



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA,  
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA  
DIREÇÃO DE ENSINO - DEN  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA AMBIENTAL - CEAMB**

**RODRIGO SANTANA CAIRES ARAÚJO**

**CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR DE ESCALA RESIDENCIAL PARA  
ACOMODAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, OBTENÇÃO DE BIOGÁS E  
BIOFERTILIZANTE**

**Vitória da Conquista – BA**

**Outubro 2023**



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA BAHIA,  
CAMPUS VITÓRIA DA CONQUISTA**

**CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR DE ESCALA RESIDENCIAL PARA  
ACOMODAÇÃO DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, OBTENÇÃO DE BIOGÁS E  
BIOFERTILIZANTE**

**Rodrigo Santana Caires Araújo**

Trabalho de Conclusão de Curso encaminhado para apreciação do Colegiado do Curso de Graduação em Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, campus Vitória da Conquista como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Ambiental.

Orientador: Leonardo Moreira Santos

**Vitória da Conquista – BA**

**Outubro 2023**

A663c Araújo, Rodrigo Santana Caires de

Construção de um biodigestor de escala residencial para acomodação de resíduos orgânicos, obtenção de biogás e biofertilizante. / Rodrigo Santana Caires de Araújo. – Vitória da Conquista-BA : IFBA, 2023.

55 f.il.: color.

Orientador: Prof. Leonardo Moreira Santos.

Trabalho Conclusão de Curso (Graduação) em Engenharia Ambiental - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia - *Campus* de Vitória da Conquista-BA, 2023.

1. Biometano. 2. Composto orgânico. 3. Resíduo domiciliar. 4. Resíduos orgânicos. 5. Tratamento biológico. I. Santos, Leonardo Moreira. II. Título.

CDD: 577.13

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca do IFBA *Campus* de Vitória da Conquista-BA.

**RODRIGO SANTANA CAIRES ARAÚJO**

**CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR DE ESCALA  
RESIDENCIAL PARA ACOMODAÇÃO DE RESÍDUOS  
ORGÂNICOS, OBTENÇÃO DE BIOGÁS E  
BIOFERTILIZANTE**

A presente Monografia, apresentada em sessão pública realizada em quatorze de novembro de 2023, foi avaliada como adequada para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Ambiental, julgada e aprovada em sua forma final pela Coordenação do Curso de Engenharia Ambiental do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista.

Data da Aprovação: 14 de Novembro de 2023

**BANCA EXAMINADORA**

Documento assinado digitalmente  
 **LEONARDO MOREIRA SANTOS**  
Data: 14/11/2023 21:52:03-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof. Msc. Leonardo Moreira Santos Orientador  
– IFBA Campus Vitória da Conquista

Documento assinado digitalmente  
 **CAMILA DANIELE WILLERS**  
Data: 22/11/2023 21:36:34-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Msc. Camila Daniele Willers Membro  
Interno – IFBA campus Vitória da Conquista

Documento assinado digitalmente  
 **ORLEANE SOUZA DE BRITO**  
Data: 15/11/2023 06:16:56-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

---

Prof<sup>a</sup>. Msc. Orleane Souza de Brito  
Membro Externo – IFBA campus Ilhéus

Vitória da Conquista, 14 de Novembro de 2023

## **DEDICATÓRIA**

Dedico esta monografia para os meus pais, Helena e Rodrigo, minha irmã, Isabel, que me ajudaram e encorajaram a finalizar a graduação, e às memórias de meus avós Donatila e Rodrigo, que me deram total suporte.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, pelo auxílio divino que permeou todos os momentos desta jornada acadêmica. Sua luz e sabedoria foram fundamentais para enfrentar os desafios e superar as dificuldades que surgiram no percurso.

Aos meus pais, Helena e Rodrigo, expresso minha profunda gratidão. Seu amor incondicional, apoio constante e dedicação incansável foram pilares essenciais que sustentaram minha trajetória na busca pelo conhecimento. Cada sacrifício que fizeram em prol da minha educação é inestimável e não passa despercebido.

À minha querida irmã, Isabel, pela compreensão, companheirismo e motivação.

Aos meus queridos avós, tanto paternos quanto maternos, dedico um agradecimento carinhoso. Suas palavras de sabedoria, carinho e apoio constante alimentaram minha determinação e trouxeram conforto nos momentos difíceis.

Aos amigos e familiares que estiveram ao meu lado durante essa jornada, quero expressar minha gratidão sincera, em especial a minha namorada Mariana. Suas palavras de encorajamento, apoio inabalável e alegria compartilhada contribuíram significativamente para a construção da minha jornada acadêmica.

Por fim, meu profundo agradecimento ao meu orientador, Leonardo. Sua orientação experiente, paciência incansável e valiosas contribuições guiaram este trabalho rumo à sua realização. Sua dedicação em compartilhar conhecimento e expertise foi essencial para o crescimento e amadurecimento acadêmico que alcancei.

A todos vocês que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste estudo, meu mais sincero agradecimento. Seu apoio, amor e confiança foram os pilares que sustentaram esta conquista.

## RESUMO

No Brasil foram geradas 200 mil toneladas de Resíduo Sólido Urbano (RSU) no ano de 2019, e cerca de 50% de todo RSU é de resíduos orgânicos, que são descartados em sua grande maioria sem qualquer reaproveitamento, cerca de 2% apenas recebem algum tratamento, visto que o tratamento dessa fração é de suma importância e pequeno gasto energético, além de proporcionar diversos ao meio ambiente. O presente trabalho realizou a construção de um biodigestor de escala residencial para acomodar resíduos orgânicos domiciliares, além produzir e aproveitar os produtos das reações no reservatório que são: biogás e biofertilizante. Para o projeto foi necessário armazenar resíduos orgânicos que foram produzidos pelo Refeitório Institucional do IFBA, campus de Vitória da Conquista, assim foram acomodados no biodigestor e através deles se obteve os produtos das reações de decomposição microbiana. O trabalho se destacou em várias vertentes e os resultados obtidos foram de sucesso mesmo com algumas correções a serem feitas principalmente no sistema de purificação. Foi obtida a produção de biogás e biofertilizante. Para avaliar o tratamento dos resíduos orgânicos foi quantificado o volume de matéria orgânica decomposta. Além disso, foi realizada uma análise do custo-benefício do protótipo em relação ao salário-mínimo vigente para afirmar que é economicamente viável sua utilização, validando uma alternativa sustentável ao campus. O sistema de purificação precisa de melhores ajustes para a obtenção do biometano.

**Palavras-Chave:** Biometano; Composto Orgânico; Resíduo domiciliar; Resíduos Orgânicos e Tratamento Biológico.

## RESUMO

In Brazil, 200,000 tonnes of Urban Solid Waste (USW) were generated in the year 2019, and approximately 50% of all USW consists of organic waste. The majority of these organic residues are discarded without any reuse, with only about 2% undergoing any form of treatment. Considering the importance of treating this fraction with minimal energy expenditure, as well as the numerous benefits to the environment, this study focused on constructing a residential-scale biodigester to accommodate household organic waste. The biodigester not only managed domestic organic waste but also produced and utilized the by-products of microbial decomposition reactions within the reservoir, namely biogas and biofertiliser. To implement the project, it was necessary to collect organic waste from the Institutional Refectory of IFBA, Vitória da Conquista campus. These waste materials were then accommodated in the biodigester, and the resulting products of microbial decomposition reactions were successfully obtained. Despite some necessary corrections, particularly in the purification system, the project excelled in various aspects, and the achieved results were successful. The production of biogas and biofertiliser was accomplished. To assess the treatment of organic waste, the volume of decomposed organic matter was quantified. Furthermore, a cost-benefit analysis of the prototype was conducted in relation to the prevailing minimum wage to affirm the economic viability of its usage, thereby validating a sustainable alternative for the campus. The purification system requires further adjustments to achieve the production of biomethane.

**Keywords:** Biomethane; Organic Compound; Household Waste; Organic Waste; Biological Treatment.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Gráfico da caracterização dos componentes dos resíduos sólidos urbanos no Brasil .....	17
Figura 2 – Gráfico de como os países realizaram a disposição e tratamento de RSU de 2011-2017.....	18
Figura 3 – Processos da digestão anaeróbia .....	21
Figura 4 – Modelo de Biodigestor Indiano .....	23
Figura 5 – Modelo de Biodigestor Chinês .....	24
Figura 6 – Modelo de Biodigestor Canadense .....	25
Figura 7 – Modelo de Biodigestor batelada .....	26
Figura 8 – Localização de Vitória da Conquista .....	30
Figura 9 - Higienização da bombona de digestão .....	33
Figura 10 - Tubulações de entrada de biomassa e saída de biogás .....	33
Figura 11 - Tubulação de saída de chorume .....	34
Figura 12 - Tubulação de alimentação com tubo PVC para esgoto .....	34
Figura 13 - Registro de controle de fluxo de biogás .....	35
Figura 14 - Conexão da mangueira de fluxo de gás na bombona de purificação .....	35
Figura 15 - Fixação das roscas nas tampas da bombona de purificação .....	36
Figura 16 - Fixação das roscas nas tampas para acoplar mangueira de fluxo de gás.....	36
Figura 17 - Mangueira acoplada na tampa de saída de gás da bombona de purificação .....	37
Figura 18 - Registro de fluxo de gás acoplado na mangueira de fluxo.....	38
Figura 19 - Introdução de palhas de aço na tubulação de purificação de biogás .....	38
Figura 20 - Vedação da tubulação de purificação de biogás.....	39
Figura 21 - Protótipo montado sem câmara de armazenamento de biometano .....	39
Figura 22 - Acoplagem da câmara de ar na tubulação de purificação de gás .....	40
Figura 23 - Cascas de batata doce .....	41
Figura 24 - Cascas de cenoura.....	41
Figura 25 - Biodigestor completo.....	42
Figura 26 – Pico de enchimento da câmara de armazenamento de biometano.....	44
Figura 27 – Temperaturas registradas na cidade no período de retenção hidráulica .....	45
Figura 28 – Relação de temperatura e umidade do biodigestor .....	46
Figura 29 – Biofertilizante (Chorume) na fase líquida .....	47
Figura 30– Indicação da porcentagem de metano no detector na câmara de digestão.....	48

Figura 31 – Indicação da porcentagem de metano no detector na câmara de armazenamento	48
Figura 32 – Interior do sistema de purificação.....	49
Figura 33 – Solução alcalina saturada dentro do sistema de purificação.....	49
Figura 34 – Biomassa digerida.....	50
Figura 35 – Chorume armazenado para estudos posteriores.....	51

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Lista de materiais utilizados.....	31
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS**

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos

RO – Resíduos Orgânicos

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos

RU – Refeitório Universitário

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>14</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVO GERAL.....</b>	<b>16</b>
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	16
<b>3</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>17</b>
3.1	RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS.....	17
3.2	RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS .....	19
3.3	COMPOSTAGEM.....	19
3.4	DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	20
3.5	BIODIGESTORES .....	22
3.6	BIODIGESTOR INDIANO .....	22
3.7	BIODIGESTOR CHINES .....	23
3.8	BIODIGESTOR CANADENSE .....	24
3.9	BIODIGESTOR BATELADA .....	26
3.10	BIOMASSA.....	26
3.11	BIOGÁS .....	27
3.12	BIOFERTILIZANTE .....	28
3.13	PRINCIPAIS VARIÁVEIS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS.....	28
<b>4</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>30</b>
4.1	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO.....	30
4.2	MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR .....	31
4.3	MONTAGEM DO BIODIGESTOR .....	32
4.4	PREPARO DA BIOMASSA.....	40
4.5	FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR.....	42
<b>5</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>43</b>
5.1	MONTAGEM DO BIODIGESTOR .....	43
5.2	PRODUÇÃO DE BIOGÁS e Biofertilizante .....	43
5.3	AValiação DOS PRODUTOS DA DIGESTÃO ANAEROBIA .....	47
5.4	ANÁLISE DO CUSTO-BENEFÍCIO DO BIODIGESTOR.....	51
<b>6</b>	<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....</b>	<b>53</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>54</b>

## **1 INTRODUÇÃO**

Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL, 2020), cada brasileiro gerou em 2019, em média 0,99 kg de Resíduo Sólido Urbano (RSU) por dia, o que equivale a aproximadamente 200 mil toneladas por dia, ou 75 milhões de toneladas por ano, gerados em todo o território nacional. Atualmente, no Brasil, os resíduos orgânicos em sua grande parte são descartados sem qualquer tipo de reaproveitamento, eles são cerca de 50% de todo o RSU gerado (LANA e PROENÇA, 2021).

Na natureza, a degradação de materiais orgânicos ocorre naturalmente, reciclando nutrientes em ciclos como o do carbono e do nitrogênio, por exemplo, com a decomposição das folhas no solo. No entanto, quando materiais orgânicos provenientes de atividades humanas são descartados inadequadamente, isso pode resultar em graves problemas ambientais. Um exemplo é o descarte impróprio de resíduos urbanos em aterros sanitários, levando à emissão de gases de efeito estufa e à contaminação ambiental (MAGALHÃES, 2018). Portanto, a gestão responsável dos resíduos orgânicos humanos é essencial para mitigar impactos negativos e promover práticas sustentáveis.

A Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010 que institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), estabelece que apenas rejeitos, que são resíduos que não possuem mais possibilidade nenhuma de reaproveitamento ou reciclagem sejam destinados a aterros sanitários. Os resíduos orgânicos podem ser facilmente reciclados através de processos de compostagem ou com uso de biodigestores. Um dos princípios da PNRS é o reconhecimento do resíduo sólido reutilizável e reciclável como um bem econômico e de valor social, gerador de trabalho e renda e promotor de cidadania.

Conforme destacado por Santos (2020), a reutilização de resíduos orgânicos para a criação de produtos alternativos desempenha um papel significativo na promoção de práticas sustentáveis. Essa estratégia não se restringe apenas à agricultura, mas abrange também a gestão dos resíduos orgânicos domésticos. A reciclagem desses resíduos revela-se economicamente viável e eficaz do ponto de vista ambiental, pois reduz a pressão sobre os aterros sanitários e minimiza a necessidade de fertilizantes químicos. Portanto, essa abordagem não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também incentiva uma gestão responsável

dos recursos naturais, promovendo práticas sustentáveis que beneficiam tanto o ecossistema quanto a sociedade em geral.

O manejo inadequado de resíduos orgânicos, seja através de sua disposição em lixões ou aterros sanitários, pode acarretar graves impactos no meio ambiente. A decomposição desses resíduos gera chorume, um líquido poluente rico em matéria orgânica que pode contaminar o solo e os lençóis freáticos. Além disso, resulta na emissão de odores desagradáveis e de metano, um poderoso gás de efeito estufa que contribui para o aquecimento global. Esse cenário propicia a proliferação de vetores de doenças, incluindo roedores e insetos, representando um sério risco para a saúde pública (LIMA, 2017).

Em 2019, apenas 2% dos resíduos orgânicos foram compostados no Brasil, o que representou 300 mil toneladas de resíduos orgânicos reciclados. A maior parte ainda segue sendo disponibilizada para a coleta convencional e tem como destinação final aterros sanitários e lixões. A PNRS diz que compete aos municípios implementar sistemas de compostagem para resíduos orgânicos assim como viabilizar formas de utilização do composto produzido (LANA e PROENÇA, 2021). Logo, a implementação do projeto fortalecerá o gerenciamento dos resíduos orgânicos para a sociedade, a qual poderá desfrutar dos produtos oriundos das reações que acontecerão dentro do protótipo

Ao observar a lacuna existente na exploração dos resíduos orgânicos como fonte de energia e de adubo orgânico, notou-se a viabilidade em elaborar um protótipo de um biodigestor residencial com ênfase no reaproveitamento de ovos, frutas, verduras, legumes e suas cascas para a obtenção de biogás e biofertilizante. A pesquisa será desenvolvida no IFBA, campus de Vitória da Conquista, no Refeitório Universitário, que atende cerca de 215 estudantes e gera aproximadamente 85 kg de resíduos orgânicos diariamente.

Com um incentivo a mais que ratifica a importância do projeto, observou-se que este é pioneiro a abordar o reaproveitamento de resíduos orgânicos domiciliares na cidade de Vitória da Conquista, evitando assim descartes indevidos bem como a sua não reutilização.

## **2 OBJETIVO GERAL**

Desenvolver um protótipo de biodigestor residencial para tratamento de resíduos orgânicos domiciliares, geração de biogás e biofertilizante.

### **2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a viabilidade o tratamento dos resíduos orgânicos através do biodigestor;
- Verificar a viabilidade do sistema de purificação do biogás;
- Analisar o custo-benefício do equipamento de acordo ao salário mínimo vigente.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

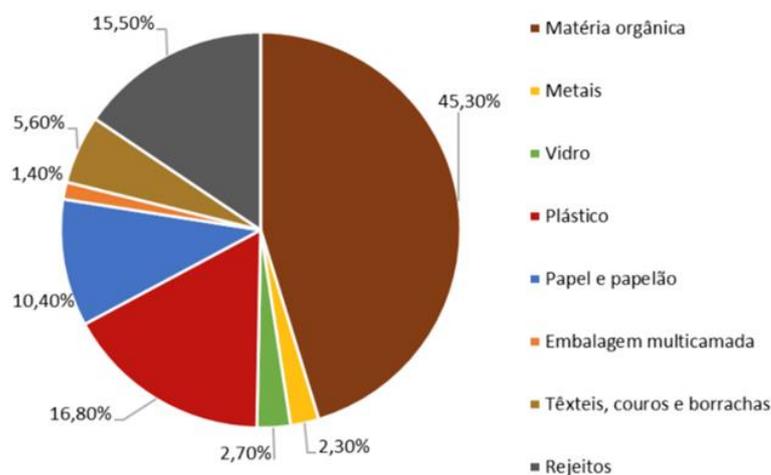
#### 3.1 RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Em meados do século XVIII, através da revolução industrial, as indústrias começaram a produzir intensamente objetos de consumo em larga escala e a introduzir inúmeras embalagens no mercado, deste modo aumentando consideravelmente o volume e a diversidade de resíduos gerados nas áreas urbanas. Arelado a este fato, o crescimento populacional contribuiu para o aumento da produção de resíduos e para a escassez de áreas para a disposição final deles, que ao serem destinados incorretamente contribuem para a poluição do solo, das águas e ar, ocasionando sérios problemas para o meio ambiente e a saúde da população (BITENCOURT,2013).

Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são aqueles originários de atividades domésticas em residências urbanas (resíduos domiciliares) e os originários da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana (resíduos de limpeza urbana).

A Lei nº 14.026/2020 (Novo Marco Legal do Saneamento), que estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico, em seu art. 3º-C diz que os resíduos originários de atividades comerciais, industriais e de serviços cuja responsabilidade pelo manejo não seja atribuída ao gerador pode, por decisão do poder público, ser considerado resíduo sólido urbano.

Figura 1 – Gráfico da caracterização dos componentes dos resíduos sólidos urbanos no Brasil

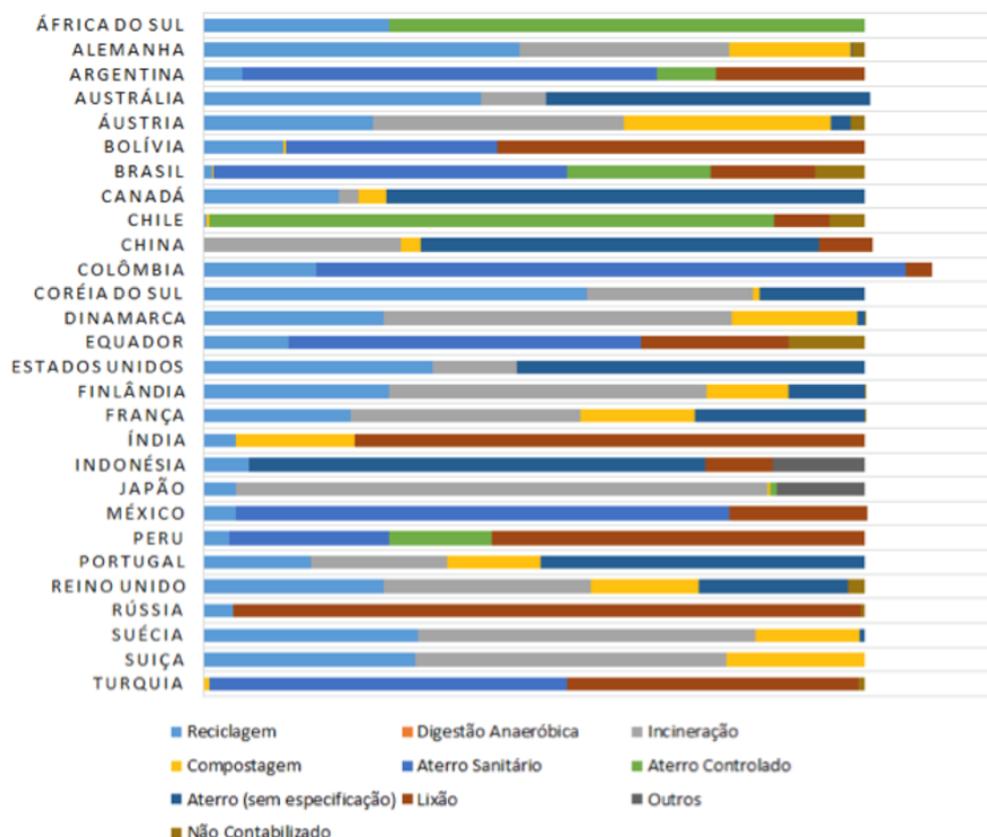


Fonte: ABRELPE (2020)

O Brasil com uma população superior aos 200 milhões de habitantes, é um dos países que mais gera RSU, cuja a destinação, de acordo com a legislação e as tecnologias disponíveis atualmente, deveria receber tratamento com soluções que sejam viáveis economicamente.

Porém o que acontece é o inverso, ainda são despejados a céu aberto, lançados na rede pública de esgotos ou até queimados (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2020).

Figura 2 – Gráfico de como os países realizaram a disposição e tratamento de RSU de 2011-2017



Fonte: World Bank (2018)

Através da crescente geração desse tipo de resíduo e das práticas de descarte estabelecidas, em conjunto ao alto custo de armazenagem, resultaram em volumes crescentes de RSU acumulados e, historicamente, em sérias problemáticas na área ambiental e da saúde pública nas cidades brasileiras. No decorrer dos anos, a destinação incorreta de RSU tem ocasionado diversos problemas ambientais, como, a contaminação de solos, cursos d'água e lençóis freáticos, além de favorecer o crescimento de doenças como dengue, leishmaniose, leptospirose e esquistossomose, entre outras, cujos vetores encontram nos lixões um ambiente favorável para sua disseminação (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2020).

### **3.2 RESÍDUOS SÓLIDOS ORGÂNICOS**

O resíduo orgânico (RO) é aquele que pode ser transformado em composto orgânico para virar adubo através de diversos processos, como por exemplo, a compostagem. Pode ser utilizado em hortas e jardins devido ao seu alto índice de nutrientes. É composto por todos os resíduos de origem animal ou vegetal como: restos de alimento, folhas, sementes, restos de carne, ossos, entre outros, que sofrem um processo de decomposição natural. Além do uso como adubo, o RO pode ser utilizado para a produção de combustíveis, através da biogásificação e em utilizados em usinas termoelétricas para a produção de energia (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2020).

No Brasil, metade dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é composta por resíduos orgânicos, seguidos pelos recicláveis secos (28%) e rejeitos (22%). Dada a relevância do volume dos resíduos orgânicos, é crucial garantir sua destinação adequada ou buscar maneiras de reutilização. Embora os materiais orgânicos se decomponham naturalmente no ambiente, reciclando nutrientes, como ocorre com as folhas caídas das árvores, quando provenientes de atividades humanas, podem se tornar um sério problema ambiental se não forem tratados e dispostos corretamente (LANA e PROENÇA, 2021).

A disposição inadequada de resíduos orgânicos, seja em lixões ou aterros sanitários, causa uma série de danos ambientais. Segundo Silva (2016), isso envolve a produção de chorume, um líquido altamente poluente com um teor significativo de matéria orgânica, que tem o potencial de poluir o solo e contaminar as águas subterrâneas. Adicionalmente, a disposição inadequada desses resíduos provoca a propagação de odores desagradáveis, fomenta a proliferação de agentes causadores de doenças e desencadeia a emissão de metano, um relevante gás de efeito estufa vinculado ao processo de aquecimento global.

O tratamento da fração orgânica dos RSU mais utilizados atualmente no mundo são a compostagem e a digestão anaeróbia. A compostagem transforma a matéria orgânica encontrada no lixo em adubo natural, este pode ser usado na agricultura, em jardins e plantas, substituindo o uso de produtos químicos (MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO, 2020). A digestão anaeróbia é um processo de degradação da matéria orgânica por microrganismos sem a presença de oxigênio que produz biogás e biofertilizante (USP, 2022).

### **3.3 COMPOSTAGEM**

Trata-se de um processo eficaz e econômico para o tratamento de resíduos orgânicos (RO), sejam eles domésticos, industriais e agropecuários em fertilizantes. É um processo de

decomposição microbiológica que reduz o volume e estabiliza a matéria orgânica ao evitar a sua disposição em aterros (HEBERTS; MILETTI, 2005).

O processo se dá ao fazer pilhas ou leiras, o que dependerá de onde está sendo feita a compostagem, se vai ser em composteira ou aterramento, com a mistura de restos de alimentos, frutas, folhas, esterco, dentre outros. O processo como o todo pode durar até 4 meses, isso irá depender da temperatura, umidade, quantidade e do material utilizado. Ao final, se obtém um adubo orgânico homogêneo, de cor escura, estável, solto, para que possa ser usado em qualquer cultura, sem causar qualquer dano a planta ou ao solo, este por sinal tem melhoria em suas propriedades físicas, químicas e biológicas (NAZARO, 2016).

As vantagens em se adotar a compostagem para a acomodação de RO são muitas como, a formação de húmus (adubo orgânico), redução do resíduo destinado ao aterro, reciclagem de nutrientes no solo, eliminação de patógenos durante o processo e economia no tratamento de efluentes. Em contrapartida, o processo requer grandes áreas para sua aplicação, o que o torna inviável para grandes volumes de resíduos (WANGEN; FREITAS, 2010).

### **3.4 DIGESTÃO ANAERÓBIA**

O tratamento da fração orgânica dos resíduos sólidos no Brasil quando acontece, geralmente usa-se a compostagem. A digestão anaeróbia não possui tal destaque por conta da falta de conhecimento sobre suas técnicas, uso e mitigações. É um processo metabólico complexo que requer condições anaeróbias, ou seja, sem a presença de oxigênio, e depende da atividade conjunta de uma série de microrganismos para transformar o material orgânico em metano, dióxido de carbono e um resíduo com alto potencial de fertilizante. O processo se divide em 4 fases, que são realizadas por microrganismos diferentes e pode requerer diferentes condições ambientais. As fases do processo são: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

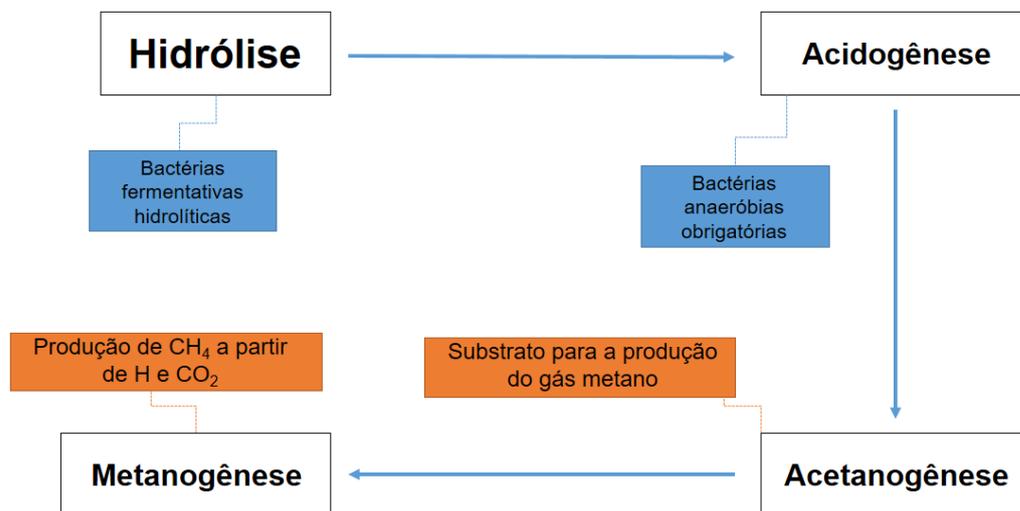
**Hidrólise:** A etapa inicial da digestão anaeróbia, conhecida como hidrólise, é conduzida pelas exoenzimas liberadas pelas bactérias fermentativas hidrolíticas. Essa fase envolve a quebra de compostos orgânicos complexos, como carboidratos, proteínas e lipídios, em componentes mais simples e solúveis, incluindo açúcares, aminoácidos e ácidos graxos de cadeia longa, que podem ser facilmente assimilados pelos microrganismos. Vale destacar que a hidrólise pode ser a etapa mais lenta do processo global da digestão anaeróbia, influenciada por fatores como tempo de retenção, temperatura, pH e a distribuição de partículas. No entanto, é possível acelerar essa fase de degradação anaeróbia por meio da introdução de compostos químicos, o que pode resultar em um aumento da produção de metano (SOARES, 2018).

**Acidogênese:** Nesse estágio, os produtos solúveis resultantes da hidrólise passam por processos de metabolismo no interior das células microbianas, especificamente pelas bactérias acidogênicas. Isso culmina na formação de componentes intermediários, incluindo ácidos graxos voláteis e álcoois, além de estimular a proliferação de novas células microbianas (LOPES, 2022).

**Acetogênese:** As bactérias acetanogênicas desempenham um papel crucial na transformação dos produtos da etapa anterior em substratos adequados para as bactérias metanogênicas. Elas fazem parte de um grupo intermediário no metabolismo anaeróbico, gerando hidrogênio, dióxido de carbono e acetato como produtos. No entanto, somente o acetato e o hidrogênio podem ser diretamente utilizados pelas bactérias metanogênicas (RECH, 2008).

**Metanogênese:** Última etapa da digestão anaeróbia, esta ocorre rigorosamente sem a presença de oxigênio e as reações são exotérmicas, através das arqueas metanogênicas ocorre a produção de metano e dióxido de carbono devido a conversão do carbono contido na biomassa. As arqueas metanogênicas são divididas de acordo com suas vias metabólicas em acetoclástica que convertem acetato a metano e hidrogenotróficas que convertem hidrogênio e dióxido de carbono a metano (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022).

Figura 3 – Processos da digestão anaeróbia



Fonte: Autoria Própria (2022)

### **3.5 BIODIGESTORES**

Há bastante tempo o biodigestor é utilizado para o aproveitamento e tratamento de resíduos, produção de biofertilizante e geração de energia (DE AZEVEDO FRIGO, 2015). A Índia foi o primeiro país a construir biodigestores em grande escala, sendo a primeira unidade montada em 1908 (ARAÚJO, 2017).

O biodigestor anaeróbico é um reator fechado onde é feita a degradação da matéria orgânica por ação de microrganismo, que geralmente conta com um sistema para entrada de matéria orgânica, um tanque onde ocorre as reações de digestão anaeróbia e um mecanismo para retirada de subprodutos, como o biogás e o biofertilizante (REIS, 2012).

O Governo Federal do Brasil, no ano de 2022, lançou medidas para incentivar a produção e o uso sustentável do biometano, resultado da purificação do biogás através de biodigestores, foram assinados decretos e portarias, com intuito de fomentar o uso do biometano como fonte energética renovável e ambientalmente sustentável ao contribuir para a redução de resíduos e emissão de gases de efeito estufa, além de aumentar a segurança energética e levar energia limpa para diferentes localidades. O decreto tem como objetivo incentivar o mercado de carbono, promover a implantação de biodigestores e sistemas para purificar o biogás e transformá-lo em biometano. (GOVERNO FEDERAL DO BRASIL, 2022).

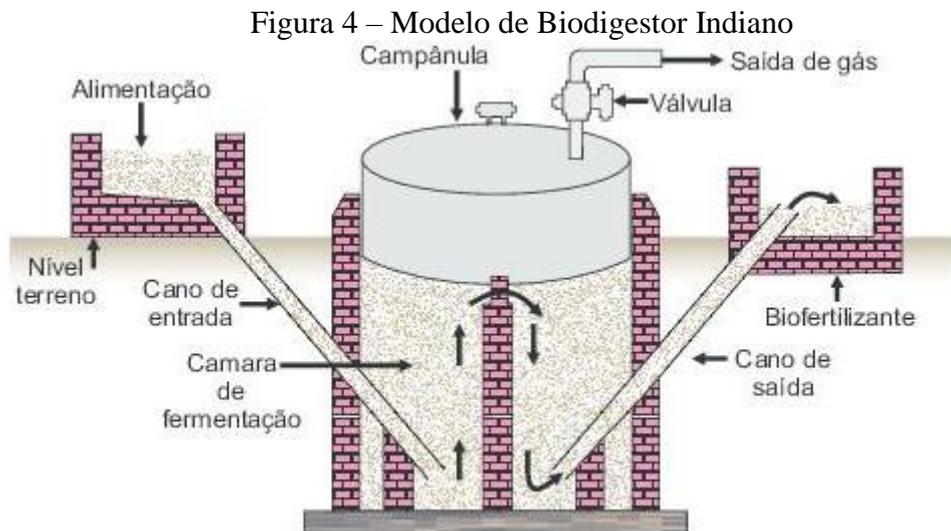
Entre as vantagens da utilização de biodigestores para o processamento de biomassa algumas se destacam, como, a possibilidade de aproveitamento energético do gás metano como combustível, consumo de energia pequeno para operação do processo, geração de biofertilizante para diversos usos, menor emissões de gases de efeito estufa, tratamento de resíduos para diminuir a carga orgânica. As principais desvantagens se relacionam com as mudanças das condições ambientais, o que torna o processo sensível a esse quesito (NAZARO, 2016).

A classificação dos biodigestores se dá de acordo ao seu abastecimento, sejam eles contínuos ou batelada. Os modelos contínuos são construídos para que o abastecimento aconteça diariamente, ou seja, ao mesmo tempo que há a entrada de resíduos orgânicos, exista a saída do resíduo já tratado. Nos modelos de batelada funcionam com o abastecimento único, a matéria orgânica só será substituída após o período adequado de digestão de toda biomassa, somente após isso será lavado e reiniciado o processo (DE AZEVEDO FRIGO, 2015).

### **3.6 BIODIGESTOR INDIANO**

Caracteriza-se por possuir uma campânula metálica que é um tipo de tampa conhecida como gasômetro, esta pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação ou selada

externamente por água. Em sua estrutura existe uma parede central que tem a função de dividir o tanque onde ocorre a fermentação em duas câmaras para que a biomassa circule pelo interior da câmara de fermentação (DE AZEVEDO, 2015).



Fonte: EMAS Jr. Consultoria (2020)

Para a alimentação deste modelo que geralmente se dá por dejetos bovinos ou suínos o abastecimento deve ser contínuo. A biomassa não pode ter um percentual de concentração de resíduos sólidos maior do que 8%, devido a necessidade de circulação do material no interior da câmara de fermentação para que não haja obstrução dos canos de entrada e saída (DONGOLA, 2010).

O biodigestor indiano tem por característica possuir pressão de operação constante, o que significa que o volume do biogás produzido não é consumido de forma imediata, isso faz com que o gasômetro se desloque verticalmente para manter a pressão interior e aumentando o volume do gás fermentação (DE AZEVEDO FRIGO, 2015).

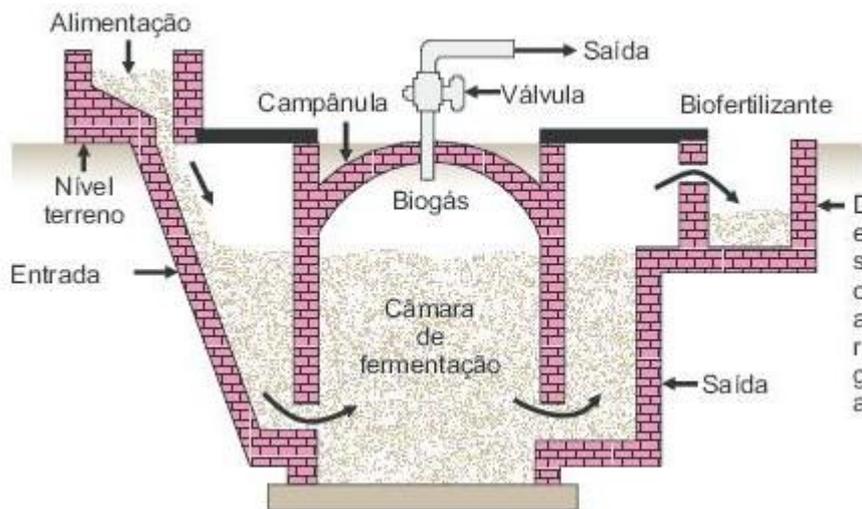
Este modelo em relação ao modelo chinês possui grande vantagem devido a sua fácil adaptação ao clima e o solo da localidade, por não possuir a necessidade do estabelecimento de medidas fixas para a profundidade e o diâmetro, é preciso se atentar apenas ao fato da capacidade do tanque digestor e da campânula metálica (DONGOLA, 2010).

### 3.7 BIODIGESTOR CHINES

O biodigestor modelo chinês foi concebido com foco nas pequenas propriedades rurais, apresentando um design de peça única, predominantemente construído com alvenaria e instalado abaixo do solo. Sua construção é mais econômica em comparação com o modelo

indiano devido à utilização de alvenaria na confecção do gasômetro. Essa estrutura consiste em uma câmara cilíndrica em alvenaria com um teto abobadado projetado para armazenar o biogás. O teto precisa ser hermeticamente selado para evitar rachaduras na cúpula e, conseqüentemente, a perda de gás. Além disso, o modelo compreende uma caixa de entrada para a biomassa e uma caixa de saída, parcialmente enterrada no solo (BARROS, 2021).

Figura 5 – Modelo de Biodigestor Chinês



Fonte: EMAS Jr. Consultoria (2020)

Em semelhança ao modelo indiano, o modelo chinês também requer que a concentração da biomassa em resíduos sólidos totais não ultrapasse o percentual de 8%, para que não existam entupimentos nos sistemas de entrada e saídas e facilitar a circulação do material (DE AZEVEDO FRIGO, 2015).

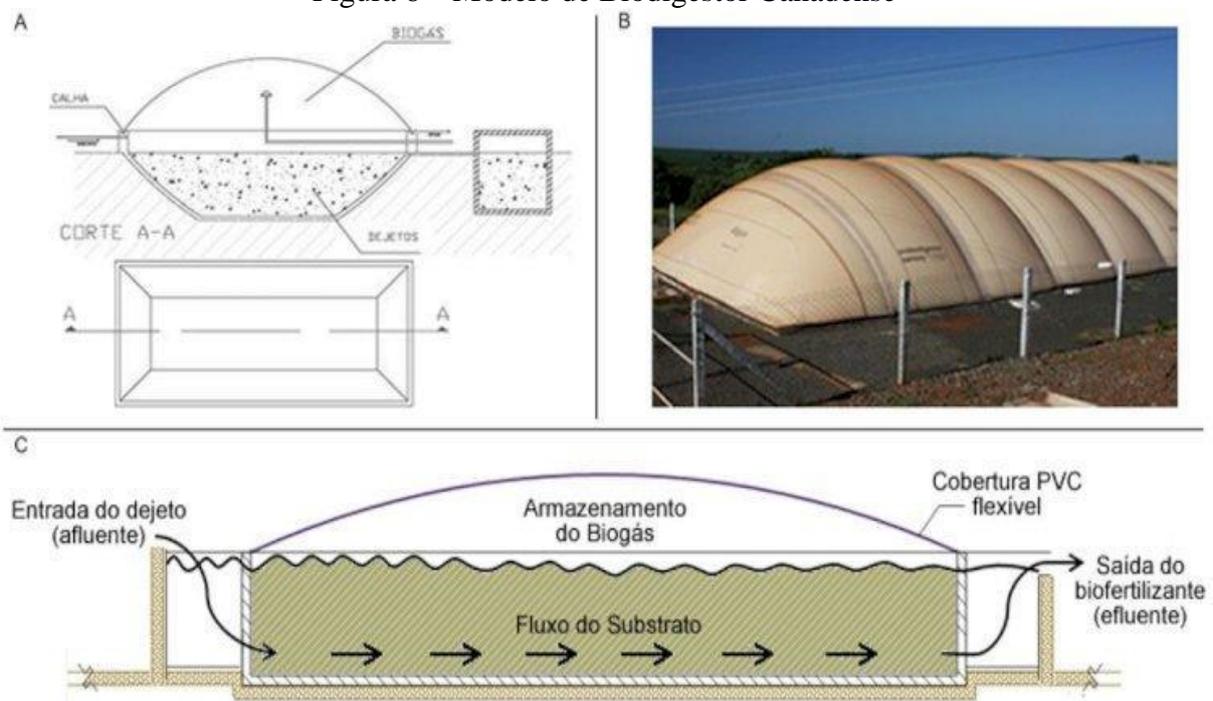
O funcionamento deste modelo geralmente se dá com alta pressão, que varia de acordo com a produção e consumo do biogás, logo é necessário que exista uma câmara de regulação que permita trabalhar com baixa pressão. Este modelo chinês apresenta uma desvantagem devido a uma parcela de gás que se forma no sistema de saída escapar para a atmosfera, isso reduz parcialmente a pressão interna do gás. Por conta dessa característica este biodigestor não é utilizado para instalações de grande porte (DE AZEVEDO FRIGO, 2015).

### 3.8 BIODIGESTOR CANADENSE

O biodigestor canadense desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970 incorpora uma tecnologia mais atual, apesar de sua construção simples. Esse sistema inclui uma câmara de digestão enterrada no solo e um gasômetro inflável feito de materiais plásticos ou similares.

Sua configuração é horizontal, incluindo uma caixa de entrada de alvenaria. Conforme o biogás é gerado, a cúpula de plástico flexível se expande, permitindo a acumulação do biogás, ou a transferência para um gasômetro separado para um controle operacional mais preciso. Comparado ao modelo indiano, o biodigestor da Marinha tem a vantagem de poder acomodar uma grande quantidade de resíduos. Em comparação com o modelo chinês, a principal vantagem reside no fato de que o biodigestor canadense é menos suscetível a rachaduras e danos estruturais devido às características do solo brasileiro, que passa por significativas variações, reduzindo a perda de gás e a necessidade de manutenção e monitoramento constantes. (ARAÚJO, 2017).

Figura 6 – Modelo de Biodigestor Canadense



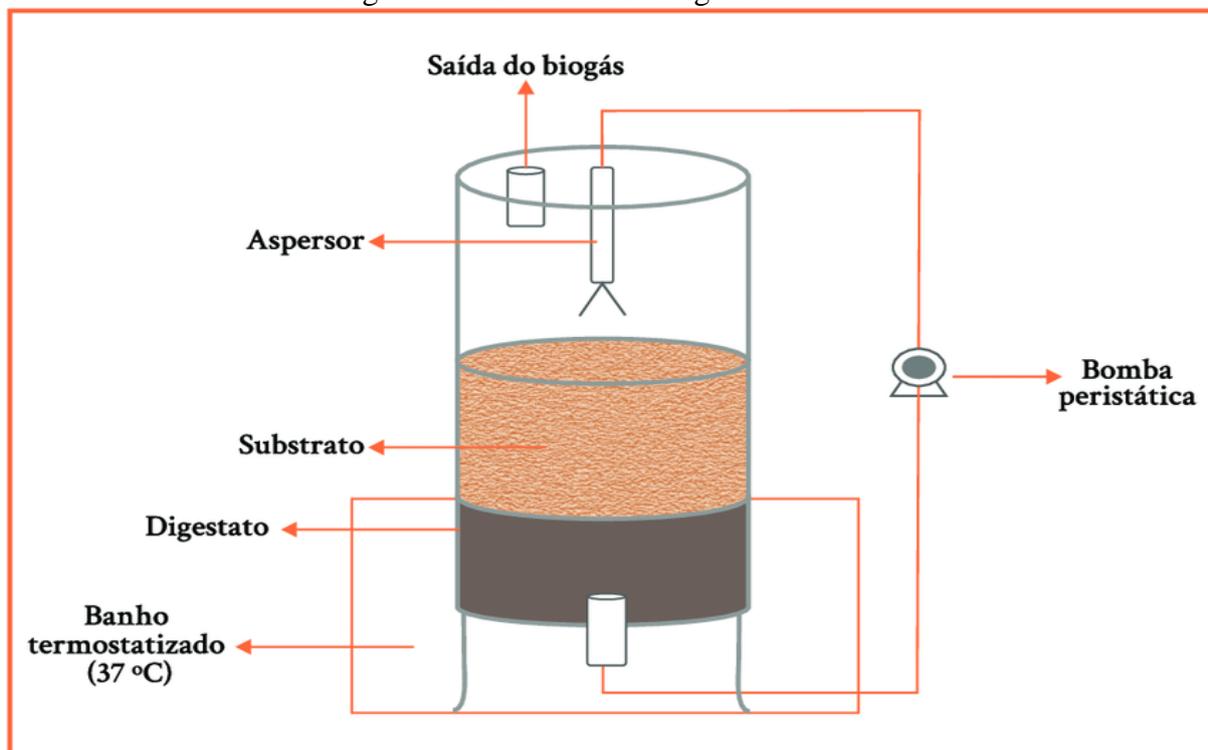
Fonte: DE LIMA (2011)

O local da instalação deve ser muito bem avaliado para que haja o menor risco possível da lona de plástico ser acometida com furos e proporcionar a vazamento de gás. O modelo canadense funciona de forma contínua ou batelada e precisa ser totalmente vedado, atualmente é o modelo mais difundido no Brasil, ele possui a vantagem de ser utilizado em diversas escalas pequenas ou grandes (DE AZEVEDO FRIGO, 2015).

### 3.9 BIODIGESTOR BATELADA

É um modelo mais simples que os anteriores por ser um sistema de pequena exigência no quesito de operação. Pode ser utilizado apenas um tanque anaeróbio ou mais de um em série. Este modelo é abastecido de forma única, onde mantém o material por um determinado período para a produção de biogás e biofertilizante de acordo ao substrato utilizado como biomassa, e posteriormente a produção é descarregada para ser lavada e reutilizada. É um modelo recomendado para instalações em que a disponibilidade de matéria orgânica ocorre por longos períodos, permitindo que após a conclusão da produção de biogás, inicie novo processo (DE AZEVEDO FRIGO, 2015).

Figura 7 – Modelo de Biodigestor batelada



Fonte: (KUNZ; STEINMETZ; AMARAL, 2022)

### 3.10 BIOMASSA

A biomassa, proveniente de organismos vivos, pode ser orgânica ou não. Ela inclui resíduos animais, como esterco, lodo e papel, que contêm compostos orgânicos e não orgânicos. A geração de energia a partir da biomassa é uma solução recomendada para a crise energética global, possibilitando a produção de diversos tipos de combustíveis. A pesquisa e desenvolvimento de tecnologias para energia renovável a partir da biomassa estão em ascensão,

refletindo o aumento da demanda por fontes de energia sustentáveis (SEABRA JÚNIOR, 2022).

A biomassa abrange uma ampla variedade de materiais, com algumas formas sendo resistentes à degradação, enquanto outras proporcionam condições ideais para a decomposição. Neste projeto, a matéria-prima escolhida para a biomassa consiste em resíduos orgânicos domésticos, visando a produção de biogás e biofertilizante.

A quantidade inicial de dióxido de carbono é superior à de metano nas primeiras semanas, mas essa relação se equilibra ao longo do tempo. A produção de biogás a partir de resíduos alimentares está condicionada à relação C/N presente nos dejetos, além das condições disponíveis para o crescimento microbiano em cada deposição. Por essa razão, muitos biodigestores de alimentação intermitente são concebidos para reter a biomassa no tanque digestor por cerca de trinta dias (WAPPLER, 2022).

### **3.11 BIOGÁS**

O biogás é uma mistura de gases, cuja composição varia de acordo com as características dos resíduos e as condições de operação do processo de digestão. Os principais componentes do biogás incluem o metano e o dióxido de carbono. Sua produção ocorre dentro de um biodigestor, que abriga a biomassa e proporciona um ambiente propício para a atividade de várias bactérias anaeróbias responsáveis pela degradação do substrato (MORAIS, 2022).

A composição principal do biogás geralmente varia dentro da faixa de 50% a 80% de metano ( $\text{CH}_4$ ) e de 20% a 40% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ). Além disso, é comum encontrar cerca de 1% a 3% de hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), de 0,3% a 0,5% de nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) e de 1% a 5% de gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), junto com outros gases presentes em proporções menores (SEABRA JÚNIOR, 2022).

Zanette (2009) enfatiza que, devido à sua versatilidade, o biogás pode ser empregado em diversas esferas, englobando desde aquecimento e geração de eletricidade até sua utilização como combustível veicular e injeção na rede de gás natural. No entanto, a adaptação do biogás para diferentes usos pode ser que necessite de tratamento, visto que os requisitos variam consideravelmente. Em nações em desenvolvimento, o biogás frequentemente encontra aplicação em pequenas instalações para cocção e iluminação.

Zanette (2009) ainda elucida a importância do tratamento do biogás e o justifica por três razões essenciais: a necessidade de adequar o gás às especificações exigidas por diferentes aplicações, como geradores, caldeiras e veículos; o aprimoramento do poder calorífico do biogás; e a padronização do gás produzido. Em muitos casos, é fundamental melhorar a

qualidade do biogás para atender a critérios específicos. Os principais parâmetros que podem requerer remoção em um sistema de tratamento incluem o H<sub>2</sub>S, a água, o CO<sub>2</sub> e compostos halogenados.

### **3.12 BIOFERTILIZANTE**

A produção do biofertilizante acontece quando há a perda de carbono na forma de dióxido de carbono e metano pelo afluente ao passar pelo biodigestor, isso faz com que para fins agrícolas o material tenha aumentada a solubilidade alguns nutrientes que são favoráveis a fertilização do solo. Após a digestão anaeróbia do substrato de origem animal ou vegetal, o resultado do processo em biofertilizante se dá em duas fases, uma sólida e outra líquida, a sólida é utilizada com adubo orgânico, a líquida utilizada como adubo foliar para controle de doenças e pragas. Ele ainda pode ser obtido por via aeróbia com as mesmas finalidades (MORAIS, 2022).

O biofertilizante apresenta uma composição média que varia de 1,5% a 4,0% de nitrogênio, 1,0% a 5,0% de fósforo e 0,5% a 3,0% de potássio. Além disso, contém diversos micronutrientes, como zinco, manganês, cobre, ferro, boro, cálcio, enxofre, magnésio e molibdênio, o que possibilita sua utilização como suplemento ou até mesmo como alternativa à substituição dos fertilizantes nitrogenados químicos. O pH do biofertilizante varia entre 7,0 e 8,0, geralmente situando-se em torno de 7,5, o que o torna levemente alcalino. Essa faixa de pH propicia o desenvolvimento de micro-organismos no solo, contribuindo para a restauração e o equilíbrio do pH do mesmo (DE LIRA, 2021).

De Lira (2021) e Morais (2022) convergem acerca do biofertilizante ser isento de microrganismos patogênicos e, no solo, favorecer a fixação de nitrogênio pelas bactérias, o que resulta em maior produtividade e fertilidade no solo. Além disso, contribui para o aumento do teor de substâncias húmicas no solo, aprimorando suas propriedades físicas e químicas, impulsionando a atividade microbiana do solo. Pode ser aplicado em suas duas formas, líquida ou sólida. Também fornece macro e micronutrientes essenciais para as plantas, incluindo nitrogênio, fósforo, potássio, cálcio, magnésio, enxofre, sódio, ferro, cloro, sílica, molibdênio, boro, cobre, zinco e manganês.

### **3.13 PRINCIPAIS VARIÁVEIS NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS**

A produção de biogás e biofertilizante em um biodigestor é influenciada por várias variáveis. Algumas das principais variáveis que afetam esse processo incluem:

Temperatura: a proliferação das bactérias metanogênicas se dá devido a influência da temperatura, que podem ser divididas em faixas, que são elas, psicrófila (temperaturas mais baixas, menor que 20°C), mesófila (temperaturas medianas, entre 20°C e 45°C) e termófila (temperaturas mais altas, entre 40°C e 70°C).

Tipo de resíduos: A composição e a qualidade dos resíduos orgânicos alimentados no biodigestor têm um impacto direto na produção de biogás e biofertilizante. Resíduos ricos em carbono e nutrientes tendem a resultar em melhores rendimentos.

Relação Carbono/Nitrogênio: Uma relação adequada entre carbono e nitrogênio é importante para a atividade microbiana ideal. Uma relação C/N inadequada pode retardar o processo de decomposição e impactar negativamente a produção de biogás. Metz (2013), diz que vegetais são excelente matéria-prima, devido ao alto teor de carboidratos, o que torna uma fonte rica em carbono, que é utilizado com fonte de energia para as bactérias e o nitrogênio utilizado para a construção das estruturas celulares.

Tempo de retenção: é o tempo em que o resíduo orgânico permanece no interior do biodigestor, conforme Metz (2013), é recomendado tempos de retenção na faixa de 4 a 60 dias.

pH: O pH é suma importância, Segundo Gómez-Camperos (2022), é ideal que se mantenha entre 6,8 e 7,5, ambientes ácidos provocam a morte das bactérias metanogênicas.

Umidade: a umidade desempenha papel fundamental no funcionamento eficiente de um biodigestor, ela afeta vários aspectos do processo de digestão anaeróbica e, portanto, pode influenciar significativamente o desempenho do biodigestor e a produção de biogás e biofertilizante.

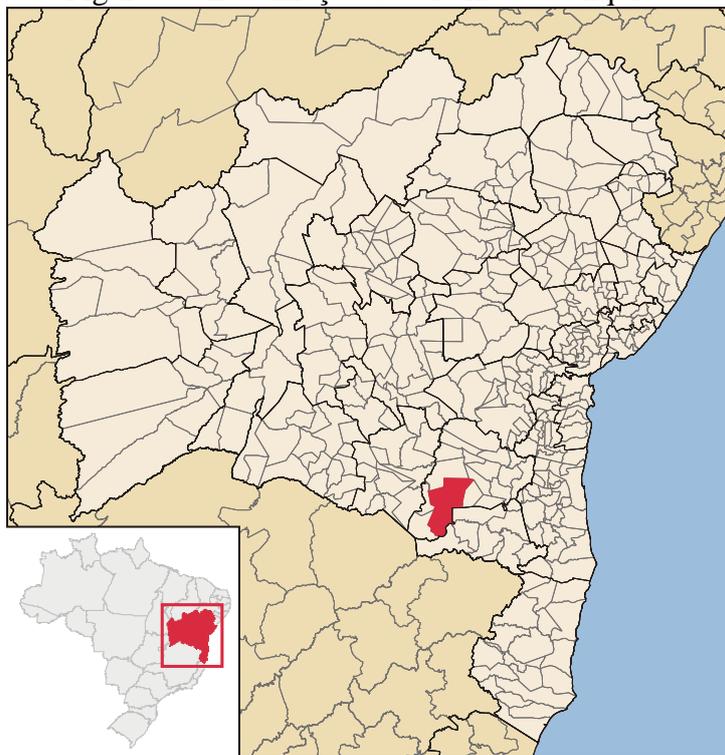
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

Neste Capítulo foram apresentados os materiais e aspectos envolvidos como método quali-quantitativo. Inicialmente, foi realizada a revisão bibliográfica que definiu as bases para a construção do protótipo, para o tratamento de resíduos orgânicos domiciliares através da digestão anaeróbia de alimentação contínua.

### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

Vitória da Conquista, localizada na região sudoeste do estado da Bahia, destaca-se como um município de significativa importância no cenário interiorano brasileiro. Com uma população estimada em mais de 370 mil habitantes, conforme o Censo 2022 do IBGE, é um dos principais centros urbanos da região.

Figura 8 – Localização de Vitória da Conquista



Fonte: Google Images

O clima predominante em Vitória da Conquista é classificado como tropical de altitude, caracterizado por temperaturas amenas em comparação com outras áreas da Bahia. Os verões são quentes e úmidos, contrastando com invernos mais amenos e secos. Esse cenário climático diversificado proporciona uma amplitude térmica ao longo do ano, conferindo à cidade um ambiente agradável para seus habitantes.

A vegetação local é diversificada, compreendendo áreas de Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. Essa mistura de biomas é uma característica marcante da região, que mescla paisagens naturais, áreas de cultivo agrícola e espaços urbanizados. A topografia de Vitória da Conquista é caracterizada por uma região montanhosa, com altitudes variando entre 800 e 1.000 metros acima do nível do mar, conferindo à cidade belas paisagens e um clima mais ameno.

Do ponto de vista econômico, a cidade apresenta uma economia diversificada. Destaca-se na produção agrícola, com cultivos de café, frutas e hortaliças. Além disso, o comércio e os serviços são pilares essenciais para a dinâmica econômica local, impulsionados também pela presença de instituições de ensino superior que contribuem significativamente para a economia da região.

O experimento aconteceu no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia, Campus Vitória da Conquista, por ser um importante centro de desenvolvimento de pesquisa da região Sudoeste da Bahia, onde são disponibilizados os cursos de graduação em Engenharia Ambiental, Civil e Elétrica, além dos cursos de Licenciatura em Químicas e Bacharelado em Sistema de Informação, conta ainda com ensino médio técnico com extensa variedade de cursos, o campus de Vitória da Conquista atende cerca de 2 mil discentes. Para a coleta e armazenamento de resíduos orgânicos, o trabalho contou com o auxílio do Refeitório Universitário do Campus que forneceu a biomassa para o biodigestor. O local escolhido foi um espaço coberto na lateral de um dos blocos do campus, por ser um espaço mais isolado do fluxo de pessoas, além de estar protegido da incidência de chuva e alta radiação solar.

#### 4.2 MATERIAIS PARA CONSTRUÇÃO DO BIODIGESTOR

Para início foi montada uma lista de materiais para a construção do projeto, e orçada em várias lojas de materiais de construção para que pudesse se adequar melhor a uma das propostas que é a viabilidade do projeto em relação ao salário mínimo. A Tabela 1 descreve quais materiais e o seu custo em relação a construção.

Tabela 1 – Lista de materiais utilizados

Materiais	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Bombona de plástico 200 L	2	120,00	240
Tubo de esgoto de PVC 100mm	1,5m	40,00	60
Cap tampão para cano 100mm	1	10,55	10,55
Tubo de PVC 40mm	2m	22,00	44

Flange PVC 40mm	1	35,00	35
Tela de retenção 20x20	2	0,00	0
Torneira de metal com 90° de ângulo	2	35,00	70
Luva PVC de ½ polegada	3	2,00	6
Tubo de veda calha	1	27,50	27,50
Roscas niples PVC de ½ polegada	6	1,00	6
Cal	5 Kg	8,00	40
Mangueira de gás	5m	12,00	60
Água	50L	0,00	0
Cap tampão 40mm	1	3,00	3
Luva PVC cola/rosca 40mm	1	4,00	4
Cap tampão rosca 40mm	1	4,00	4
Pacote de palha de aço	10	1,50	15
Câmara de ar de pneu de trator	1	100	100
Registro de gás	2	60,00	120
Registro esfera cromado	2	35,00	70
Braçadeiras de metal	20	1,00	20
Custo Total			935,05

Fonte: Autoria Própria (2023)

### 4.3 MONTAGEM DO BIODIGESTOR

Inicialmente o processo de montagem do reservatório que acomodou os resíduos orgânicos vegetais do Refeitório Universitário (RU), se deu com a aquisição dos materiais de acordo a metodologia de protótipo adotada por WAPPLER (2022) com ajustes para melhor formatação e desenvolvimento da pesquisa científica. Foram adquiridas duas bombonas de 200 litros, uma para acomodação da biomassa, e a outra para a solução de água e cal para o processo de purificação do biogás para biometano. Foram utilizados componentes hidráulicos, controladores de vazão, tanto para líquido quanto para gás, conforme a tabela 1 da seção anterior. O primeiro passo foi higienizar as duas bombonas adquiridas, posterior a isso, foi iniciado o processo de furação para introdução dos tubos de alimentação e saída de biogás e biofertilizante. Foram feitos dois furos na parte superior da bombona de armazenamento da biomassa (um na tampa e outro próximo a ela), a bombona de purificação não foi necessário

furos no corpo dela, apenas nas tampas para acoplar mangueiras e roscas niples, conforme descreve as figuras 9 e 10.

Figura 9 – Higienização da bombona de digestão



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 10 – Tubulações de entrada de biomassa e saída de biogás



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Posteriormente foi acoplado o flange de acordo ao diâmetro do furo da parte inferior do tanque, foi adicionada uma tela para que essa retivesse os resíduos sólidos no reservatório e o chorume escoasse de forma mais líquida possível, conforme indica a figura 11.

Figura 11 – Tubulação de saída de chorume



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Para montar o sistema de alimentação foi inserido uma seção de tubo PVC para esgoto de 100mm no flange da tubulação de entrada que foi acoplado na tampa da bombona, seguidamente foi acoplado o registro, depois conectado um cap para vedar a tubulação onde foram inseridos os resíduos orgânicos. Este conceito inicial baseia-se um pouco no modelo chinês, a figura 12 indica parte do processo de montagem.

Figura 12 – Tubulação de alimentação com tubo PVC para esgoto



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Através do furo no topo da bombona próximo a tampa, foi inserido um registro esfera cromado e acoplada uma luva PVC com rosca de ½ polegada para o encaixe perfeito da mangueira de fluxo de biogás, essa mangueira foi fixada com braçadeira de metal para evitar vazamentos, conforme mostram as figuras 13 e 14.

Figura 13 – Registro de controle de fluxo de biogás



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 14 – Conexão da mangueira de fluxo de gás na bombona de purificação



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Após finalizar o processo de montagem da primeira bombona, partiu-se para a construção do reservatório de purificação do biogás, foram feitos os furos nas tampas e introduziu parte da mangueira de saídas de biogás do reservatório de biomassa no interior do purificador, utilizou-se roscas niples e abraçadeiras de metal para fixação e vedação, as figuras 15 e 16 retratam o processo.

Figura 15 – Fixação das roscas nas tampas da bombona de purificação



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 16 – Fixação das roscas nas tampas para acoplar mangueira de fluxo de gás



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Para que pudesse finalizar o processo de montagem do purificador, foi adicionado de forma homogeneizada, 5 kg de cal virgem e 25 litros de água no interior do reservatório, depois acoplados mais uma rosca niple e conectada a mangueira de fluxo de biogás para a tubulação de PVC de 40mm, essa nova tubulação é a segunda parte do processo de purificação do biogás para biometano, foi palha de aço que foi inserida com objetivo de reagir com o gás sulfídrico, para a oxidação do mesmo, e prosseguir com o fluxo apenas com o metano. A mangueira de fluxo de biogás foi partida ao meio para que pudesse ser adicionado um registro de metal para gás, indicado através da figura 17 e 18. para facilitar caso fosse necessário o processo de troca das palhas de aço inseridas na tubulação de PVC , conforme a figura 19. A equação 1, indica a reação de oxidação do CO<sub>2</sub>, através da solução alcalina, entre a cal e a água.

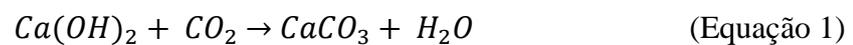


Figura 17 – Mangueira acoplada na tampa de saída de gás da bombona de purificação



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 18 – Registro de fluxo de gás acoplado na mangueira de fluxo



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Para facilitar caso fosse necessário o processo de troca das palhas de aço inseridas na tubulação de PVC , conforme a figura 19. A equação 1, indica a reação de oxidação do  $CO_2$ , através da solução alcalina, entre a cal e a água.

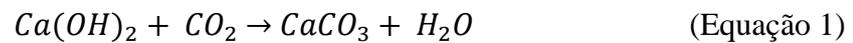


Figura 19 – Introdução de palhas de aço na tubulação de purificação de biogás



Fonte: Aatoria Própria (2023)

O processo final de montagem se deu após inseridas as palhas de aço, e vedação dessa tubulação, além da conexão da mangueira de fluxo de gás para a câmara de ar de pneu de trator, que foi utilizada como reservatório de armazenamento de biometano, processo indicado na figura 20.

Figura 20 – Vedação da tubulação de purificação de biogás



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 21 – Protótipo montado sem câmara de armazenamento de biometano



Fonte: Autoria Própria (2023)

Na câmara foi acoplado no pito, um registro cromado para a passagem de biometano para a mangueira de seguimento de fluxo de biogás, que foi partida ao meio e acoplado mais um registro de metal para gás, que serviu de controlador de fluxo para o queimador. Para que fosse evitado vazamento, em todas as conexões, tubos e furos, utilizou-se de veda calha e silicone para vedar bem os componentes hidráulicos, controladores de fluxo e conexões, a figura 22 mostra o resultado o processo.

Figura 22 – Acoplagem da câmara de ar na tubulação de purificação de gás



Fonte: Aatoria Própria (2023)

#### 4.4 PREPARO DA BIOMASSA

A matéria orgânica utilizada no biodigestor foi oriunda dos resíduos orgânicos do RU. Foi calculada a quantidade fornecida de resíduos orgânicos para que fosse possível o preenchimento do biodigestor tendo como base a quantidade de pessoas de uma casa, visto que um brasileiro em média gera 0,99 kg de RSU/dia, como 50% aproximadamente é resíduo orgânico, foi levado em consideração 0,5 kg de resíduo orgânico por pessoa, como o estudo é versátil e disponibilidade de resíduos foi variável ao longo dos dias devido ao cardápio variado.

Com o uso de uma balança, foi possível totalizar a quantidade de biomassa introduzida no reservatório, os resíduos fornecidos eram cascas de verduras, legumes e frutas como: batata inglesa, batata doce, cenoura, beterraba, banana, alface, rúcula, repolho, couve, coentro, acelga, chuchu, entre outros. Os resíduos eram entregues já separados e muitas vezes, picados, ralados, o que facilitou a acomodação no protótipo. Posteriormente esse material foi pesado e logo após misturado com água, para umidificar a matéria orgânica com o intuito de acelerar a produção

de biogás numa proporção menor de água em comparação com a massa sólida, por conta do processo de decomposição que libera água. As figuras 23 e 24 demonstram algumas verduras utilizadas como substrato.

Figura 23 – Cascas de batata doce



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 24 – Cascas de cenoura



Fonte: Autoria Própria (2023)

#### 4.5 FUNCIONAMENTO DO BIODIGESTOR

O biodigestor foi acomodado em um local disponibilizado pelo Instituto. Após toda a montagem, e preparo da primeira biomassa, adicionou no fundo do reservatório cerca de 5 kg de esterco bovino seco e folhagem seca, com o objetivo de funcionarem como inoculantes, para acelerarem o processo da digestão pelos microrganismos. Posteriormente, foi adicionada a primeira remessa da biomassa no dia 11/05, e assim foi prosseguiu conforme a geração do RU. O biodigestor foi alimentado até cerca de 66% do volume total da bombona de digestão.

Foram realizadas leituras para a umidade e temperatura a partir do dia 11/07 até o dia 04/08, com a instalação do termo-higrômetro, para monitorar esses importantes parâmetro que influenciam diretamente na produção de biogás. Após finalizar o processo de digestão anaeróbia foi calculada a redução do volume da biomassa inserida na bombona de digestão, além de testar a presença de metano na bombona de digestão e na câmara de armazenamento de biometano, através do uso de equipamento detector de presença de metano. Por fim, foi retirado do reservatório todo o biofertilizante, nas suas duas fases, tanto a líquida quanto a sólida, a fase líquida é considerada chorume caso não seja feita diluição em água para atuar como inseticida natural, a primeira fase foi diluída com água na proporção de 1 litro de chorume para 10 litros de água, a segundo foi reservada para ser utilizado para adubar a horta do campus futuramente.

Figura 25 – Biodigestor completo



Fonte: Aatoria Própria (2023)

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÕES**

### **5.1 MONTAGEM DO BIODIGESTOR**

A montagem do protótipo se iniciou em 29/03 e a sua finalização foi em 10/05 e a partir desse ponto, a alimentação da câmara de digestão foi iniciada em 11/05. O processo de montagem foi bastante árduo, desde a compra dos materiais com as pesquisas de preço até a fase inicial de alimentação. Portanto, por ser um processo anaeróbio, sua vedação teria que ser muito eficiente para que não houvesse perdas em todo o processo. A ligação mais complexa foi a acoplagem do registro no pito da câmara de ar, visto que foi muito difícil encontrar uma rosca que encaixasse perfeitamente para evitar vazamentos, todavia a construção foi finalizada com sucesso.

### **5.2 PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE**

Durante os 20 primeiros dias de funcionamento, houve pouca produção efetiva de biogás, o que já era esperado, na primeira fase e segunda digestão anaeróbia as bactérias, há a quebra das moléculas pelos microrganismos e produção de gás menos efetiva, visto que, segundo Chernicharo (1997) é na metanogênese que há a produção de metano e dióxido de carbono. O experimento de Santana (2019) corrobora com o fundamento do último autor, em virtude que a produção de biogás se deu entre 30 – 45 dias de processo de fermentação.

Com o início do mês de junho de 2023, a temporada de inverno teve um impacto negativo na produção de biogás e sua posterior purificação em biometano, por conta das baixas temperaturas. Isso ocorreu devido à baixa exposição solar, principalmente por causa do local de acomodação. De acordo com a literatura, a temperatura do ambiente quando próxima a 20°C ou abaixo, diminui drasticamente a produção de biogás, principalmente pelas variações de temperatura que iniba toda a atividade microbiana, interrompendo os processos e cessando a decomposição da biomassa. (LACERDA, 2021).

Para ser mais preciso com os parâmetros do projeto, e entender melhor seu funcionamento, foi utilizado um termo-higrômetro para medir a temperatura e umidade no interior do biodigestor. A partir desse ponto esses parâmetros, foram monitorados diariamente de segunda a sexta, e seus dados foram armazenados em uma planilha para comparar com a temperatura do ambiente, para identificar em quais condições é mais propícia a produção de biogás. O biodigestor foi monitorado do dia 11/07 até o dia 04/08.

Em 10 de julho de 2023, foi necessária realizar uma mudança no local do biodigestor a pedido da direção do campus, devido a construção da extensão da biblioteca que seria realizada

naquele lugar, essa mudança afetou a operação do biodigestor, resultando em movimentos bruscos e vazamentos que precisaram ser examinados e reparados. Com a transferência para um espaço mais aberto, em meio a temporada de inverno houve uma mudança climática com a chegada de dias mais quentes. Com isso, as bactérias metanogênicas foram estimuladas a retomar a decomposição da biomassa, levando ao aumento do volume da câmara de ar, como registrado na Figura e 26.

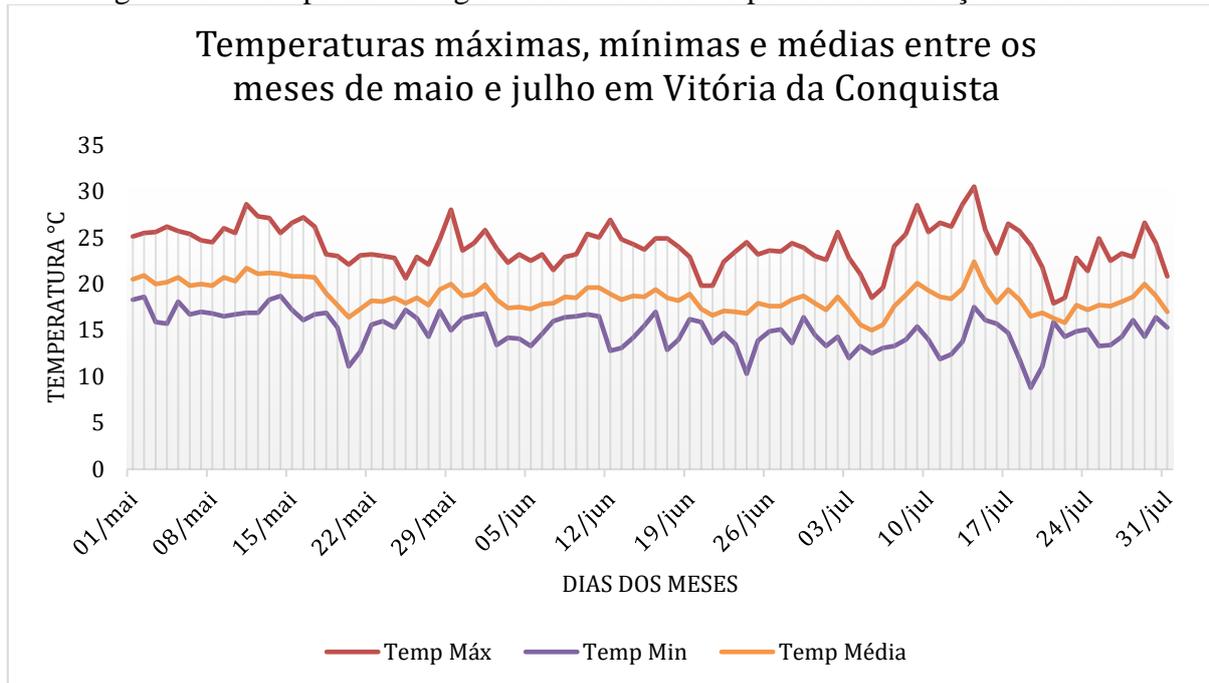
Figura 26 – Pico de enchimento da câmara de armazenamento de biometano



Fonte: Autoria Própria (2023)

Esse aumento ocorreu mesmo com a temperatura média ficando abaixo da temperatura considerada como ótima para a produção de biogás e decomposição de matéria orgânica pela atividade microbiana, que varia entre 30 – 35°C, dentro da faixa mesofílica de 20 – 40°C, conforme citado na literatura (TAVARES, 2016). A figura 27, mostra as temperaturas máximas, mínimas e médias nos meses de maio, junho e julho de 2023 em Vitória da Conquista, com dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

Figura 27 – Temperaturas registradas na cidade no período de retenção hidráulica

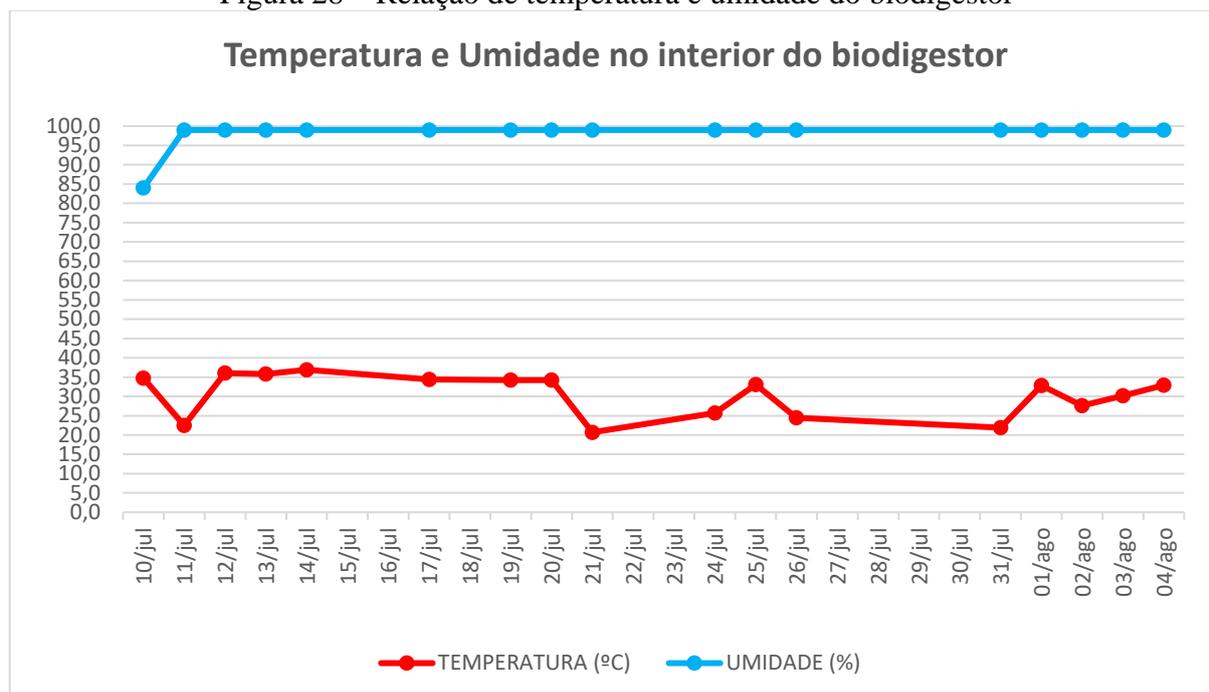


Fonte: Autoria Própria (2023)

Fica evidente que a temperatura média ao longo do tempo de retenção do biodigestor ela se mantém muito próxima a 20°C, temperatura essa dentro da faixa mesofílica, porém a atividade microbiana e conseqüente produção de biogás foi impactada diretamente, visto que a faixa ideal de produção ela foi atingida poucas vezes nas temperaturas máximas.

No primeiro dia de monitoramento, 11/07, o biodigestor estava no padrão desejado para umidade e temperatura, porém, a partir do dia seguinte, houve um pico de umidade para 99% que permaneceu inalterado até o final do tempo de retenção que foi de 86 dias, com espaço de produção de biogás entre os dias 20 e 60. A figura 28 indica o comportamento da temperatura e umidade no interior do biodigestor entre 11/07/2023 e 04/08/2023.

Figura 28 – Relação de temperatura e umidade do biodigestor



Fonte: Autoria Própria (2023)

Foram realizadas diversas tentativas para diminuir a umidade como, a retirada de biofertilizante (chorume) na fase líquida, totalizando 3 baldes de 15 litros, registrado na figura 28, a introdução de folhas secas, porém o indicador não alterou o parâmetro, e em virtude disso, o sistema de purificação de biogás para biometano não pôde ter seu funcionamento avaliado com clareza quanto a remoção de gás carbônico (CO<sub>2</sub>), dentro do período de retenção hidráulica, através da solução alcalina de hidróxido de cálcio. Em contrapartida a remoção de gás sulfídrico (H<sub>2</sub>S) responsável pelo odor pútrido de ovo, foi obtida com sucesso, através do filtro de purificação utilizando palha de aço com agente redutor do gás. Essa confirmação se deu pelo fato de o gás armazenado na câmara de ar não apresentar nenhum cheiro. Visto que o ácido sulfídrico (H<sub>2</sub>S) é corrosivo, e no Brasil, o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), determina que o limite de emissão de sulfetos não pode ultrapassar 1,0 mg/l S, a extração H<sub>2</sub>S do biogás é de extrema importância para a purificação do biometano e para a redução da liberação de gases poluentes na atmosfera.

Figura 29 – Biofertilizante (Chorume) na fase líquida



Fonte: Aatoria Própria (2023)

### **5.3 AVALIAÇÃO DOS PRODUTOS DA DIGESTÃO ANAEROBIA**

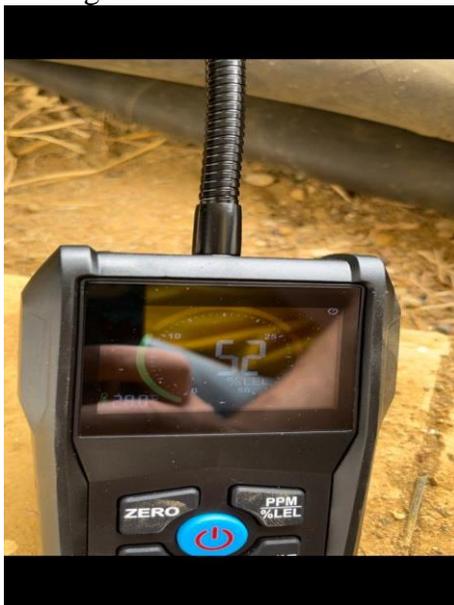
Para comprovar a presença de metano no biodigestor e posteriormente na câmara de armazenamento de biometano, após adquirido o detector de presença de metano, foi realizado o teste no protótipo, Dentro do biodigestor a concentração de metano indicou 78% no detector de acordo a Figura 30, porcentagem dentro dos parâmetros ideais e encontrados na literatura. Em contrapartida, ao realizar o teste na câmara de armazenamento de biometano, a concentração foi de apenas 52%, conforme a figura 31, o que indicava alguma particularidade no sistema de purificação, visto que ao balançar a câmara de ar notava-se barulho de líquido, portanto, a purificação não obteve resultado eficiente para biometano, pois o valor de concentração para metano deveria aproximar de 95%.

Figura 30 – Indicação da porcentagem de metano no detector na câmara de digestão



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 31 – Indicação da porcentagem de metano no detector na câmara de armazenamento



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Para entender o ocorrido na baixa concentração do metano da câmara de ar em relação ao metano do biodigestor, a vedação do sistema de purificação foi retirada, e desta forma, foi observado que a solução alcalina (cal e água) havia saturado, e o soluto precipitado ao fundo da bombona, conforme as figuras 32 e 33. Isso confirma a menor porcentagem de metano na câmara de ar, e devido ao processo de saturação, o  $\text{CO}_2$  deixou de ser consumido na reação, de

modo que com o acúmulo de água (H<sub>2</sub>O), a purificação perdeu sua eficiência segundo a equação  $\text{CO}_2 + \text{Ca}(\text{OH})_2 \rightarrow \text{CaCO}_3 + \text{H}_2\text{O}$ .

Figura 32 – Interior do sistema de purificação



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Figura 33 – Solução alcalina saturada dentro do sistema de purificação



Fonte: Aatoria Própria (2023)

Portanto, entende-se que a alta umidade no sistema, ocasionada pela saturação na solução alcalina de purificação afetou toda a produção de biometano, o que se confirma na literatura, através de Zanette (2009), a qual considera que a produção de água é uma

contaminante devido a acumulação de condensado, identificado através das bolhas na linha de gás, devido a isso a remoção do CO<sub>2</sub> foi comprometida.

O biofertilizante produzido na sua fase sólida, conforme a Figura 34, não foi analisado nesse trabalho. Ele será utilizado na horta do próprio Refeitório Universitário, o qual terá suas análises realizadas posteriormente. O biofertilizante produzido na sua fase líquida (chorume), também não foi analisado nesse trabalho. Ele será utilizado em projetos futuros para análise de ação microbiana e sua utilização como inseticida natural. Para tanto, o chorume foi armazenado uma pequena quantidade em recipiente fechado e guardado no laboratório de biologia no IFBA Campus Vitória da Conquista, conforme figura 35.

Figura 34 – Biomassa digerida



Fonte: Autoria Própria (2023)

Figura 35 – Chorume armazenado para estudos posteriores



Fonte: Autoria Própria (2023)

A biomassa utilizada no biodigestor teve seu volume reduzido em cerca de 40%, após decomposição. A equação 2 e 3, demonstram o volume ocupado no tanque de digestão antes e após a decomposição.

$$Volume_{inicial} = Área_{base} \times h_{altura \text{ máxima da biomassa}} \quad (\text{Equação 2})$$

$$Volume_{inicial} = \pi r^2 \times h_{altura \text{ máxima da biomassa}}$$

$$Volume_{inicial} = 0,26m^2 \times 0,80m$$

$$Volume_{inicial} = 0,208m^3 \text{ ou } 208 \text{ litros}$$

$$Volume_{final} = Área_{base} \times h_{altura \text{ da biomassa consumida}} \quad (\text{Equação 3})$$

$$Volume_{inicial} = \pi r^2 \times h_{altura \text{ da biomassa consumida}}$$

$$Volume_{inicial} = 0,26m^2 \times 0,50m$$

$$Volume_{inicial} = 0,13m^3 \text{ ou } 130 \text{ litros}$$

#### 5.4 ANÁLISE DO CUSTO-BENEFÍCIO DO BIODIGESTOR

O projeto do biodigestor se destaca como uma solução acessível para uma variedade de aplicações, incluindo restaurantes, pequenos produtores e famílias. Com um custo inicial de apenas R\$ 935,00, ele oferece uma forma econômica de lidar com resíduos orgânicos, ao

mesmo tempo em que proporciona benefícios ambientais e econômicos significativos, visto que o custo de operação foi menor que o salário mínimo vigente, cerca de R\$ 1.320,00. A eficiente decomposição da biomassa no biodigestor não apenas reduz os resíduos, mas também gera biogás, o que pode ser utilizado como fonte de energia limpa. No entanto, é importante reconhecer que, para alcançar seu pleno potencial, pode ser necessário realizar investimentos adicionais no sistema de purificação para resolver eventuais problemas e garantir um funcionamento contínuo e eficaz a longo prazo. Isso ressalta a importância de uma análise cuidadosa de todo o projeto para tomar decisões sobre a expansão ou otimização do sistema.

## **6 CONCLUSÃO**

Com base nos resultados e discussões apresentados neste estudo, pode-se afirmar que o tratamento e processamento de resíduos orgânicos por meio da digestão anaeróbica representa uma alternativa altamente vantajosa e viável em comparação com a situação atual dos resíduos sólidos urbanos no Brasil, uma vez que optar por tratar os resíduos localmente não apenas evita a criação de impactos ambientais negativos em várias frentes, mas também contribui para o desenvolvimento sustentável, transformando os resíduos gerados em uma fonte de energia renovável para consumo próprio.

A construção do biodigestor foi realizada com sucesso e com objetivo de ser viável economicamente, seu custo foi de R\$ 935,00, abaixo do salário-mínimo vigente, o que prova ser uma boa alternativa para o produtor familiar, pequenos restaurantes, entre outros estabelecimentos acerca da destinação de resíduos orgânicos, por conta da produção de biogás e biofertilizantes que podem ser utilizados nos mais variados fins, seja na produção de energia, ou até mesmo como fertilizante e inseticida natural.

O protótipo foi construído com materiais simples, mas ao final do experimento fica evidente que se faz necessário realizar alguns ajustes. É interessante uma análise precisa nos materiais a serem utilizados na construção, no local de instalação, no período do ano e na composição do biogás. É importante anexar ao protótipo o medidor de vazão de gás para melhor entender o fluxo de produção, além de um manômetro.

Embora a câmara de armazenamento de biometano não tenha ficado totalmente cheia, atestado devido a saturação da solução alcalina no sistema de purificação do biogás, foi possível identificar a presença do metano na câmara de digestão. É sugerido fazer a retirada dos contaminantes do biometano que atrapalham a sua purificação, para tanto, existem diversos métodos de retirada e Kunz(2022) indica perfeitamente quais as maneiras de fazer a purificação.

Por se tratar de um projeto de baixo custo, com sistema de purificação implementado e ter o pioneirismo na região de Vitória da Conquista, ocorreram falhas que não foram notadas anteriormente na literatura, como o período em que ocorreu a retenção (época do ano fria e de pouca radiação solar na cidade), o que se tornou um fator determinante na baixa produção de biogás, porém fica mais do que comprovada que a decomposição dos resíduos através da perda de sua biomassa foi um sucesso e que o projeto é extremamente promissor.

## **7 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS**

Sugere-se que em trabalhos futuros usando o biodigestor, a solução alcalina deva ser armazenada em recipiente de vidro transparente e seja diariamente monitorada para que a substituição ocorra em tempo hábil evitando o processo de saturação e consequente perda de produtividade. Recomenda-se também que o biodigestor deva ser utilizado em estações mais quentes no ano para aumentar consideravelmente a produção do biometano. Para melhor análise de todos os parâmetros seria fundamental a utilização de manômetro e potenciômetro na câmara de digestão.

Para o biofertilizante em suas duas fases, sólida e líquida, a primeira poderá ser usada na horta do refeitório, a segunda, poderá ser feita uma análise microbiológica para entender melhor suas aplicações. Já o para o biogás, a depender da quantidade, pode ser envazado em um botijão e utilizado nos fogões do refeitório.

Este trabalho, pode ser aprimorado para que possa servir para novos projetos como um manual de construção e operação de modelo de biodigestor seja para estudos científicos, ou para fins financeiros, excelente iniciativa de sustentabilidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, A. P. C., **Produção de Biogás a Partir de Resíduos Orgânicos Utilizando Biodigestor Anaeróbico**, 2017. Monografia – Universidade Federal de Uberlândia, Minas Gerais, Brasil.

BARROS, Talita Delgross. **Agroenergia: Chinês**. In: Chinês. [S. l.], 8 dez. 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/tematicas/agroenergia/residuos/biogas/biodigestores/chines>. Acesso em: 28 set. 2023.

BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/112305.htm). Acesso em: 12 set. 2022.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 16 de julho de 2020**. Novo Marco Legal do Saneamento Básico. Brasília, DF: Presidência da República, 2020. Disponível em: [http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20da,para%20a%20regula%C3%A7%C3%A3o%20dos%20servi%C3%A7os](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/114026.htm#:~:text=%E2%80%9CDisp%C3%B5e%20sobre%20a%20cria%C3%A7%C3%A3o%20da,para%20a%20regula%C3%A7%C3%A3o%20dos%20servi%C3%A7os). Acesso em: 12 set. 2022.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMF. Volume 5, 2ª ed. 588 p. 1997.

DE AZEVEDO FRIGO *et al.* **Biodigestores: seus modelos e aplicações**. Acta Iguazu, [S. l.], v. 4, n. 1, p. 57–65, 2000. DOI: 10.48075/actaiguaz.v4i1.12528. Disponível em: <https://e-revista.unioeste.br/index.php/actaiguazu/article/view/12528>. Acesso em: 11 dez. 2022.

DONGALA, A.M. **Projeto de biodigestor para geração de bioenergia em sistema de produção de suínos: um estudo de caso da região de Icolo e Bengo – Angola**. Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro. 127 p. 2010.

GÓMEZ-CAMPEROS, J. A.; REGINO-UBARNES, F. J. .; JARAMILLO, H. Y. **Desarrollo de un sistema de supervisión de las variables de temperatura, presión y pH en un Biodigestor Anaeróbico**. Revista Ingenio, [S. l.], v. 19, n. 1, p. 22–27, 2022. DOI: 10.22463/2011642X.3035. Disponível em: <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/ingenio/article/view/3035>. Acesso em: 16 ago. 2023.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL (Brasil). Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada. **Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos**. In: Resíduos sólidos urbanos no Brasil: desafios tecnológicos, políticos e econômicos. [S. l.], 9 jul. 2020. Disponível em: <https://www.ipea.gov.br/cts/pt/central-de-conteudo/artigos/artigos/217-residuos-solidos-urbanos-no-brasil-desafios-tecnologicos-politicos-e-economicos>. Acesso em: 12 set. 2022.

GOVERNO FEDERAL DO BRASIL (Brasil). Ministério do Meio Ambiente. Serviços e Informações do Brasil: Meio Ambiente. In: **Governo Federal incentiva a produção e uso sustentável do biometano**. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt->

br/noticias/meio-ambiente-e-clima/2022/03/governo-federal-incentiva-a-producao-e-uso-sustentavel-do-biometano. Acesso em: 10 dez. 2022.

HEBERTS, R.; MILETTI, L. **Compostagem de Resíduos sólidos orgânicos aspectos biotecnológicos**. Revista Saúde e Ambiente, [S. l.], p. 41-50, jun. 2005.

KUNZ, A; STEINMETZ, R.; AMARAL, A. **Fundamentos da digestão anaeróbia, purificação do biogás, uso e tratamento do digestato**. 2. ed. [S. l.: s. n.], 2022.

LACERDA, B.V.; **INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM UM BIODIGESTOR DE LONA INSTALADO EM UMA REGIÃO DE CLIMA SUBTROPICAL**. Orientador: Jackson Milano. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Energia) - Universidade Positivo, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://repositorio.cruzeirodosul.edu.br/jspui/handle/123456789/3232>. Acesso em: 12 set. 2023.

LANA, M. M; PROENÇA, L. C. **Resíduos orgânicos**. Embrapa, 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/hortaliza-nao-e-so-salada/secoes/residuos-organicos#:~:text=No%20Brasil%2C%20os%20res%C3%ADduos%20org%C3%A2nicos,res%C3%ADduos%20evitando%20seu%20descarte%20indevido>. Acesso em: 12 set. 2022.

LIMA, M. E. F. **Impactos ambientais decorrentes da disposição final dos resíduos sólidos no lixão de santa helena – pb**. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Licenciada em Geografia) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, [S. l.], 2017.

LOPES, J.S. **Avaliação do uso de nanopartículas no processo de digestão anaeróbia de resíduos sólidos orgânicos**. 2022. Dissertação de mestrado (Mestrado em Sistemas de Infraestrutura Urbana) - PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE CAMPINAS, [S. l.], 2022. Disponível em: <http://repositorio.sis.puc-campinas.edu.br/handle/123456789/16932>. Acesso em: 28 set. 2023.

MAGALHÃES, G. V. V. **Avaliação da biodigestão anaeróbia de resíduos orgânicos: ensaios de potencial bioquímico de metano (BMP) e projeto piloto de um biodigestor em escala real**. 2018. 131 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Centro de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil: Saneamento Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

METZ, H. L. **Construção de um biodigestor caseiro para demonstração de produção de biogás e biofertilizante em escolas situadas em meios urbanos, 2013**. Monografia – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, Brasil. Disponível em: <http://repositorio.ufla.br/jspui/handle/1/4514>. Acesso em: 12 set. 2023.

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO (Brasil). UNIVASF. **Qual a diferença entre lixo orgânico e inorgânico?**: Notícias. In: Qual a diferença entre lixo orgânico e inorgânico? [S. l.], 27 dez. 2020. Disponível em: <https://portais.univasf.edu.br/sustentabilidade/noticias-sustentaveis/qual-a-diferenca-entre-lixo-organico-e-inorganico#:~:text=Fazem%20parte%20do%20lixo%20org%C3%A2nico,da%20natureza%20em%20pouco%20tempo>. Acesso em: 9 dez. 2022.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (Brasil). Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico do Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos**. [S. l.: s. n.], 2020.

MORAIS, F. **Biodigestor: uma tecnologia sustentável**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia de Biossistemas) - UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE, [S. l.], 2022.

NAZARO, M. **Desenvolvimento de um biodigestor residencial para processamento de resíduos sólidos orgânicos**. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, [S. l.], 2016.

RECH, A. L. **Evaluation of alternative process of biodigestion for treatment of solid organic domestic residues**. 2008. 128 f. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento de Processos) - Universidade Estadual do Oeste do Parana, Toledo, 2008.

SANTANA, V. L. D.; CARVALHO, J.C.M.D.; SILVA, C.R.S.P.D.; FREITAS, L.R. **Construção de experimento de baixo custo e de alto interesse social: montagem de biodigestor caseiro**. Anais VI CONEDU... Campina Grande: Realize Editora, 2019. Disponível em: <<https://editorarealize.com.br/artigo/visualizar/59639>>. Acesso em: 23 out.2023.

SANTOS, M. E. M. D. **Produção de composto orgânico a partir de resíduos sólidos do restaurante universitário da UTFPR-CM**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campo Mourão, 2020.

SEABRA JÚNIOR, E. **Modelo de apoio à decisão para seleção de biomassas da pecuária e tipos de biodigestores com abordagem multicritério**. 2022. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2022.

SILVA, W. C. da. **Impactos ambientais decorrentes da disposição final dos resíduos sólidos no “aterro sanitário” do município de Sousa**. 2016. 59f. Trabalho de Conclusão de Curso (Licenciatura em Geografia) - Centro de Formação de Professores, Universidade Federal de Campina Grande, Cajazeiras, Paraíba, Brasil, 2016.

SOARES, C. M. T.; FEIDEN, A.; TAVARES, S. G. **Fatores que influenciam o processo de digestão anaeróbia na produção de biogás**. *Nativa*, [S. l.], v. 5, n. 7, p. 522–528, 2018. DOI: 10.31413/nativa.v5i7.5155. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/5155>. Acesso em: 28 set. 2023.

TAVARES, S. G.; FEIDEN, A.; CORREIA, A. F.; TIETZ SOARES, C. M.; GREGOLIN, M. R. P. **Influência das variações térmicas e climáticas na produção de biogás**. *Nativa*, [S. l.], v. 4, n. 5, p. 287–295, 2016. DOI: 10.31413/nativa.v4i5.3219. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/nativa/article/view/3219>. Acesso em: 11 set. 2023.

USP. Neper. Digestão anaeróbia. In: DE CASTRO, A.; CONTE, A.; MENA, G.; ALVARADO, H. **Digestão anaeróbia**. São Paulo: Neper, 9 abr. 2022. Disponível em:

<http://neper.shs.eesc.usp.br/digestao-anaerobia/#:~:text=A%20digest%C3%A3o%20anaer%C3%B3bia%20%C3%A9%20um,outr os%20gases%20em%20menor%20quantidade>. Acesso em: 10 dez. 2022.

WANGEN, D.; FREITAS, I. **Compostagem doméstica: alternativa de aproveitamento de resíduos sólidos orgânicos**. Revista Brasileira de Agroecologia, [S. l.], p. 81-88, 2010.

WAPPLER, A. **Elaboração e avaliação de um biodigestor para uso residencial urbano**. 2022. Trabalho de conclusão de curso (bacharel em Engenharia Química) - Universidade Federal do Pampa, [S. l.], 2022.

ZANETTE, A. L. **Potencial de Aproveitamento Energético do Biogás no Brasil**. 2009. Dissertação de mestrado (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, [S. l.], 2009.