contato (ABDEEN *et al.*, 2016).

Sendo assim, o procedimento da absorção mais utilizado para a purificação é o químico, no qual é inserida uma solução aquosa na coluna compactada. O fato se dá pelo CO_2 e o H_2S , que são o foco principal da purificação, terem uma afinidade maior com as soluções aquosas do que o CH_4 . Porém, esse processo é mais utilizado quando há uma quantidade alta a ser purificada, por conta da degradação de absorventes e a quantidade grande de energia indispensável para recuperar os absorventes (BAK *et al.*, 2019). Logo, a absorção química é muito utilizada nas indústrias, em especial para eliminar os gases ácidos, misturas inertes e hidrocarbonetos em correntes de ar. Ao ser usada, a reação química expande a taxa de absorção e a eficiência de transferência de massa, por conta do acréscimo da solubilidade resultante da presença dos reagentes (POSSA, 2018).

b) Separação por membrana

A membrana é um composto poroso no qual alguns gases atravessam a sua estrutura. É utilizada para a purificação de gás em indústrias químicas, geralmente. O material mais utilizado são as fibras ocas produzidas por diversos polímeros. As duas maneiras para o procedimento são: separação gás-gás, em que ocorre a retirada dos hidrocarbonetos, H_2S e vapor de óleo. As membranas de acetato de celulose são capazes de separar moléculas pequenas

polares como as de CO₂, H₂S e umidade. Logo, na primeira etapa é possível de perceber a eficiência com aproximadamente 92% de CH₄, podendo chegar até 96%, a depender da quantidade de etapas da purificação. Novos estudos demonstram a separação gás-líquido, processo em que a membrana hidrofóbica microporosa é apta a separar a fase gasosa da fase líquida e o gás e o líquido fluem em contracorrente por meio de pressurização. Para eliminar o CO₂, é utilizado uma amina, obtendo-se até 96% de CH₄ (PATEL *et al.*, 2017).

A tecnologia com o uso de membranas para purificação é recente, a sua principal vantagem é por ser um processo simples, com valor de manutenção baixo. Porém existe a desvantagem do envenenamento e incrustação da superfície da membrana por outras impurezas. Na adsorção física o propósito é a separação por fatores, já na química é utilizar adsorvente com uma grande área de superfície específica e volume de poros. Esse sistema é capaz de ser eficiente em temperatura ambiente para a retirada das impurezas e é vantajoso para pequena escala, como por exemplo nas células de combustível, em que é preciso um combustível de alta pureza (BAK *et al.*, 2019).

c) Separação criogênica

O procedimento de purificação por separação criogênica requer uma determinada quantidade alta de energia para trabalhar em temperaturas muito baixas e em alta pressão. Apesar de que esse processo apresenta uma boa eficiência na purificação, e conseqüentemente obtém grandes quantidades de biogás de boa qualidade, porém para sua realização com eficiência é necessário o uso de compressor, turbina, trocador de calor, e refrigerador (ANDRIANI *et al.*, 2013).

Essa técnica ainda é pouco utilizada e ainda está evoluindo. Resultados apontam para a separação de CH₄ >97% com a eliminação do CO₂ por condensação. Ainda que, os resultados sejam favoráveis pela purificação criogênica, o processo não é muito viável por ter um alto custo inicial de investimento e alto consumo de energia (SILVA; MEZZARI, 2019).

3. METODOLOGIA

A metodologia conduz a pesquisa e abrange processos sistemáticos e racionais, na qual determina a aplicação da concepção a respeito do que referir-se à execução e seja qual for a determinação da fundamentação naquilo que se figura como o mais lógico, racional, eficiente e eficaz (MARCONI; LACATOS, 2003). Neste tópico será apresentado a delimitação da área de estudo, método do estudo e os procedimentos metodológicos empregados para atingir os objetivos propostos na pesquisa.

3.1. Método do Estudo

Método é o procedimento ou meio para conseguir estabelecer uma finalidade científica em busca do conhecimento. O método científico é a base inicial para ordenar o pensamento em sistemas e traçar os meios da pesquisa, além de decorrer a trajetória até alcançar o objetivo científico preestabelecido (PRODANOV; FREITAS, 2013). Dado exposto essa afirmação, o presente estudo para conceber um número satisfatório a atingir o conhecimento do tema em questão se recorreu ao procedimento técnico do uso em bibliografias, documentos, experimentos e estudo de caso. Com a sua natureza da pesquisa aplicada, de caráter quantitativo quanto a sua forma de abordagem, por ser baseada em amostra determinada gerando métricas precisas, na qual, o objeto de estudo é de tipo descritivo.

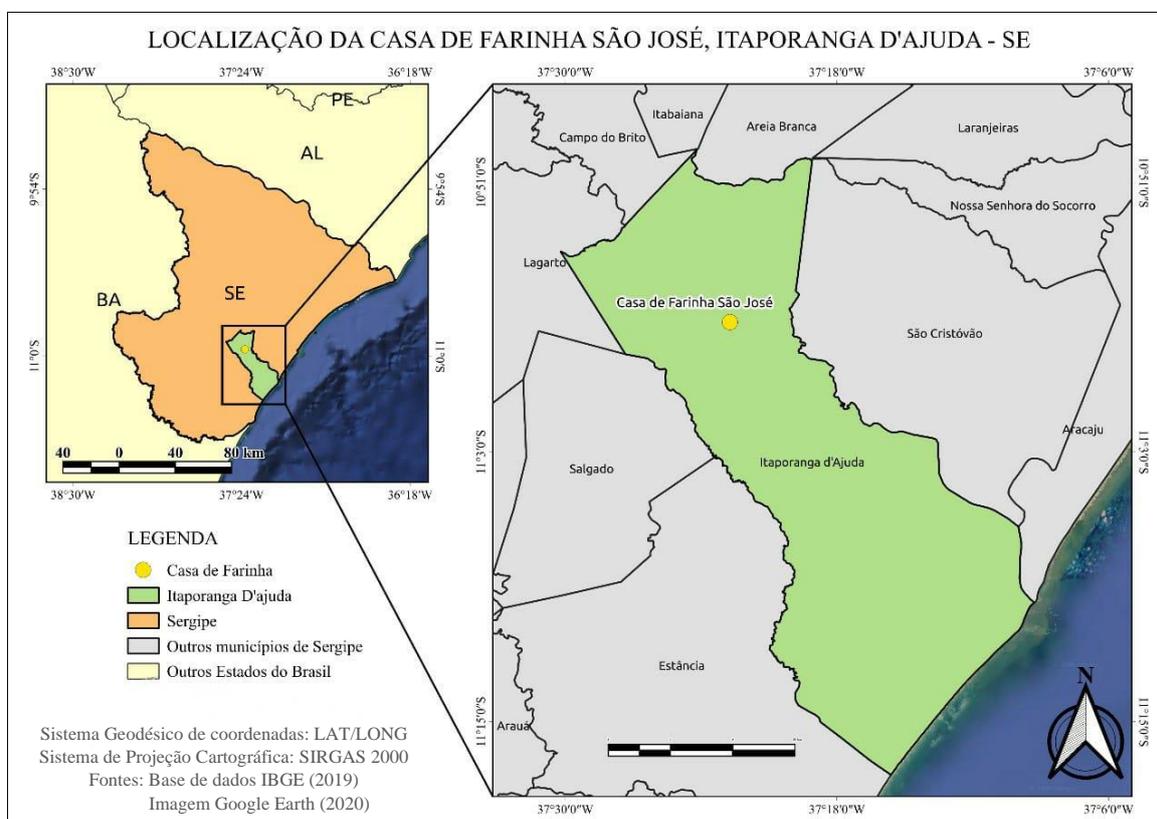
A pesquisa teve como método o hipotético-dedutivo, da possibilidade de agregar valor ao efluente da casa de farinha (manipueira) utilizando processo simples que possa ser aplicado em comunidades, com estudo inicial em escala de bancada. Com a intenção da substituição parcial ou total da lenha utilizada nos fornos da casa de farinha pelo biogás produzido a partir da manipueira, obtendo a economia do valor gasto na compra de lenha. De acordo com Popper (2007) a construção do conhecimento científico apresenta características elementares tais como um sistema teórico (sistema de enunciados), o teste desse sistema teórico, a observação e a experimentação. Para Popper (1982) o produto desse método necessita de uma ampla medida do número de ensaios, no qual se constitui quanto mais ensaios forem realizados, mais será o êxito de um dos mesmos. A partir do momento que o método de erros e acertos passa a se desenvolver de forma mais ou menos consciente, o mesmo passa a ter as peculiaridades do “método científico”. Por outro lado, o autor evidencia que não se trata propriamente de um

método, mas como a prática de esforços que os cientistas farão a fim de testar e criticar as suas teorias.

3.2. Delimitação da Área de Estudo

O caso em estudo ocorreu a partir da casa de farinha São José, localizada em Itaporanga d'Ajuda no estado de Sergipe, como é demonstrada na Figura 17 para a coleta da biomassa manipeira. O município contém uma área territorial de 739,702 km² (IBGE, 2017), com a população de aproximadamente 30.419 habitantes (IBGE, 2010). A sede do município está localizada a 34 km de distância da capital, Aracaju, Via Rodovia Governador Mário Covas.

Figura 17: local da coleta da manipeira do presente estudo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A respectiva casa de farinha (Figura 18) possui 4 funcionários para manter suas atividades com a utilização da mandioca da região para a produção da farinha de mandioca, produzindo aproximadamente 120 L de manipeira por dia de funcionamento.

Figura 18: Fonte da manipueira do presente estudo.



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

3.2.1. Visita ao empreendimento

As imagens compreendidas na Figura 19 ilustram a real situação da casa de farinha na qual gera a manipueira na etapa da prensagem em um dia de funcionamento.

Na figura 19.a demonstra o primeiro passo para a fabricação da farinha de mandioca, a retirada das cascas das mandiocas, as mulheres são encarregadas por realizar essa etapa e em seguida as raízes das mandiocas são lavadas (Figura 19.b). As etapas seguintes exigem de força física e são realizadas por homens na casa de farinha São José. As raízes das mandiocas são encaminhadas ao ralador triturador (Figura 19.c) para que a mandioca seja triturada, sendo constituído por caixa de madeira quadrada para a recepção das raízes, com base construída em “U” feita de alvenaria para que a massa das raízes possa ser depositada, com o auxílio de um motor elétrico. Em seguida a massa triturada é acoplada em sacos de nylon (60 x 80 cm) e seguem para a prensa (Figura 19.d), equipamento que é utilizado da força física para a retirada da umidade da massa.

Figura 19: Etapas na casa de farinha para geração da manipueira. (a) Raspagem, (b) Mandiocas descascadas, (C) Ralação da massa, (d) massa prensada.



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Para a retirada da umidade do procedimento da farinha de mandioca é necessário realizar a etapa da prensagem, do qual é retirado o líquido leitoso amarelado, chamado de manipueira, este efluente apresenta uma concentração alta de matéria orgânica, como também os glicosídeos cianogênicos, chamado linamarina e lotaustralina.

Como pode ser visto na Figura 20, a extração da manipueira da farinha de mandioca é destinada sem nenhum tipo de tratamento, sendo carregada diretamente para o solo sem nenhum tipo de procedimento. No dia da visita ao estabelecimento para a coleta da manipueira, foi posto um recipiente de material plástico de polietileno para o seu armazenamento e posteriormente

transferido para uma bombona plástica de 20 L ao chegar no laboratório refrigerou a 9 ° C na geladeira.

Figura 20: Manipueira.



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Na Figura 21 é demonstrando o descarte incorreto da manipueira no fundo da casa de farinha. A manipueira para o presente estudo foi coletado deste local de despejo da mesma. O dano gerado pela manipueira é pelo fato de possuir alto valor de matéria orgânica, com elevado nível de DBO, DQO, COT entre outros fatores que podem contribuir para a contaminação do abastecimento d'água subterrânea, eutrofização d'água de superfície, mau cheiro no local de descarte. Além da toxicidade proveniente do ácido cianídrico que é extremamente venenoso, fator que pode afetar a fauna do entorno, provocando a morte de animais caso seja ingerida.

Figura 21: Descarte incorreto da manipueira.



Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

Moura *et al.* (2018), complementam com a pesquisa ao descrever que o descarte incorreto da manipueira contribui para riscos à saúde ambiental por ser um resíduo venenoso por natureza, com seu alto teor de carboidratos, frutose, níveis de glicose, proteínas e lipídios, que o tornam um substrato extremamente atraente para processos biotecnológicos.

3.3. Procedimentos Metodológicos

Para a realização dos procedimentos metodológicos foi fundamental a análise do efluente gerado a partir do processo da fabricação da farinha de mandioca, a manipueira. A mesma foi coletada no dia 4 de outubro de 2019 e condicionada em um galão de 20 L lacrado, levado a refrigeração em geladeira a 9 °C. A caracterização da manipueira foi realizada no laboratório do Instituto Tecnológico e de Pesquisas do Estado de Sergipe (ITPS) localizado na Rua Campo do Brito, Nº 371, Treze de Julho, Aracaju – SE. Posteriormente foi necessário a coleta de uma nova manipueira, em 26 de junho de 2020 no mesmo local, porém não houve análise para a sua caracterização, pois o ITPS estava fechado ao público devido a pandemia do Covid-19.

Foi encaminhado ao Laboratório de Análises de Flavor/ UFS, o biogás produzido na terceira tentativa dos testes em escala bancada, para identificar o nível em porcentagem do CH₄ e CO₂ presentes no biogás gerado no presente estudo, utilizando a cromatografia gasosa para a identificação dos gases.

3.3.1. Determinação da composição da manipueira

A Tabela 5 demonstra ensaios com os respectivos métodos que foram utilizados no ITPS para a caracterização do efluente, da primeira coleta da manipueira na casa de farinha, de acordo com Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (SMEWW), preparado e publicado em conjunto com American Public Health Association (APHA); American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF) (2017) e Método Lane-Eynon por Brasil (2005). A caracterização do efluente da segunda coleta não foi possível realizar em razão da pandemia da Covid-19.

Tabela 5: Ensaio e métodos do efluente em estudo.

Ensaio	Método
Sólidos totais (ST)	SMEWW, 2017, 2540 B
Sólidos fixos (SF)	SMEWW, 2017, 2540 E
Sólidos voláteis (SV)	SMEWW, 2017, 2540 E
pH	SMEWW, 2017, 4500 H+ B
DBO (Método respirométrico)	SMEWW, 2017, 5210 D
DQO - Demanda Química de Oxigênio	SMEWW, 2017, 5220 C, D/Nova 60 Merck
Carbono Orgânico Total (instrumental)	SMEWW, 2017, 5310-TOC B
Amido Quantitativo (glícido não redutores em amido)	Método Lane-Eynon

Fonte: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 2017; Brasil (2005).

3.3.2. Procedimento para a produção do biogás

Para a condução do presente estudo, em 02 de março de 2020 iniciaram os experimentos baseado em Monteiro *et al.* (2015), em escala de bancada.

- Primeira tentativa para a produção do biogás:

Nesse primeiro momento usou-se como material para a confecção dos 6 biodigestores de batelada: 6 kitassatos de 500 ml, 6 rolhas, 6 termômetros, 6 seringas de 10 ml e fita para vedação, no Laboratório de Biotecnologia Ambiental - Labam/UFS. A Figura 22 demonstra o aparato do biodigestor de bancada utilizado:

Figura 22: Aparato do biodigestor de batelada.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Nessa primeira tentativa da produção do biogás utilizou a manipueira que estava armazenada em refrigeração desde o dia 4 de outubro de 2019, a Tabela 6 demonstra as biomassas utilizadas na primeira tentativa com aditivos utilizados para possíveis comparações do volume de biogás produzido:

Tabela 6: Biomassas da primeira tentativa.

Amostra	Biomassa
A1	Manipueira
B1	Manipueira
C1	Manipueira + fezes de ovelha
D1	Manipueira + fezes de ovelha
E1	Manipueira + legumes em decomposição
F1	Manipueira + legumes em decomposição

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Utilizou-se neste primeiro momento, 200 ml de manipueira nas amostras A1 e B1, chamadas de amostras branco. Nas amostras C1 e D1 usou 150 ml de manipueira com 50 g de fezes de ovelhas coletada no departamento de veterinária/UFS. E pôr fim, nas amostras E1 e F1, 150 ml de manipueira com 50 g de legumes (tomate e pimentão) em decomposição coletado no Restaurante Universitário/UFS. Usou-se a temperatura ambiente do local, sendo verificado os experimentos diariamente, exceto aos finais de semana.

- Segunda tentativa para a produção do biogás:

No segundo momento em 30 de junho de 2020 no Labam/UFS, foi utilizado o mesmo material de elaboração dos 6 biodigestores do primeiro procedimento (Figura 22), acrescentado a folha de papel alumínio para embrulhar os biodigestores. A manipueira utilizada como biomassa foi coletada 4 dias antes do início dos testes. Todas as amostras foram mantidas na temperatura ambiente do local, com o volume de 400 ml de manipueira em cada biodigestor de batelada. A manipueira coletada no dia 26 de junho de 2020 foi armazenada sob refrigeração de 9 °C em geladeira. A Tabela 7 apresenta a manipueira utilizada.

Para estes testes, utilizou-se 3 amostras (A2, B2 e C2) com a manipueira pura. A amostra D2 houve alteração no pH com hidróxido de sódio (NaOH), corrigindo o pH para mais próximo do neutro. As amostras E2 e F2 utilizou-se a manipueira em uma concentração de 2:1 da própria

manipueira. Também sofreu alteração a amostra F2, o pH da manipueira foi corrigido para o mais próximo do neutro com o hidróxido de sódio (NaOH).

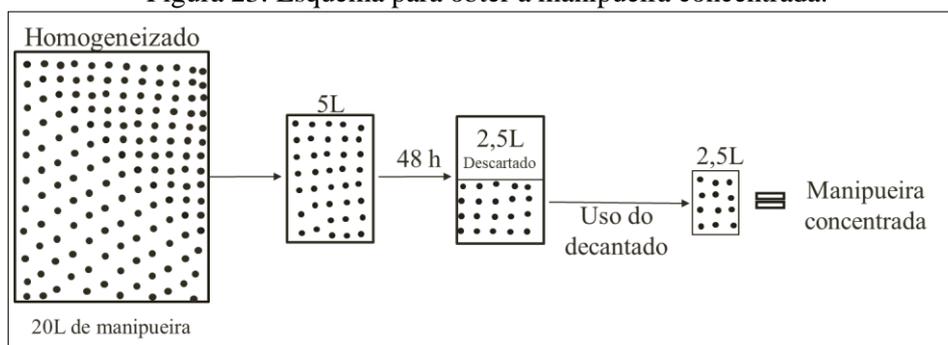
Tabela 7: Biomassas da segunda tentativa.

Amostra	Biomassa
A2	Manipueira
B2	Manipueira
C2	Manipueira
D2	Manipueira + NaOH
E2	2:1 Manipueira
F2	2:1 Manipueira + NaOH

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Em 30 de junho de 2020 para obter a manipueira concentrada, foi realizado a homogeneização dos 20 L da manipueira coletada no dia 26 de junho de 2020, no LABAM/UFS. Foi agitada manualmente em baldes, até que não estivesse nenhuma matéria orgânica decantada, separou-se 5 L da própria. Os 5 L ficou em um decantador para repousar por aproximadamente 48 h. Utilizando os 2,5 L da parte inferior do recipiente, onde apresentava-se a matéria orgânica mais decantada, obtendo assim, a manipueira concentrada, da própria manipueira (Figura 23).

Figura 23: Esquema para obter a manipueira concentrada.



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

- Terceira tentativa para a produção do biogás:

No terceiro momento, em 21 de agosto de 2020, os materiais utilizados para a confecção dos biodigestores foram garrafas PETs (Polietileno tereftalato) de 250 mL, seringas de 3 ml e 5 ml, fita de vedação, cola quente, folha de papel alumínio e termômetro de mercúrio (Figura 24). Devido a pandemia do Covid-19, foi realizado esses testes em residência, no bairro Atalaia,

as amostras foram armazenadas em um forno de pizza residencial e embrulhadas os biodigestores com a folha do papel alumínio para evitar a variação de temperatura brusca e aproximar as condições do local da casa de farinha.

Figura 24: Aparato do biodigestor de batelada com PET.



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Utilizou-se 3 amostras com 200 ml de manipueira concentrada de 2:1 (D3, E3, F3), coletada no dia 30 de junho de 2020 como substrato, e como biodigestor anaeróbio utilizou-se garrafas PETs de 250 ml embrulhadas em folha de papel alumínio. No dia 1 de setembro de 2020 foram utilizadas 3 amostras em branco da manipueira (A3, B3, C3), realizou-se o mesmo procedimento da manipueira concentrada citada anteriormente, a Tabela 8 demonstra os estados da manipueira utilizada na terceira tentativa.

Tabela 8: Biomassas da terceira tentativa.

Amostra	Biomassa
A3	Manipueira em branco
B3	Manipueira em branco
C3	Manipueira em branco
D3	Manipueira concentrada 2:1
E3	Manipueira concentrada 2:1
F3	Manipueira concentrada 2:1

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

3.3.3. Análise por cromatografia gasosa

A verificação do biogás do presente estudo foi realizada no Laboratório de Análises de Flavor/UFS. O biogás, composto por CH₄ e CO₂ nas amostras foi analisado utilizando o cromatógrafo gasoso de modelo CP-3380, Varian (Figura 25), com injetor de temperatura de 200 °C. O gás nitrogênio (N₂) foi usado como gás de arraste com vazão de 15 cm/s. A coluna Rt®-Q-BOND com comprimento de 30 m e diâmetro interno de 0,35mm foi utilizada a 30 °C. Em seguida, a amostra de gás foi detectada usando Detector de Condutividade Térmica (TCD) com temperatura de 200 °C, de acordo com Juliastuti *et al.*, 2017.

Figura 25: cromatógrafo gasoso de modelo CP-3380, Varian.



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Análise Físico-química da Manipueira

A partir da coleta da manipueira do dia 3 de outubro de 2019 na casa de farinha São José no município de Itaporanga d' Ajuda, na qual foi levada para análise em laboratório onde foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 9. Pode ser observado que o efluente demonstrou alta concentração nos ensaios de DBO, DQO, Carbono Orgânico Total, Sólidos Totais, Sólidos Totais Voláteis, Sólidos Totais Fixos e Amido. A manipueira coletada do dia 26 de junho de 2020 não foi analisada no ITPS devido as circunstâncias da pandemia ocasionada pela Covid-19.

Tabela 9: Análise Físico-química da manipueira.

Ensaio	Resultados	Unidade	LQ	Data do Ensaio
pH	4,89	--	1-12	08/10/19
DBO	1090	mg O ₂ /L	0,5	09/10/19
DQO	> 10000	mg O ₂ /L	4	21/10/19
Carbono Orgânico Total	32300	mg C/L	0,0033	14/10/19
Sólidos Totais a 105 °C	67280	mg/L	--	10/10/19
Sólidos Totais Fixos	9642	mg/L	--	10/10/19
Sólidos Totais Voláteis	57640	mg/L	--	10/10/19
Amido Quantitativo (glicídio não redutores em amido)	1,35	g/100g	--	15/10/19

Fonte: Elaborada pela autora, 2019.

O biogás para ser produzido se faz necessário a sobrevivência das bactérias metanogênicas, sendo indicado o pH próximo da neutralidade, em uma faixa entre 6 a 8, sendo o pH 7 o ideal para sua sobrevivência e produção do biogás (PEREIRA *et al.*, 2015). O presente estudo encontrou pH ácido, de 4,89. Araújo *et al.* (2017), trabalharam com a manipueira no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande, encontrando valor próximo, de pH 4,73 para a fertilização na produção orgânica da alface, pH próximo do presente estudo. Enquanto que, Barana e Cereda (2000) ao trabalharem com o tratamento da manipueira utilizando

biodigestor anaeróbios de duas fases, manteve o pH em torno de 6,5 e 7,0 para manter segurança das bactérias metanogênicas.

A demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO) são fatores que caracterizam a concentração de matéria orgânica presente no efluente, influenciando assim, na geração do biogás. A DBO é um fator que demonstra indiretamente a concentração de matéria orgânica biodegradável por meio da demanda de oxigênio consumida por microrganismos. Enquanto que a DQO, utilizando agentes químicos oxidante forte é capaz de determinar a matéria orgânica a partir de concentração de oxigênio consumido para oxidar o material orgânico, biodegradável ou não. Observa-se que os valores da concentração de DQO são superiores em relação da DBO, visto que as circunstâncias da oxidação química são mais intensas que as disponibilizadas por meio dos microrganismos (MATINC, 2017).

Mendonça (2016), antes do tratamento da manipueira através dos sistemas RAHLF, realizou a caracterização da manipueira sem diluição e em temperatura ambiente, proveniente da produção de farinha d'água, coletada em uma casa de farinha da comunidade quilombola Santa Rosa dos Pretos, localizada no município de Itapecuru Mirim/MA, apresentando $44.100,00 \pm 274,26$ mg/L de DQO, valor superior a >10.000 mg/L como apresentado no presente estudo.

Já a DBO do presente estudo apresentou valor de $1.090,00$ mg O₂/L, obtendo resultado próximo ao de Botelho (2019). Nos seus estudos ocorreu a necessidade de caracterizar a manipueira para coagulantes orgânicos no tratamento da manipueira de fecularia de mandioca, no qual apresentou o $1.021,00 \pm 870,00$ mg O₂/L de DBO. Assim como a DQO com $8.757,00 \pm 3.751,00$ mg O₂/L valor inferior ao ser comparado com o estudo presente, também como o pH $5,62 \pm 0,36$ que apresentou valor superior do presente estudo (pH 4,89).

O teor de sólidos dos substratos influencia na eficiência energética do biogás. Para um bom desempenho na produção da geração de biogás é necessária uma concentração alta de sólidos voláteis (SV) na biomassa, porém, deve ser realizado o controle de mais fatores, como a temperatura, pH, nutrientes, DBO, DQO, COT, entre outros que interferem no processo. Assim, os SV representam a fração orgânica que pode ser convertida em biogás, e a sua determinação identifica a quantidade de matéria biodegradável disponível nos substratos (HASAN *et al.*, 2019). Na presente pesquisa foi encontrado na manipueira *in natura* valores de

67.280 mg/L de sólidos totais a 105 °C, os sólidos totais fixos com 9.642 mg/L e sólidos totais voláteis 57.640 mg/L.

Kunzler *et al.* (2013), obtiveram como resultados dos estudos nas águas residuais de mandioca proveniente da manipueira e com a lavagem das raízes valores de 1.271,80 mg/L de DQO; sólidos totais 3.587,50 mg/L; 1.027,00 mg/L de sólidos totais voláteis e 2.560,00 mg/L de sólido totais fixos, provavelmente os valores apresentados pelos autores foram menores do que do presente estudo, por seu resíduo encontrava-se diluído na água da lavagem.

A composição do carbono orgânico total (COT) é formada por vários produtos orgânicos em diversos estados de oxidação, que podem ser de matéria orgânica biodegradável, tanto como não biodegradável. E para melhores resultados para a fração orgânica são realizados ensaios de DBO e DQO. O COT representa a quantidade de compostos orgânicos tóxicos, carga orgânica das águas residuais, proteínas, carboidratos, gorduras, óleos, entre outros, assim é obtido uma exatidão para representar a matéria orgânica total na amostra (SANTANA *et al.*, 2020).

Pinto *et al.* (2009), com amostras de uma agroindústria do processamento da mandioca, obtiveram de COT 3.352,00 mg/L, valor esse pode ter sido baixo por conta da diluição do efluente ser proveniente das águas da lavagem da mandioca com a manipueira. Amorim (2012) encontrou valor de 35.319,12 mg/L na manipueira para o seu estudo, na produção de hidrogênio a partir da manipueira em reator anaeróbio de leito fluidificado, valor próximo com o do presente estudo, do qual apresenta 32.300,00 mg/L.

Os amidos são convertidos em açúcares via hidrólise e posteriormente fermentados. Assim, Suman *et al.* (2011), descrevem que a composição química da manipueira é variável, procedendo da variedade da mandioca manuseada, que é afetada por condições climáticas e de solo do local onde é cultivada. Em suas análises, os mesmos autores obtiveram 6,3 % de amido enquanto que o estudo presente apresentou um valor inferior com 1,35 %, valor muito baixo ao ser comparado com a literatura, pressupõe-se que pode ter ocorrido equívoco na análise do efluente pelo mesmo apresentar uma rápida decantação e ter sido analisado o efluente que estava na parte superior do recipiente.

4.2 Produção de Biogás Experimental em Escala Bancada

Apesar da literatura ter um campo vasto para produção de biogás a partir de reação anaeróbia, a mesma não apresenta muitos resultados para o biogás proveniente da manipueira *in natura* proveniente do tratamento desse efluente. Ainda assim, autores Feiden e Cereda (2003), Feiden (2001) obtiveram problemas ao trabalharem com processo de biodigestão anaeróbia de manipueira em reatores de uma fase, onde descrevem que o pH ácido e a alta carga orgânica contribuíram para a concentração de ácidos orgânicos no substrato, resultando a acidificação do sistema, e que provavelmente as bactérias metanogênicas não estiveram em um meio favorável para os seus desenvolvimentos.

Pressupõe que pode ter ocorrido a acidificação do sistema do primeiro momento da presente pesquisa do experimento de bancada (Figura 26), impossibilitando a digestão anaeróbia do presente estudo, com a inexistência da produção do biogás. Além do substrato utilizado ter passado um grande período armazenado sob refrigeração, isso significa que o substrato ficou parcialmente ou completamente degradado por conta de um longo período do trabalho das bactérias. E no momento de transferir o material coletada para os kitassatos, foi transferido o material superficial, sem uma devida homogeneização. Fato muito semelhante ocorreu nos estudos da primeira fase de Monteiro (2015).

Figura 26: Primeiro teste de bancada para a produção do biogás.



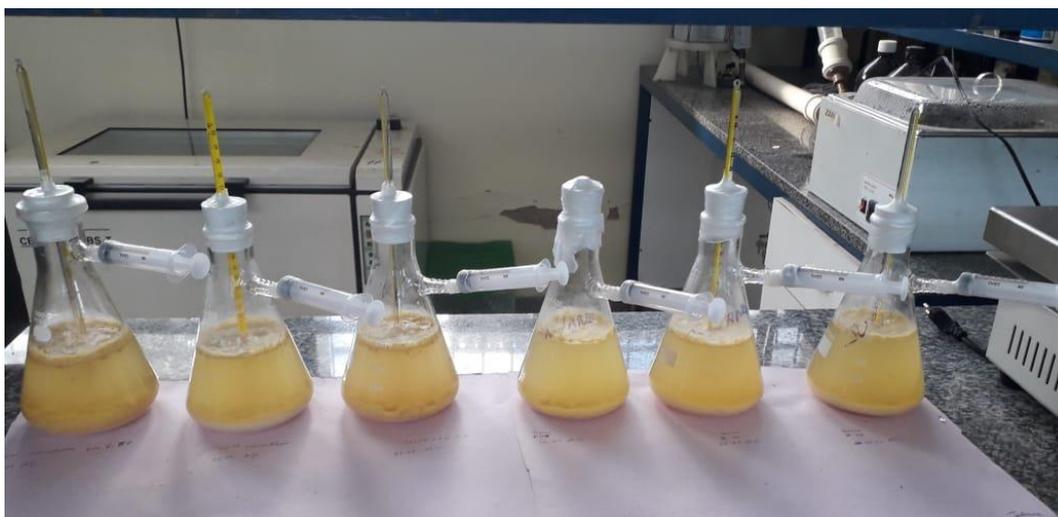
Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

É de grande importância frisar que o estado da manipueira é fundamental para que ocorra a produção de biogás, e deve ser levado em consideração o tempo de armazenamento, tipo de armazenamento e processo realizado em teste.

Speck (2019) em seu estudo relata que o tratamento de efluentes por processos biológicos dispõem de duas finalidades, a do saneamento ambiental e geração de energia por meio do biogás. Pela biodigestão anaeróbia ocorre a degradação da matéria orgânica, produzindo o gás metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e outros gases em quantidades de traços, como também o efluente que sobra, ao ser estabilizado por ser aproveitado como biofertilizante. O processo é natural, no qual acontece na ausência do oxigênio molecular, em que grupo de microrganismos, como as bactérias acidogênicas e metanogênicas trabalham em conjunto para obterem uma fermentação autorregulada e estável da matéria orgânica.

Para o segundo momento dos testes da presente pesquisa, foi realizada uma nova coleta da manipueira, da qual a mesma foi homogeneizada para a sua utilização nos 6 biodigestores de batelada, no estado de pura (manipueira em branco), com concentração de matéria orgânica da própria, e com pH próximo ao neutro. Porém novamente não foi obtido nenhuma produção de biogás (Figura 27). O que deve ter ocorrido é que as bactérias metanogênicas são extremamente sensíveis, e no laboratório ocorria variação de temperatura brusca, por conta do uso do ar condicionado, não sendo possível manter a temperatura ambiente. A temperatura foi registrada entre $23\text{ }^\circ\text{C}$ a $30\text{ }^\circ\text{C}$, com média de $26,5 \pm 3,5\text{ }^\circ\text{C}$.

Figura 27: Segundo teste de bancada para a produção do biogás.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O fato pode ser explicado segundo a literatura, a temperatura é um fator físico, do qual interfere no crescimento microbiano, sendo um dos mais fundamentais na seleção das espécies. Pelo motivo dos microrganismos não possuírem meios de controlar sua temperatura interna, então têm grande influência da temperatura do ambiente externo (SOARES; FEIDEN; TAVARES, 2017).

Segundo Penteado *et al.* (2018), no processo da biodigestão anaeróbia é necessário que seja realizado o controle do pH, temperatura, alcalinidade e sobrecarga tóxica pois são fatores que induzem o trabalho da população das bactérias. Como também a concentração da matéria orgânica, na qual é realizada a análise da eficiência da geração do biogás em relação ao consumo de matéria orgânica no procedimento.

Após várias tentativas, no terceiro momento ocorreu a produção do biogás em escala bancada, com os 6 biodigestores anaeróbios de 250 ml, sendo ocupado cerca de 80% do mesmo com manipueira (Figura 28), o local de armazenamento, o interior do forno de pizza residencial, obteve temperatura entre $26,5 \pm 1,5$ °C, favorecendo positivamente nos resultados da produção de biogás da presente pesquisa.

Figura 28 : Terceiro teste de bancada para a produção do biogás.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A Tabela 10 demonstra os resultados da quantidade de biogás com os testes em branco realizados com a manipueira *in natura*, produzido entre 01 de setembro de 2020 à 12 de setembro de 2020 a partir de 200 ml de manipueira em cada biodigestor.

Tabela 10: Volume de biogás produzido nas amostras em branco.

Amostra em branco	Biogás produzido / manipueira
A3	6,4 ml / 200 ml
B3	5,5 ml / 200 ml
C3	5,4 ml / 200 ml

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

O volume gerado de biogás foi quantificado a partir do movimento do êmbolo da seringa, quando uma seringa atingia o seu limite de armazenamento, era acrescentado outra seringa ao biodigestor. A Figura 29 demonstram a produção de biogás realizado a partir da manipueira *in natura* nos testes da manipueira em branco.

Figura 29: Biogás produzido nos testes da manipueira em branco.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

Foi possível observar que a partir dos valores do pH, DQO, DBO, COT, sólidos e amidos da manipueira do presente estudo, ocorreu a produção de gases (CH_4 e CO_2), por meio do processo da digestão anaeróbia, conseqüentemente, a redução da carga orgânica do efluente.

A Tabela 11 apresenta o volume obtido do biogás com a manipueira *in natura* em concentração de 2:1, produzido entre 21 de agosto de 2020 à 29 de agosto de 2020, a partir de 200 ml de manipueira concentrada em cada biodigestor.

Tabela 11: Volume de biogás produzido nas amostras concentradas.

Amostra concentrada	Biogás produzido / manipueira
D3	27,0 ml / 200 ml
E3	27,2 ml / 200 ml
F3	16,5 ml / 200 ml

Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

É notório que ocorreu uma produção maior de biogás quando se utilizou a manipueira *in natura* de concentração 2:1 da própria manipueira (Figura 30). Fato ocorreu, pôr as amostras terem um mesmo volume de efluente, porém a sua carga orgânica dobrou, isso fez com que a produção do biogás quadruplicasse da média de 5,77 ml para 23,57 ml. Não foi encontrado na literatura algo que explicasse tal fato do aumento de biogás quando utilizada a manipueira *in natura* concentrada.

Figura 30: Biogás produzido nos testes da manipueira concentrada.



Fonte: Elaborada pela autora, 2020.

A Tabela 12 demonstra os valores em porcentagem do CH₄ e CO₂ verificado por cromatografia gasosa no Laboratório de Análises Flavor / UFS. Onde é notório o aumento do CH₄ do teste em branco da manipueira (A3, B3, C3) para o de concentração 2:1 (D3, E3, F3). O alto nível de CH₄ deu-se a parti da contração maior de carga orgânica na manipueira, demonstrando um resultado satisfatório.

Tabela 12: Resultado das análises do biogás.

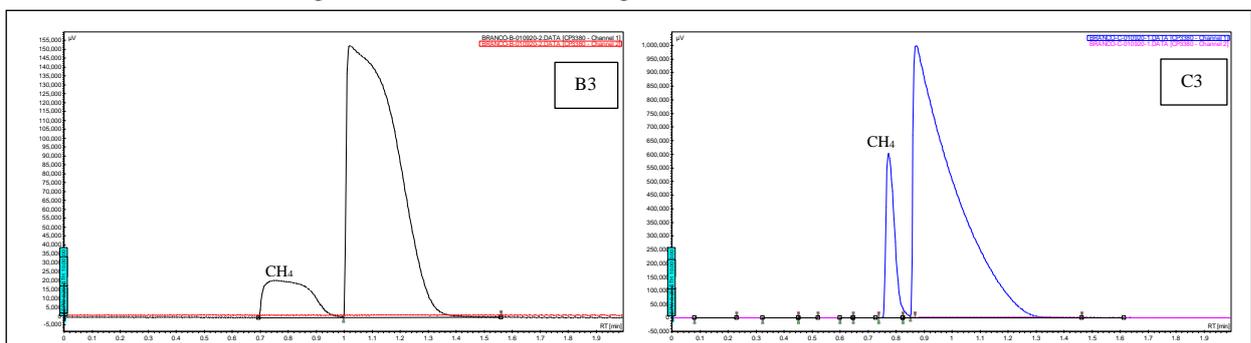
Amostras	CH ₄ (%)	CO ₂ (%)
A3	-	-
B3	11,81 ± 0,72	88,19 ± 0,72
C3	11,56 ± 0,63	88,44 ± 0,63
D3	85,27 ± 0,98	14,73 ± 0,98
E3	94,47 ± 0,27	5,53 ± 0,27
F3	71,88 ± 0,17	28,12 ± 0,17

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Infelizmente a amostra A3 não foi possível fazer a integração dos picos de CH₄ e CO₂ por ter apresentado problemas no cromatógrafo gasoso do laboratório Flavor/UFS.

Os cromatogramas (Figura 31), das amostras B3 e C3 apresentaram valores semelhantes, com o alto nível de CO₂ na amostra, tornando insatisfatório o estudo do biogás do presente estudo, pelo baixo nível do CH₄. Já Jiraprasertwong; Maitriwong; Chavadej (2019) utilizaram a água residual da mandioca com um lodo bacteriano de água residual de etanol para obter a concentração microbiana inicial de 22.000 mg/L nos biorreatores. O sistema foi composto de três biorreatores de modo contínuo com os volumes de retenção de líquidas de 4, 10 e 24 L. Os resultados obtidos no sistema foi de 58 - 65% de CH₄, 33 - 41% de CO₂ e H₂ uma quantidade em traços, obtendo valores mais mediano para a produção de biogás próximos ao presente estudo.

Figura 31: Análise Cromatográfica das amostras B3 e C3.

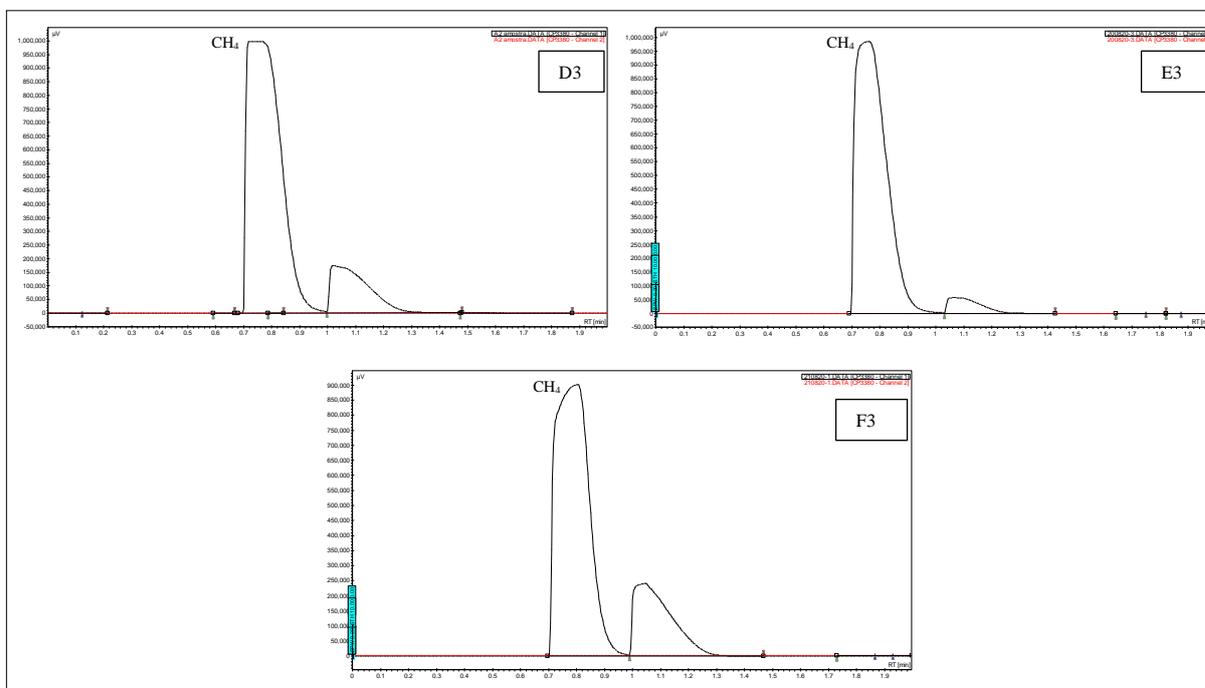


Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Os biogases produzidos a partir da concentração 2:1 (Figura 32) apresentaram a média de 83,87% de CH₄, valor muito satisfatório para o presente estudo para a produção de biogás a partir da manipueira, com destaque para a amostra E3 que obteve 94,47% de CH₄, o seu alto

valor deve-se provavelmente por seu reator ter recebido uma maior carga orgânica que os demais. E a média do CO₂ foi de apenas 16,13%, o gás indesejável. Enquanto que Silva *et al.* (2014) trabalharam com a fermentação anaeróbia da manipueira juntamente com o lodo granulado de uma ETE. O melhor resultado do estudo consistiu em 4,07 L de biogás, a sua composição foi de 25,2% de CH₄ e 4,2% de CO₂, o seu pH foi corrigido para próximo do neutro. Esse substrato foi composto por 20% de manipueira e 30% de lodo de ETE em massa. O estudo utilizou para a análise dos componentes do biogás o equipamento chamado analisador de biogás portátil do fabricante Landtec, modelo GEM 2000. Assim o seu trabalho apresentou menor valor de CH₄ ao ser comparado com o do presente estudo.

Figura 32: Análise Cromatográfica das amostras D3, E3, F3.



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Ofoefule e Uzodinma (2009) realizaram pesquisa com as cascas da farinha de mandioca misturadas com esterco de vaca, fezes de aves e esterco de suíno, na proporção de 1:1, dentre eles o que levou destaque no seu maior volume de biogás na junção de dois substratos foi com os estercos suíços no volume aproximadamente de 12 L, no décimo oitavo dia de um total da mistura de 50 L de substrato. A casca da mandioca sozinha não ultrapassou dos 5 L de biogás no seu primeiro dia, nos demais a produção foi menor chegando até a 1 L de volume de biogás.

Achi; Hassanein; Lansing (2020) usaram água residual de mandioca, esterco de aves e laticínios como inóculo. No tratamento do biogás adicionaram biochar e zeólita clinoptilolita por serem materiais porosos para a retirada dos gases indesejáveis. Os biorreatores utilizados foram de 250 ml, com a água residual de mandioca e o inóculo na proporção de 2:1, operado a 35 °C. Após 48 dias de digestão, a produção cumulativa de CH₄ de água residual da mandioca (620 ml CH₄ / g SV) foi 15,8% maior que a digestão com estrume de vacas leiteiras, na razão de 2:1 (522 ml CH₄ / g SV).

Posto essas explicações, Bühring e Silveira (2016) complementam ao descreverem que o desempenho do processo do biogás gera benefícios a sociedade e ao meio ambiente, podendo ser inserido na produção de energia. Ao gerar subproduto, do qual é inserido como proposta futuras desde presente estudo, é transformado em adubo de excelente qualidade, redução de patógenos, conservação da água, do solo, do ar, e redução do uso da vegetação lenhosa. Sendo assim, a composição da cadeia do biogás é capaz de colaborar significativamente para a preservação ambiental e o desenvolvimento local e territorial.

5. CONCLUSÃO

A manipueira, efluente resultante da produção da farinha de mandioca acarreta elevada carga de poluente, resultante principalmente de matéria orgânica, tendo como consequência a falta de oxigênio nos corpos d'água, inviabilizando a vida de espécies aquáticas como também da flora neste meio, ou até mesmo sendo capaz de tornar o corpo de água impróprio para as atividades humanas. Apesar dos poluentes orgânicos, a manipueira contém uma toxicidade proveniente do glicosídeo linamarina, no qual é solúvel em água, o que torna seu potencial mais agravante podendo levar morte de animais que a consumir ou causar problemas respiratórios em seres humanos.

Uma das saídas para minimizar o dano causado pela manipueira é por meio do desenvolvimento sustentável, com a implementação de gestão sustentável com a necessidade de tratar a manipueira por meio de processos adequados para a sua reutilização, inserindo programas de gestão de energia limpa e desenvolvimento de tecnologia para atender as famílias que tem como base a fabricação da farinha de mandioca com fonte de renda.

A utilização de um sistema de tratamento para as águas resultante do processamento da farinha de mandioca, proveniente da etapa da prensa é indispensável para reduzir os impactos ao meio ambiente. A partir disso foi desenvolvido sistema em escala bancada para o seu tratamento ser convertido em biogás, agregando valor ao mesmo. Com a intenção do biogás ser consumido na própria casa de farinha, aproveitado como material energético no forno para a etapa da torração da farinha de mandioca.

Tendo em vista, esta dissertação de metrado apresentou os impactos ambientais originário do efluente da casa de farinha de mandioca. Para tanto, foi realizado a caracterização físico-química da primeira manipueira coletada, os valores compreendidos foram: pH de 4,89; DBO com 1.090 mg O₂/L; DQO >10.000 mg O₂/L; COT a 32.300 mg C/L; 67.280 mg/L de Sólidos Totais a 105°C; 9.642 mg/L de Sólidos Totais Fixos; e 57.640 mg/L de Sólidos Totais Voláteis. Comprovando assim, a sua alta carga orgânica e possibilidade de ser tratada e convertida em biogás, através dos testes dos biodigestores anaeróbios em escala bancada, com a intenção que no futuro os pequenos fabricantes da farinha de mandioca utilize a manipueira como biomassa para a produção de biogás através de biodigestores anaeróbios.

A fundamentação desta presente pesquisa foi a utilização da manipueira como biomassa para a produção do biogás em reatores anaeróbios batelada, com a intenção de reduzir a quantidade de lenha consumida nas casas de farinhas de mandioca. Porém, a quantidade de biogás gerado para suprir a necessidade energética das casas de farinha irá depender da própria, da quantidade de efluente rico em matéria orgânica gerado, sendo necessário o aprofundamento deste estudo.

A partir da análise por cromatografia gasosa do biogás gerado ocorreu a comprovação, com a manipueira na concentração 2:1 com eficácia na utilização da mesma para a produção do biogás, obtendo o valor máximos de metano de 94,47% (amostra E3), proporcionando a continuidade desse estudo e alcançando os pequenos produtores farinha de mandioca, que estes possam substituir a lenha que torra a farinha, pelo próprio efluente gerado na etapa de produção da mesma. Desse modo, o produtor deve ter a consciência que o seu despejo sem tratamento da manipueira vem a acarretar danos ao meio ambiente, afetando o ecossistema presente, mas que possa substituir a biomassa utilizada de forma tradicional, a lenha, por uma fonte de energia limpa moderna, o biogás, produzido pelo tratamento da manipueira.

6. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para uma conversão da biomassa com maior quantidade de metano através do biogás com qualidade é recomendado o processo de purificação, dentre os citados no presente estudo, o que apresenta ser mais acessível as pequenas comunidades de farinha de mandioca é a adsorção utilizando a esponja de aço (bombril). Para este procedimento é indicada a literatura de Mattos; Farias Júnior (2011), em que o biogás é adsorvido por palha de aço. A esponja de aço em contato com o biogás enferruja, e assim, elimina os principais gases que geram o mau cheiro. Quanto maior a exposição do biogás à palha de aço, melhor a eficiência do filtro.

O sistema de Mattos; Farias Júnior (2011), exige que a esponja de aço seja trocada periodicamente. Uma vez enferrujada, o filtro não funciona mais, perdendo a capacidade de retirar o mau cheiro do biogás e os gases indesejados. Neste ponto deve ser substituída. O prazo da substituição pode variar. O melhor indicador do momento ideal de troca é o mau cheiro. Deve ser realizado esse procedimento em escala de bancada e posteriormente em escala maior, para que possa atender os pequenos fabricantes de farinha de mandioca.

Propõe-se calcular a eficiência calorimétrica (kJ/kg) do metano produzido no sistema. O resultado mostrará a eficiência da conversão do efluente que conseguiu ser convertido ao mais próximo do potencial químico de geração de biogás possível.

Sugere-se que seja realizado uma escala maior do processo de biodigestão, e quando atingir a resultados significativos seja encaminhado projeto para as pequenas comunidades produtoras de farinha de mandioca. Realizando um sistema, no qual o gás produzido seja canalizado para o forno da casa de farinha, substituindo a lenha que é utilizada como fonte de calor para torra a farinha de mandioca. Atendendo assim, o desenvolvimento sustentável e economizando parcialmente ou completamente o valor gasto com lenhas utilizadas no forno para a torração da farinha de mandioca.

Recomenda-se que antes da instalação do tratamento da manipueira seguido com a produção do biogás, seja oferecida as comunidades produtoras de farinha de mandioca, palestras educativas sobre os impactos que a manipueira pode causar ao meio ambiente caso não seja tratada e os benefícios que o seu tratamento pode gerar a comunidade local, por meio da bioeconomia.

REFERÊNCIAS

ABDEEN, F. R. H.; MEL, M.; JAMI, M. S.; IHSAN, S. I.; ISMAIL, A. F. A review of chemical absorption of carbon dioxide for biogas upgrading. **Chinese Journal of Chemical Engineering**, v. 24, n. 6, p. 693-702, 2016. ISSN: 1004-9541.

ABIOGÁS – Associação Brasileira de Biogás e Biometano. **Biogás e biometano no Brasil**. Programa Renovabio, dez. 2016. Brasília. Disponível em: <http://www.mme.gov.br/documents/10584/4323103/ABioga%CC%81s.pdf/8e80e093-4042-4c24-ad9e-851c6190b399>. Acesso em: 1 out. 2019.

ABIOGÁS – Associação Brasileira de Biogás e Biometano. **Tereos inaugura biodigestor de R\$ 15 milhões**. 2019. Disponível em: <https://abiogas.org.br/abiogas-news-dezembro/>. Acesso em 17 jun. 2019.

ABIOGÁS - Associação Brasileira de Biogás e Biometano. **Tratando de nichos de mercado, que segmentos devem ser mais explorados em 2020?** Disponível em: <https://abiogas.org.br/abiogas-news-janeiro-destaques/>. Acesso em: 17 jun. 2020.

ACHI, C. G.; HASSANEIN, A.; LANSING, S. Enhanced Biogas Production of Cassava Wastewater Using Zeolite and Biochar Additives and Manure Co-Digestion. **Energies**, v. 13, n. 2, p. 491-504, 2020. ISSN: 1996-1073.

ACOSTA, A. **O Bem Viver**: uma oportunidade para imaginar outros mundos. Tradução de Tadeu Breda. 2ª ed. São Paulo: Autonomia Literária Elefante, 2016. p. 264. Título original: El Buen Vivir – Sumak Kawsay – Una oportunidad para imaginar otros mundos. ISBN: 978-85-69536-02-4.

ADEKUNLE, K. F.; OKOLIE, J. A. A review of biochemical process of anaerobic digestion. **Advances in Bioscience and Biotechnology**, v. 6, n. 03, p. 205-212, 2015. ISSN: 2156-8456.

AMARAL, A. C.; STEINMETZ, R. L. R.; KUNZ, A. O processo de biodigestão. In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. (ed) **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 13 – 26.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENT FEDERATION. (WEF). **Standard Methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed., Washington, D.C, USA, 2017. ISSN: 55-1979.

AMORIM, M. C. C. **Estudos de caracterização, biodegradabilidade e tratamento de manuseira proveniente de casas de farinha**. Orientador: Maurício Alves da Motta Sobrinho. 2015. 220 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de tecnologia e geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

AMORIM, N. C. S. **Produção de hidrogênio a partir da manipueira em reator anaeróbio de leito fluidificado**. Orientador: Eduardo Lucena Cavalcante. 2012. 106 f. Dissertação (Mestrado em Recursos hídricos e Saneamento) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

ANDRIANI, D.; WRESTA, A.; ATMAJA, T. D.; SAEPUDIN, A. A review on optimization production and upgrading biogas through CO₂ removal using various techniques. **Applied biochemistry and biotechnology**, New York, v. 172, n. 4, p. 1909-1928, 2013. ISSN: 0273-2289.

ANP- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução N° 8, de 30 de Janeiro de 2015, e no Diário Oficial da União em 2 de fevereiro de 2015. Dispõe nos incisos I e XVIII, do art. 8º, da Lei nº 9.478, de 6 de agosto de 1997, alterada pela Lei nº 11.097, de 13 de janeiro 2005 e com base na Resolução de Diretoria nº 39, de 22 de janeiro de 2015. Disponível em: <http://legislacao.anp.gov.br/?path=legislacao-anp/resol-anp/2015/janeiro&item=ranp-8--2015#:~:text=RESOLU%C3%87%C3%83O%20ANP%20N%C2%BA%208%2C%20DE,.2015%20%2D%20DOU%202.2.2015&text=Art.,-1%C2%BA%20Fica%20estabelecida&text=A%20presente%20Resolu%C3%A7%C3%A3o%20aplica%2Dse,%C3%A0s%20instala%C3%A7%C3%B5es%20residenciais%20e%20comerciais>. Acesso em 09 set. 2020.

ANTONELLI, J.; LINDINO, C. A.; AZEVEDO, J. C. R.; SOUZA, S. N. M.; CREMONEZ, P. A.; ROSSI, E. (2016). Biogas production by the anaerobic digestion of whey. **Revista de Ciências Agrárias**, Lisboa, v.39, n. 3, 2016. ISSN: 0871-018X.

ARAÚJO, M. I. B.; ANTUNES JÚNIOR, A. U.; LIMA, F. S.; SILVA NETO, J. M. Dimensionamento de Biodigestores Indiano para a cidade de Campina Grande. **Blucher Chemistry Proceedings**, São Paulo, v. 3, n. 1, p. 1059-1068, 2015. ISSN: 2318-4043.

ARAÚJO, N. C.; LIMA, V. L. A.; SENA, L. F.; RAMOS, J. G.; BORGE, V. E.; BANDEIRA, F. A. Produção orgânica da alface em substrato fertilizado com água amarela e manipueira. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, Fortaleza v.11, n. 8, p. 2111 - 2119, 2017. ISSN: 1982-7679.

ARAÚJO, P. C. C.; GONÇALVES JÚNIOR, D. R.; CARDOZO FILHO L.; MARQUES, J. J.; SANTOS, E. J. Uso de carvão ativado na remoção de CO₂. **Scientia Plena**, Sergipe, v. 14, n. 5, 2018.

ARIGLIANO, A.; CARICATO, P.; GRIECO, A; GUERRIERO, E. Producing, storing, using and selling renewable energy: The best mix for the small medium industry. **Computers in Industry**, v. 65, n. 3, p. 408–418, 2014. ISSN: 0166-3615.

AWE, O. W.; ZHAO, Y; NZIHO, A; MINH, D. P.; LYCZKO, N. A review of biogas utilisation, purification and upgrading technologies. **Waste and Biomass Valorization**, v. 8, n. 2, p. 267-283, 2017.

BAK, C.; LIMA, C. J.; KIMB, Y. D.; KIMB, W. S. Multi-stage adsorptive purification process for improving desulfurization performance of biogas. **Separation and Purification Technology**, v. 227, p. 115702, 2019. ISSN: 1383-5866.

BARANA, A. C.; CEREDA, M. P. Cassava wastewater (manipueira) treatment using a two-phase anaerobic biodigester. **Ciência e Tecnologia de Alimentos** [online], Campinas, v. 20, n. 2, p.183-186, 2000. ISSN: 0101-2061.

BARBIEIRO, N. Z. **Variedade genética de genótipo de mandioca no Estado do Espírito Santo**. Orientador: Adésio Ferreira. 2018. 78 f. Dissertação (Mestrado em Genética e Melhoramento) – Centro de Ciências Agrárias e Engenharias, Universidade Federal do Espírito Santo, Nova Alegre, 2018.

BEZERRA, G. P. F. **Avaliação de diferentes modelos de biodigestores para tratamento de resíduos sólidos urbanos gerados no restaurante da UFPB**. Orientador: Joácio de Araújo Moraes Junior. 2016. 61 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Centro de tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2016.

BOHRZ, G. I. **Geração de metano em lagoa anaeróbia: um estudo de caso em abatedouro de bovinos**. Orientador: Djalma Dias da Silveira. 2010. 153 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, RS, 2010.

BORGES, A. C. P.; SILVA, M. S.; ALVES, C. T.; TORRES E. A. Energias renováveis: uma contextualização da biomassa como fonte de energia. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA**, Fortaleza, v. 10, n. 2, p. 23-36, 2016. ISSN: 1982-5528.

BORGES, E. A. M. A.; SANTOS, A. S. P. Desenvolvimento da Aplicação dos Reatores Anaeróbios de Manta de Lodo (UASB) no Brasil. **Revista Internacional de Ciências**, Rio de Janeiro, v. 7, n. 2, p. 247-264, 2018. ISSN: 2316-7041.

BOTELHO, A. C. C. **Coagulantes orgânicos no tratamento da manipueira de fecularia de mandioca**. Orientadora: Ana Maria Ferrari Lima. 2019. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Apucarana, 2019.

BRAINER, M. S. C. P; VIDAL, M. F.; FERREIRA, O. P.; NAHUZ, M. A. R. Manejo florestal: uma possibilidade de parceria entre Calcinadores e apicultores na Chapada do Araripe (PE). Banco do Nordeste, v. 6, n. 3, 2012. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/documents/88765/89729/ire_ano6_n3.pdf/9c702af0-edba-4657-9d30-4404a2578503. Acesso em: 05 mar. 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de Defesa Agropecuária. Instrução Normativa nº 24, de 08 de setembro de 2005. Aprova o Manual Operacional de Bebidas e Vinagres. **Diário Oficial da União**: Seção 1, Distrito Federal, p. 11, 20 set. 2005.

BRASIL, N. I. **Introdução à Engenharia Química**. 3. ed. Rio de Janeiro, Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 427 p. ISBN: 9788571933088.

BRASIL. Portaria nº 554, de 30 de agosto de 1995. Ministro de Estado da Agricultura, do Abastecimento e da Reforma Agrária.

BÜHRING, G. M. B.; SILVEIRA, V. C. P. O biogás e a produção de suínos do sul do Brasil. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 222-237, 2016. ISSN: 2237-9711.

CALZA, L. F.; LIMA, C. B.; NOGUEIRA, C. E. C.; SIQUEIRA, J. A. C.; SANTOS, R. F. Avaliação dos custos de implantação de biodigestores e da energia produzida pelo biogás. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 35, n. 6, p. 990-997, 2015. ISSN: 1809-4430.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Reatores**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/biogas/biogas/reatores/>. Acesso em: 07 mar. 2021.

CHAVES, T. C. **Produção de hidrogênio a partir do melaço de cana-de-açúcar em reator anaeróbio de leito fluidificado**. Orientador: Eduardo Lucena Cavalcante de Amorim. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

CHRISTY, P. M.; GOPINATH, L. R.; DIVYA, D. A review on anaerobic decomposition and enhancement of biogas production through enzymes and microorganisms. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 34, p. 167-173, 2014.

COLIN, X.; FARINET, J. L.; ROJAS, O.; ALAZARD, D. Anaerobic treatment of cassava starch extraction wastewater using a horizontal flow filter with bamboo as support. **Bioresource technology**, v. 98, n. 8, p.1602-1607, 2007. ISSN: 0960-8524.

CONAB- Companhia Nacional De Abastecimento. **Análise Mensal, Mandioca**. 2018. Disponível em: https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuario-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca/item/download/15104_87ab84e372faa534fa097d39adcb71c5. Acesso: 01 out. 2019.

CREMONEZ, P. A.; FEIDEN, A.; TELEKEN, J. G.; SOUZA, S. N. M.; FEROLDI, M.; MEIER, T. W.; TELEKEN, J. T.; DIETER, J. Comparação entre glicerol e polímero biodegradável a base de mandioca como aditivos na biodigestão anaeróbia. **Semina: Ciências Agrárias**, Londrina, v. 37, n. 4, p. 1827-1844, 2016. ISSN: 1676 546X.

CRISTIANO, D. M. **Remoção de h₂s com óxido de ferro nanoestruturado para fins de purificação de biogás**. Orientador: Paulo Belli Filho. 2015. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Centro tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

CUNHA, B. P.; AUGUSTIN S. **Sustentabilidade ambiental: estudos jurídicos e sociais**. [recurso eletrônico]. 2.ed. Caxias do Sul: Editora da Universidade de Caxias do Sul, 2014. 486 p. ISBN: 978-85-7061-746-0.

DENG, Z.; FUNG, K. Y.; NG, K. M.; WEI, C. Design of anaerobic fluidized bed bioreactor-dyeing effluents. **Chemical Engineering Science**, v. 139, p. 273-284, 2016. ISSN: 0009-2509.

DIAS, L. T., LEONEL, M. Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil. **Instituto de Biociências/UNESP Botucatu**, SP, 2006. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, 2006. ISSN: 1981-1829.

DUARTE, G. W.; WESTRUP, G.; ALBERTON, J.; NIEHUES, R. C.; ROCHA, D. A.; VANDRESEN, S. Estudo da viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente de dejetos de suínos de uma propriedade rural em Forquilha/CS. **Revista Ciência & Cidadania**, Santa Catarina, v.1, n.1, 2015. ISSN: 2447-5270.

DUPONT, F. H.; GRASSI, F.; ROMITTI, L. Energias Renováveis: buscando por uma matriz energética sustentável. **Revista Eletrônica em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental**, Santa Maria, RS, v. 19, n. 1, p. 70-81, 2015. ISSN: 2236-1170.

ECKERT, C. T.; FRIGO, E. P.; MARI, A. G.; MARI JUNIOR, A.; CABRAL, A. C.; GRZESIUCK, A. E.; DIERINGS, L. S. Construção de biodigestores de batelada para escala laboratorial. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v.4, p. 65-82, 2015. ISSN: 2237-9711.

EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Mandioca**. Disponível em: <https://www.embrapa.br/mandioca-e-fruticultura/cultivos/mandioca>. Acesso: 10 jun. 2019.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética Ministério de Minas e Energia. Impactos da participação do biogás e do biometano na matriz brasileira. **IV Fórum do biogás**, São Paulo, 2017. Disponível em:

<http://www.mme.gov.br/documents/10584/4323103/ABioga%CC%81s.pdf/8e80e093-4042-4c24-ad9e-851c6190b399>. Acesso: 1 Out 2019.

_____. Nota Técnica DEA 13/15: Demanda de Energia 2050. **Estudos da demanda de energia**, Rio de Janeiro, p. 257, 2016.

FEIDEN, A. **Tratamento de águas residuárias de indústria de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto**. Orientadora: Marney Pascoli Cereda. 2001. 90 f. Tese (doutorado em Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Botucatu, 2001.

FEIDEN, A.; CEREDA, M. P. Potencial energético do biogás gerado no tratamento de águas residuárias de feculárias em sistema piloto de biodigestão anaeróbia com separação de fases. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.18, n.2, p. 54-66, 2003. ISSN: 1808-8759.

FEIL, A. A.; SCHREIBER, D. Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável: desvendando as sobreposições e alcances de seus significados. **Cadernos EBAPE.BR** [online], Rio de Janeiro, v. 14, n. 3, p. 667-681, 2017. ISSN: 1679-3951.

FENG, Q.; SONG, Y. C.; KIM, D. H.; KIM, M. S.; KIM, D. H. Influence of the temperature and hydraulic retention time in bioelectrochemical anaerobic digestion of sewage sludge.

International Journal of Hydrogen Energy, v. 44, n. 4, p. 2170-2179, 2019. ISSN: 0360-3199.

FLECK, L.; TAVARES, M. H.; EYNG, E.; ANDRADE, M. A. M.; FRARE, L. M. Otimização de anaeróbios tratamentos de processamento de mandioca efluentes. **Jornal da associação brasileira de agricultura engenharia** [on-line], Jaboticabal, v.37, n.3, p.574-590, 2017. ISSN: 1809-4430.

FONSECA, W. L.; ALMEIDA, F. A.; OLIVEIRA, A. M.; LEITE, M. L. T.; PROCHNOW, J. T.; RAMOS, L. L. Toxicity of manipueira to *Meloidogyne incognita* in soybean. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 46, n. 4, p. 413-420, 2016. ISSN:1983-4063.

FREITAS, F. F.; SOUZA, S. S.; FERREIRA, L. R. A.; OTTO, R. B.; ALESSIOD, F. J.; Souza, S. N. M; VENTURINIA, O. J.; ANDO JUNIOR, O. H. The Brazilian market of distributed biogas generation: Overview, technological development and case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 101, p. 146–157, 2019. ISSN: 1364-0321.

FRIGO, K. D. A.; FEIDEN, A.; GALANT, N. B.; SANTOS, R. F.; MARI, A. G.; FRIGO, E. P. Biodigestores: seus modelos e aplicações. **Acta Iguazu**, Cascavel, v.4, n.1, p. 57-65, 2015. ISSN: 2316-4093.

GIRARDI NETO, J.; SANTOS, V. G.; ANDREGUETTO, L. G.; LANGE, G. H.; SILVA, J. D.; VALLE, J. A. B.; PINHEIRO, I. G. Quantificação de biogás em reatores anaeróbios através do método de deslocamento de volume de água. **Revista de estudos ambientais** [online]. Blumenau, v.16, n. 1, p. 45 - 53, 2014. ISSN: 1983-1501.

GUIMARÃES, C. M. M.; GALVÃO, V. Análise da rede de colaboração científica sobre biogás. **Perspectivas em Ciência da Informação**, Belo Horizonte, v. 20, n. 2, p. 120-133, 2015. ISSN: 1981-5344.

HAKIM, A.; MARLIZA, T. S.; TAHARI, N. M. A.; ISAHAK, W. R. W.; YUSOP, M. R.; HISHAM, M. W. M.; YARMO, A. M. Studies on CO₂ adsorption and desorption properties from various type iron oxides (FeO, Fe₂O₃ and Fe₃O₄). **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Bangi, Malaysia, v. 55, n. 29, p. 7888-7897, 2016. ISSN: 7888-7897.

HASAN, C.; FEITOSA, A. K.; SILVA, M. C. A.; MARDER, M.; KONRAD, O. Produção de biogás a partir de resíduos agroindustriais: análise dos teores de sólidos totais, voláteis e fixos em amostras pré e pós digestão anaeróbia. **Revista Brasileira de Energias Renováveis**, Curitiba, v.8, n.1, p. 257- 273, 2019. ISSN: 2237-9711.

IEA – International Energy Agency. **Renewables Statistics: Comprehensive historical review and current market trends in renewable energy**. Paris, 2017. Disponível em: <https://www.iea.org/statistics/renewables/>. Acesso: 1 out. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Itaporanga d' Ajuda População**. (2010). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/itaporanga-dajuda/panorama>. Acesso em: 12 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Itaporanga d' Ajuda Território e ambiente**. (2018). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/se/itaporanga-dajuda/panorama>. Acesso em: 12 jul. 2019.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Produção Agrícola- Lavoura Temporária**. (2017). Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pesquisa/14/10193>. Acesso em: 12 jul. 2019.

INTANOO, P.; CHAIMONGKOL, P.; CHAVADEJ, S. Hydrogen and methane production from cassava wastewater using two-stage upflow anaerobic sludge blanket reactors (UASB) with an emphasis on maximum hydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 41, n. 14, p. 6107-6114, 2016. ISSN: 0360-3199.

JIJAI, S.; SRISUWAN, G.; SOMPONG, O.; ISMAIL, N.; SIRIPATANA, C. Effect of Granule Sizes on the Performance of Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB) Reactors for Cassava Wastewater Treatment. **Energy Procedia**, v. 79, p. 90-97, 2015. ISSN: 1876-6102.

JIRAPRASERTWONG, A.; MAITRIWONG, K.; CHAVADEJ, S. Production of biogas from cassava wastewater using a three-stage upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. **Renewable Energy**, v. 130, p. 191–205, 2019. ISSN: 0960-1481.

JULIASTUTI, S. R.; WIDJAJA, T.; ALTWAY, A.; ISWANTO, T. Biogas production from pretreated coffee-pulp waste by mixture of cow dung and rumen fluid in co-digestion. In: **AIP Conference Proceedings**. AIP Publishing LLC, 2017. p. 110011.

KAEWKANNETRA, P.; IMAI, T.; GARCIA-GARCIA, F.J.; CHIU, T. Y. Cyanide removal from cassava mill wastewater using *Azotobacter vinelandii* TISTR 1094 with mixed microorganisms in activated sludge treatment system. **Journal of Hazardous Materials**, v. 172, n. 1, p. 224-228, 2009. ISSN: 0304-3894.

KPATA-KONAN, E. N.; GNAGNE, T.; KONAN, F. K.; KOUAMÉ, M. K.; KOUAMÉ, F. Y.; TANO, K. Biogas production from anaerobic co-digestion of cassava effluent and human urine. **Pakistan Journal of Biotechnology**, Sindh, v. 12, n. 2, p. 93 – 98, 2015. ISSN: 2312-7791.

KUCZMAN, O.; TAVARES, M. H. F.; GOMES, S. D.; GUEDES, L. P. C.; GRISOTTI, G. Cassava starch extraction effluent treatment in a one phase tubular horizontal pilot reactor with support medium. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 34, n. 6, p. 1270-1282, 2014. ISSN: 0100-6916.

KUNZLER, K. R.; GOMES, S. D.; PIANA, P. A.; TORRES, D. G. B.; BOAS, M. A. V.; TAVARES, M. H. F. Anaerobic reactors with biofilter and different diameter-length ratios in cassava starch industry wastewater treatment. **Engenharia Agrícola** [online], Jaboticabal, v. 33, n. 4, p. 612-624, 2013. ISSN: 0100-6916.

LARRÉRE, C.; LARRÉRE, L. **Bom uso da natureza**. Tradução: Amando Pereira da Silva. Lisboa: Instituto Piaget, 1997.

LEGNER, C. Reator UASB para Tratamento Biológico de Esgoto. **Revista TAE – especializada em tratamento em água & efluente, Santo André**, Ano 4, n. 24, 2015. Disponível em: <https://www.revistatae.com.br/Artigo/514/reator-uasb-para-tratamento-biologico-de-esgoto>. Acesso em 05 mar. 2021.

LINHARES, A. L. F. A.; SEIXAS, B. C.; MAIA, M. J. O. Determinação quantitativa do ácido cianídrico em mandioca. **e-Scientia**, Belo Horizonte, v. 11, n. 2, p. 1-7, 2018. ISSN: 1984-7688.

LIU, C. M.; Wachemo, A. C.; Tong, H.; Shi, S. H.; Zhang, L.; Yuan, H. R.; Li, X. J. Biogas production and microbial community properties during anaerobic digestion of corn stover at different temperatures. **Bioresource technology**, v. 261, p. 93-103, 2018. ISSN: 0960-8524.

MACHADO, A. M. C.; PEDROTTI, A. Perspectiva Energética para Pequenas Unidades Fabris: Casas de Farinha do Município de Campo do Brito – Sergipe. **Revista Brasileira de Agroecologia**, v. 4, n. 2, p. 2916 – 2919, 2009. ISSN: 1980-9735.

MAHMOOD, Q.; SHAH, F. A. Potential of biogas technology using different biomasses in developing countries. **Science Vision**, v. 20, n. 1, p. 43-56, 2014. ISSN: 2229-6026.

MAIA, D. C. S.; LENZI, G. G.; ARROYO, P. A.; FRARE, L. M.; GIMENES, M. L.; PEREIRA, N. C. Desenvolvimento de um sistema para purificação de biogás utilizando FE/EDTA como absorvente. **Engevista**, Rio de Janeiro, v. 17, n. 2, p. 219-231, 2014. ISSN: 2317-6717.

MAMA, C. N.; AGUNWAMBA, J. C. Biogas production from blends of cassava waste and cow dung under changing meteorological parameters. **Asian Journal of Water, Environment and Pollution**, Nigéria, v. 14, n. 4, p. 89-98, 2017.

MARCONI, M. A.; LAKATOS E. M. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 311p. ISBN: 85-224-3397-6.

MATINC, C.; TONETTO, J. F.; HASAN, C.; KONRAD, O. **Potencial de produção de biogás a partir da Co-digestão de dejetos da suinocultura e bovinocultura**. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.8, n.4, p.154-161, 2017. ISSN: 2179-6858.

MATOS, C. F.; PAES, J. L.; PINHEIRO, É. F. M.; CAMPOS, D. V. B. Biogas production from dairy cattle manure, under organic and conventional production systems. **Journal of the Brazilian Association of Agricultural Engineering**, Jaboticabal, v.37, n.6, p.1081-1090, 2017. ISSN: 1809-4430.

MATOS, S. M. S.; SANTOS, A. C. Modernidade e crise ambiental: das incertezas dos riscos à responsabilidade ética. **Revista de Filosofia Trans/Form/Ação**, Marília, SP, v. 41, n. 2, p. 197-216, 2018. ISSN: 1980-539X.

MATTOS, L. C.; FARIAS JÚNIOR, M. **Manual do Biodigestor Sertanejo**. Recife: Projeto Dom Helder Camara. 2011. 55 p. ISBN: 978-85-6415-01-8.

MEDEIROS, L. S. Políticas públicas de desenvolvimento rural no Brasil. In: GRISA, C.; SCHNEIDER, S. (Org.). **Luta por reforma agrária no Brasil contemporâneo: entre continuidades e novas questões**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2015. 624 p. ISBN: 978-85-386-0262-0.

MEL, M.; YONG, A. S. H.; AVICENNA; IHSAN, S. I.; SETYOBUDI, R. H. Simulation Study for Economic Analysis of Biogas Production from Agricultural Biomass. **Energy Procedia**, v. 65, p. 204–214, 2015. ISSN: 1876-6102.

MENDONÇA, V. C. M. **Tratamento de manipueira concomitante à produção de tomate, através de sistema integrado RAHLF (Reator Anaeróbico Horizontal de Leito Fixo) e fertirrigação subsuperficial**. Orientador: Vanildo Luiz Del Bianchi. 2016. 149 f. Tese (doutorado em Engenharia e Ciência de Alimentos) - Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, São José do Rio Preto, 2016.

MILANEZ, A. Y.; GUIMARÃES, D. D.; MAIA, G. B. S.; SOUZA, J. A. P.; LEMOS, M. L. F. Biogás de resíduos agroindustriais: panorama e perspectivas. **BNDES Setorial**, v. 47, p. 221-276, 2018.

MITTAL, S.; AHLGREN, E. O.; SHUKLA, P. R. Future biogas resource potential in India: A bottom-up analysis. **Renewable Energy**, v. 141, p. 379-389, 2019. ISSN: 0960-1481.

MIYAWAKI, B. **Purificação de biogás através de cultivo de microalgas em resíduos agroindustriais**. Orientador: André Bellin Mariano. 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

MODESTO JÚNIOR, M. S.; ALVES, R. N. B. **Cultura da mandioca: Aspectos socioeconômicos, melhoramento genético, sistema de cultivo, manejo de pragas e doenças e agroindústria**. 1. ed. Brasília: Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa, 2016. 260 p. ISBN: 978-85-7035-621-5.

MONTEIRO, M. R. S. **Produção de biogás a partir da biodigestão anaeróbia de manipueira e lodo de estação de tratamento de esgoto**. Orientadora: Maria de Los Angeles P. F. Palha. 2015. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2015.

MONTEIRO, M. R. S.; LIMA, M. F.; FREIRE, A.; SILVA, S. P. R.; PALHA, M. A. P. F. Produção de biogás a partir de manipueira adicionada de complexo enzimático bruto e lodo de estação de tratamento de esgoto. In: **Anais do Simpósio Nacional de Bioprocessos e Simpósio de Hidrólise Enzimática de Biomassas (SHEB)**, 2015. Anais Eletrônicos, Campinas, Galoá, 2018. Disponível Em: <https://proceedings.science/sinaferm/sinaferm-2015/papers/producao-de-biogas-a-partir-de-manipueira-adicionada-de-complexo-enzimatico-bruto-e-lodo-de-estacao-de-tratamento-de-esg?lang=pt-br>. Acesso em: 28 maio 2019.

MOURA, A. S.; MEDEIROS, E. V.; OLIVEIRA, J. E. S.; FRANCA, R. F.; LIRA, A. D.; MARTINS FILHO, A. P.; BADJI, C. A. Does cassava wastewater with a short incubation

time affect soil organic carbon, microbial community and enzymatic activities?. **Catena**, v. 163, p. 354-360, 2018. ISSN: 0341-8162.

OFOEFULE, A. U.; UZODINMA, E. O. Biogas production from blends of cassava (*Manihot utilissima*) peels with some animal wastes. **International Journal of Physical Sciences**, v. 4, n. 7, p. 398-402, 2009. ISSN: 1992-1950.

OKUDOH, V.; TROIS, C.; WORKNEH, T. The Potential of Cassava Biomass as a Feedstock for Sustainable Biogas Production in South Africa. **12th International Conference on Sustainable Energy technologies**. Hong Kong, 2013 Paper ID: SET2013-3.

OKUDOH, V.; TROIS, C.; WORKNEH, T.; SCHMIDT, S. The potential of cassava biomass and applicable technologies for sustainable biogas production in South Africa: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 39, p. 1035–1052, 2014. ISSN: 1364-0321.

OLIVEIRA, A. J. S.; COSTA, A. R. F.; MOTA, T. G.; FERREIRA, W. S. Biodigestor Caseiro Aplicado à Produção de Biofertilizante a Partir de Biomassa Bovina. **Scientia Amazonia**, v. 8, n.1, p. 14 - 19, 2019. ISSN:2238-1910.

OLUGASA, T. T.; ODESOLA, I. F.; OYEWOLA, M. O. Energy production from biogas: A conceptual review for use in Nigeria. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Elsevier, v. 32, p. 770-776, 2014. ISSN: 1364-0321.

OWUSU-TWUM, M. Y.; SHARARA, M. A. Sludge management in anaerobic swine lagoons: A review. **Journal of Environmental Management**, v. 271, p. 110949, 2020. ISSN: 0301-4797.

PARDO, M.; LI, C.; HE, Q.; LEVIN-ZAIDMAN, S.; TSOORY, M.; YU, Q.; WANG, X.; RUDICH, Y. Mechanisms of lung toxicity induced by biomass burning aerosols. **Part Fibre Toxicol**, v. 17, n. 4, 2020. ISSN: 1743-8977.

PATEL, J. B.; PATEL, M. D.; CHAUDHARI, R. V.; RAJPUT, V. P. Biogas Calorific Value Increasing Processes Using Different Techniques: A Review. **International Journal of Engineering Technology Science and Research**, v. 4, n. 8, 2017. ISSN: 2394 – 3386.

PENTEADO, M. C.; SCHIRMER, W. N.; DOURADO, D. C.; GUERI, M. V. D. Análise do potencial de geração de biogás a partir da biodigestão anaeróbia da vinhaça e bagaço de cana. **BIOFIX Scientific Journal**, Curitiba, v. 3, n. 1, p. 26 - 33, 2018.

PEREIRA, V.; FERREIRA JUNIOR, J. M.; MARTINEZ, G. A. S.; TOMACHUK, C. R. Avaliação de sistema de colunas para remediação de biogás a partir de biomassa não digerida. **Holos**, Natal, v. 8, 2015, p. 242-251. ISSN: 1518-1634.

PERES, S.; MONTEIRO, M. R.; FERREIRA, M. L.; NASCIMENTO JUNIOR, A. F.; PALHA, M. L. A. P. F. Anaerobic Digestion Process for the Production of Biogas from Cassava and Sewage Treatment Plant Sludge in Brazil. **BioEnergy Research**, v. 12, n. 1, p. 150-157, 2018. ISSN: 1939-1234.

PINTO, M. D. N. **Mandioca e farinha: subsistência e tradição cultural**. 2006. Disponível em: http://www.mao.org.br/wp-content/uploads/pinto_01.pdf. Acesso: 03 jun 2019.

PINTO, P. H. M.; CAMILI, E. A.; CABELLO, C. Tratamento do efluente líquido de extração de fécula de mandioca (manipueira) por processo de biodigestão anaeróbia. *In: XIII Congresso Brasileiro de Mandioca, Botucatu, v. 5: volume Especial, 2009. Resumos expandidos*. Botucatu: Centro de Centro de Raízes e Amidos Tropicais, UNESP–Campus de Botucatu, 2009. p. 1205-1209.

Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD BRASIL. **Acompanhando a agenda 2030 para o desenvolvimento sustentável: subsídios iniciais do Sistema das Nações Unidas no Brasil sobre a identificação de indicadores nacionais referentes aos objetivos de desenvolvimento sustentável**. Brasília: PNUD, 2015. 291 p. ISBN: 978-85-88201-29-3.

POPPER, K. R. **A lógica da pesquisa científica**. Tradução: Leonidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. 13. ed. São Paulo: Editora Pensamento Cultrix, 2007. 567 p. Título original: *The logic of scientific Discovery*. ISBN: 8531602368.

POPPER, K. R. **Conjecturas e refutações**. Tradução de Sérgio Bath. 2. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1982. 449p. (Coleção Pensamento Científico, 1). Título original: *Conjectures and refutations: the growth of scientific knowledge*.

POSSA, R. D. **Influência do tratamento do carvão da pirólise do lodo de esgoto na purificação do biogás, simulando os gases obtidos do processo de fermentação de dejetos suínos**. Orientador: João Fernandes de Sousa 2018. 100 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2018.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. **Metodologia do trabalho científico: Métodos e técnicas de pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: FEEVALE, 2013. 277 p. ISBN 978-85-7717-158-3.

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; Regis, U.; Valladares, R.; Souza, P. H. F.; Ferreira, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 3, p. 326-332, 2010. ISSN 1807-1929.

RAHMAN, K. A.; RAMESH, A. Studies on the effects of methane fraction and injection strategies in a biogas diesel common rail dual fuel engine. **Fuel**, v. 236, p. 147–165, 2019. ISSN: 0016-2361.

REBOUÇAS, C. S.; FREITAS, A. G. B.; BERY, C. C. S.; SILVA, I. P.; OLIVEIRA JÚNIOR, A. M.; SILVA, G. F. Utilização de um sistema para a redução do ácido cianídrico presente na manipueira utilizando energia solar. **Revista GEINTEC**, São Cristóvão, v. 5, n. 1, p. 1809-1819, 2015. ISSN: 2237 0722.

ROSA, P. R. F.; SANTOS, S. C.; SAKAMOTO, I. K.; VARESCHE, M. B. A.; SILVA, E. L. The effects of seed sludge and hydraulic retention time on the production of hydrogen from a

cassava processing wastewater and glucose mixture in an anaerobic fluidized bed reactor. **International journal of hydrogen energy**, v. 39, n. 25, p. 13118-13127, 2014. ISSN: 0360-3199.

SÁNCHEZ, A. S.; SILVA, Y. L.; KALID, R. A.; COHIM E.; TORRES, E. A. Waste bio-refineries for the cassava starch industry: New trends and review of alternatives. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.73, p. 1265–1275, 2017. ISSN: 1364-0321.

SANTANA, A. M.; OLIVEIRA, R. A. Desempenho de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo em dois estágios tratando águas residuárias de suinocultura. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 3, p. 817-830, 2005. ISSN 1809-4430.

SANTANA, G. B.; NÓBREGA, D. C.; OLIVEIRA, J. T.; ALVES, I.; NASCIMENTO R. F.; VIDAL, C. B. Aplicação da semente de moringa (*Moringa oleífera*) como coagulante natural no tratamento de efluente de uma indústria de tintas no Ceará. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 41, n. 1, p. 1-17, 2020. E-ISSN: 2318-0730.

SANTOS FILHO, A. A. **Crise ambiental moderna: um diagnóstico interdisciplinar**. Porto Alegre: Redes Editora, 2015.

SANTOS, G. P.; REGO, N. A. C.; SANTOS, J. W. B.; DELANO JÚNIOR F.; SILVA JÚNIOR, M. F. Avaliação espaço-temporal dos parâmetros de qualidade da água do rio Santa Rita (BA) em função do lançamento de manipueira. **Revista Ambiente & Água**, Taubaté, v. 7, n. 3, p. 261-278, 2012. ISSN: 1980-993X.

SANTOS, J. O.; ALVES, J. S. Mudanças climáticas, comércio intranacional e exportações agrícolas à luz do modelo gravitacional: estimativas para o nordeste brasileiro. **Revista eletrônica do Programa de Mestrado em Desenvolvimento Regional da Universidade de Contestado**, v. 10, p. 324-347, 2020. ISSN 2237-9029.

SARTORI, A. S. T.; FARIA, J. E. S.; DUARTE C. G.; FLOR, V. T. Os jogos de linguagem do processo de produção da farinha de mandioca: uma investigação Etnomatemática. **Revista Latinoamericana de Etnomatemática**, San Juan de Pasto, Colombia, v. 9, n. 2, p.127-143, 2016. ISSN: 2011-5474.

SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento. **Prognóstico mandioca**. 2019. Disponível em:
http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/2019/mandioca_2019_v1.pdf. Acesso: 01 jun 2019.

SEBRAE - Serviço Brasileiro de Apoio às Micro e Pequenas Empresas. **Mandioca** (Farinha e Fécula), 2012. Disponível em:
[http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/5936f2d444ba1079c3aca02800150259/\\$File/4247.pdf](http://www.bibliotecas.sebrae.com.br/chronus/ARQUIVOS_CHRONUS/bds/bds.nsf/5936f2d444ba1079c3aca02800150259/$File/4247.pdf). Acesso em: 02 jun. 2019.

SHAH, F. A.; MAHMOOD, Q.; RASHID, N.; PERVEZ, A.; RAJA, I. A.; SHAH, M. M. Co-digestion, pretreatment and digester design for enhanced methanogenesis. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 42, p. 627 – 642, 2014. ISSN: 1364-0321.

SILVA, C. O.; CEZAR, V. R. S.; SANTOS, M. B.; SANTOS, A. S. Biodigestão anaeróbia com substrato formado pela combinação de esterco ovinocaprino, manipueira e biofertilizante. **Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais**, Aquidabã, v.4, n.1, p. 88-103, 2013. ISSN: 2179-6858.

SILVA, E. R. A.; PELIANO, A. M.; CHAVES, J. V. AGENDA 2030 - ODS – **Metas Nacionais dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Brasília, 2018.

SILVA, F. M.; BERTINI, L. M.; ALVES, L. A.; BARBOSA, P. T.; MOURA, L. F.; MACÊDO, C. S. Implicações e possibilidades para o ensino a partir da construção de biodigestor no IFRN – Campus Apodi. **Holos**, v. 6, n. 31, 2015. ISSN: 1807-1600.

SILVA, I. J. S.; SILVA, G. A.; CABRAL, K. V. G.; MONTEIRO, M. R. S.; SILVA, P. C.; PERES, S.; PALHA, M. L. A. P. F. Produção de metano a partir de manipueira e lodo de ETE. *In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química, 2014. Anais eletrônicos...* Campinas, Galoá, 2014.

SILVA, M. L. B.; MEZZARI, M. P. Tratamento e purificação de biogás. *In: KUNZ, A.; STEINMETZ, R. L. R.; AMARAL, A. C. (ed) Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato*. 1. ed. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, 2019. p. 69-93.

SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás. **Nativa Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v.5, p.522-528, 2017. ISSN: 2318-7670.

SOENTGEN, J.; HILBERTB, K. A química dos povos indígenas da América do Sul. **Química Nova**, Porto Alegre – RS, v. 39, n. 9, p.1141-1150, 2016. ISSN: 1678-7064.

SOLDERA, P. E. S. **Parâmetros para projeto de lagoas anaeróbias para tratamento de efluentes de abatedouro de bovinos**. Orientador: Enelton Fagnani. 188 f. Tese (Doutor em Tecnologia, na área de Ambiente) - Faculdade de Tecnologia, Universidade Estadual de Campinas, Limeira, 2018.

SOUZA FILHO, J. D. V.; LIMA, A. C. A.; STEFANUTTIA, R.; SILVA, W. M. B.; BASTOS NETO M.; GARCIA, E. V.; LOIOLA, A. R.; MOTA, F. S. B. Zeólita 4A para purificação do gás de aterro sanitário. **Química Nova**, São Paulo, v. 41, n. 1, p.100-104, 2018. ISSN 0100-4042.

SOUZA, J.; SCHAEFFER L. Construção de plantas de biogás: Dimensionamento de biorreatores. **Revista Espacios**, Caracas, Venezuela, v. 36, n. 06, 2015. ISSN 0798 1015.

SOUZA, J. R.; FIGUEIREDO, R. M.; SANTANA, C. M. P. Qualidade microbiológica da farinha de mandioca comercializada na região sudoeste da Bahia. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.17, n.2, p.117-123, 2015. ISSN 1517-8595.

SPECK, R. A. **Geração e aproveitamento energético de biogás pela biodigestão de manipueira**: um estudo de caso. Orientador: Joel Gustavo Teleken. 2019. 67 f. Dissertação

(Mestrado em Tecnologia de Bioprodutos Agroindustriais) - Universidade Federal do Paraná, Palotina, 2019.

SREETHAWONG, T.; CHATSIRIWATANA, S.; RANGSUNVIGIT, P.; CHAVADEJ, S. Hydrogen production from cassava wastewater using an anaerobic sequencing batch reactor: effects of operational parameters, COD: N ratio, and organic acid composition. **International Journal of Hydrogen Energy**, v. 35, n. 9, p. 4092-4102, 2010. ISSN: 0360-3199.

SU, C.; LU, Y.; QIN, J.; ZHENG, P.; QIU, R.; CHEN, M.; VAHALA, R.; WANG, Y. Performance and microbial community structure characterization of a CIC anaerobic reactor for the treatment of cassava wastewater. **Ecological Engineering**, v. 108, p. 114-122, 2017.

SUMAN, P. A.; URBANO, L. H.; LEONEL, M.; MISCHAN, M. M. Efeitos de parâmetros de fermentação na produção de etanol a partir de resíduo líquido da industrialização da mandioca (manipueira). **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 33, n. 4, p. 379-384, 2011. ISSN: 1806-2563.

SUZUKI, A. B. P.; FEIDEN, A.; FERNANDES, D. M.; MARTINS, G. I.; FARIA, R. A. P. Utilização de manipueira juntamente com sólidos da cama de aviário em biodigestores para geração de biogás. **Ambiência**, Guarapuava, v. 8 n. 3 p. 809 – 820, 2012. ISSN 1808–0251.

TEIXEIRA, P. R. G.; VIANA, A. E. S.; CARDOSO, A. D.; MOREIRA, G. L. P.; MATSUMOTO S. N.; RAMOS P. A. S. Physical-chemical characteristics of sweet cassava varieties. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v. 12, n. 2, p. 158-165, 2017. ISSN 1981-0997.

TEORES. **Tereos Amido & Adoçantes Brasil inaugura biodigestor para gerar biogás**. Disponível em: <https://tereos.com/pt-pt/news/tereos-amido-adocantes-brasil-inaugura-biodigestor-para-gerar-biogas/>. Acesso em: 17 jun. 2020.

VELOSO, A. V.; CAMPOS, A. T.; MARIN, D. B.; MATTIOLI, M. C.; NÉRI, A. C. Sustentabilidade ambiental da suinocultura com manejo de dejetos em biodigestor-avaliação de parâmetros físico-químicos. **Revista Engenharia na Agricultura**, Viçosa, V.26, n.04, p.322-333, 2018. ISSN 2175-6813.

VELTHEM, L. H. V.; KATZ, E. A ‘farinha especial’: fabricação e percepção de um produto da agricultura familiar no vale do rio Juruá, Acre. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi**. Ciências Humanas, Belém, v. 7, n. 2, p. 435-456, 2012.

VIOLA, E.; BASSO, L. O sistema internacional no Antropoceno. **Revista brasileira de Ciências Sociais** [online], São Paulo, v. 31, n. 92, 2016. ISSN: 1806-9053.

WESTRUP, G.; DUARTE, G. W.; ALBERTON, J.; NIEHUES, R. C.; ROCHA, D. A.; VANDRESEN, S. Estudo da viabilidade econômica de geração de energia elétrica a partir de biogás proveniente de dejetos de suínos de uma propriedade rural em Forquilha/SC. **Revista Ciência e Cidadania**, Santa Catarina, v.1, n.1, 2015. ISSN: 2447-5270.

ZHANG, Q. H.; LU, X.; TANG, L.; MAO, Z. G.; ZHANG, J. H.; ZHANG, H. J.; SUN, F. B. A novel full recycling process through two-stage anaerobic treatment of distillery wastewater for bioethanol production from cassava. **Journal of Hazardous Materials**, v. 179, n. 1-3, p. 635-641, 2010. ISSN: 0304-3894.

APÊNDICE



INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 4264/19

Revisão 00

Cliente	Juliana Marçal de Oliveira	Telefone	9 9604-7283
Endereço	Avenida Murilo Dantas apt 901 mjm, 1349, CEP 49032-490	Contato(s)	Juliana Marçal de Oliveira
e-mail	ju_m.o@hotmail.com	Fax	
Amostra(s)	Efluente/Despejo	Recepção	08/10/19

Amostra	EFLUENTE DE MANIPUEIRA			Código	4264/19-01	Coleta em	03/10/19
Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método		Data do Ensaio	
pH	4,89	--	1 - 12	SMEWW, 2017, 4500 H+ B		08/10/19 08:30	
DBO (Método respirométrico)	1090	mg O ₂ /L	0,5	SMEWW, 2017, 5210-D		09/10/19	
DQO - Demanda Química de Oxigênio	>10000	mg O ₂ /L	4	SMEWW, 2017, 5220 C, D/Nova 60 Merck		21/10/19	
Carbono Orgânico Total (Instrumental)	32300	mgC/L	0,0033	SMEWW, 2017, 5310-TOC B		14/10/19 08:44	
Sólidos Totais a 105°C	67280	mg/L	--	SMEWW, 2017, 2540 B		10/10/19	
Sólidos Totais Fixos	9642	mg/L	--	SMEWW, 2017, 2540 E		10/10/19	
Sólidos Totais Voláteis	57640	mg/L	--	SMEWW, 2017, 2540 E		10/10/19	

Legenda

SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, APHA, 23ª. ed., Washington, 2017.

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Preservação e distribuição dos itens de ensaio (por amostra)				
Código da preservação	Código do Laboratório	Descrição resumida da preservação	Quantidade aproximada	Recipiente
RP	AD	Refrigeração	1000mL	Frasco Plástico
RD	AD	Refrigeração (DBO / DQO)	1000mL	Frasco Plástico

Aracaju, 22 de outubro de 2019.

Cláudia de Araujo Xavier
Coordenadora
Lab. Química de Água

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LTUNZ CJQ 489.



INSTITUTO TECNOLÓGICO E DE PESQUISAS DO
ESTADO DE SERGIPE

Rua Campo do Brito, Nº371, Treze de Julho, CEP 49.020-380
Aracaju - SE - Brasil

Fone (79) 3179-8081/8087 Fax (79) 3179-8087/8090
CNPJ 07.258.529/0001-59

Relatório de Ensaios ITPS Nº 4250/19

Revisão 00

Cliente	Myllena Lima dos Santos	Telefone	79 9 9846-6164
Endereço	Rua T (Lot Aquarius II), 90, CEP 49001-000	Contato(s)	Myllena Lima dos Santos
e-mail	myllenalima2@hotmail.com	Fax	
Amostra(s)	ALIMENTOS	Recepção	07/10/19

Amostra	Farinha de mandioca - Itaporanga/SE	Código	4250/19-01	Coleta em	--
Lote		Data de Fabricação	03/10/19		
Data de Validade					

Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Amido Quantitativo (glícido não redutores em amido)	78,62	g/100g	--	Método Lane-Eynon	15/10/19

Amostra	Manipueira - Itaporanga/SE	Código	4250/19-02	Coleta em	--
Lote		Data de Fabricação	03/10/19		
Data de Validade					

Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Amido Quantitativo (glícido não redutores em amido)	1,35	g/100g	--	Método Lane-Eynon	15/10/19

Amostra	Manipueira - Itabaianinha/SE	Código	4250/19-03	Coleta em	07/10/19
Lote		Data de Fabricação			
Data de Validade					

Ensaio	Resultado	Unidade	LQ	Método	Data do Ensaio
Amido Quantitativo (glícido não redutores em amido)	0,00	g/100g	--	Método Lane-Eynon	15/10/19

Legenda

LQ: Limite de Quantificação do Método.

Informações de Coleta

Coleta efetuada pelo cliente.

A descrição do material ensaiado é de inteira responsabilidade do cliente.

Aracaju, 18 de outubro de 2019.

Karina Magna Macena Leão
Coordenadora
CRQ SE 08400014
Bromatologia

Maria da Conceição Moraes
Santos
Técnico Químico
CRQ-SE - 08400517
Bromatologia

Documento verificado e aprovado por meios eletrônicos

A verificação da autenticidade deste documento pode ser feita baixando o documento original em www.itps.se.gov.br na aba Serviços clicando em Resultados de Análises usando o código LTCJQ FBZ 210.

A Custódia das amostras é de 15 dias após emissão do relatório de ensaios, exceto para solos que é 90 dias e água que é 2 dias. Não se aplica a amostras perecíveis. Os resultados têm significado restrito e aplicam-se somente às amostras ensaiadas. Este relatório somente poderá ser reproduzido em sua totalidade.

O ITPS se isenta de qualquer responsabilidade pela reprodução parcial do mesmo.