



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

**PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR
PARA PRODUÇÃO DO BIOGÁS NO MERCADO GROSSISTA DE
ZIMPETO**

Luana Patrícia Lambo

Supervisor:

Prof. Doutor António José Cumbane, Eng^o

Maputo, Setembro de 2024



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE LICENCIATURA

**PROPOSTA DE DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR
PARA PRODUÇÃO DE BIOGÁS NO MERCADO GROSSISTA DE
ZIMPETO**

Luana Patrícia Lambo

Supervisor:

Prof. Doutor António José Cumbane, Eng^o

Maputo, Setembro de 2024

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE TRABALHO DE LICENCIATURA

Declaro que a estudante finalista **Luana Patrícia Lambo** entregou no dia ___/___/2024 as ___ cópias do relatório do seu trabalho de licenciatura com referência: _____ intitulado:

Proposta de Dimensionamento de um Biodigestor para Produção de Biogás no Mercado Grossista de Zimpeto.

Maputo, ___ de _____ de 2024

A Chefe da Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Luana Patrícia Lambo, declaro por minha honra, que o presente relatório académico foi elaborado por mim própria. Não se recorreu a quaisquer outras fontes, para além das indicadas, e todas as formulações e conceitos usados, quer adoptados literalmente ou adaptados a partir das ocorrências originais (em fontes impressas, não impressas ou na internet), se encontram adequadamente identificados e citados em conformidade com as convenções e normas do regulamento de culminação de cursos de engenharia da Universidade Eduardo Mondlane.

Declaro ainda, que este relatório não foi apresentado a qualquer outra entidade ou instituição, para além da directamente envolvida na sua elaboração, para efeitos de avaliação, apreciação ou recurso de suporte em outras pesquisas.

Declaro finalmente, encontrar-me ciente de que a inclusão, neste relatório, de qualquer falsa declaração ou manipulação de informação terá consequências legais.

Maputo, Setembro de 2024

A Autora

(Luana Patrícia Lambo)

DEDICATÓRIA

Pelo carinho, afecto, dedicação e cuidado que meus pais me deram durante toda a minha existência, dedico esta monografia a eles com muita gratidão.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus Todo-poderoso pela vida e força e pela oportunidade de trilhar nesse maravilhoso caminho, que é a Universidade.

Aos meus pais Dulce Nhanala e Luís Lambo pela concepção, amor, caminho e pelos preciosos ensinamentos.

À minha família em geral, aos meus avós em especial a minha avó Maria (em memória) por ter me ensinado a não desistir de lutar por aquilo que quero.

As minhas irmãs Lana Lambo, Tawila Niquice, Yani Delcy, Hérica de Sousa, Wanga Niquice e Laura Lambo por todo apoio que me deram nesta caminhada.

Aos meus tios Elsa Nhanala, Silvano Nuvunga, Cátia Matlhombe, Calton Nhanala, Pedro Nhanala, Saquina Bibi, Paula Nhanala, António e Magda Nhanala por me encorajarem e por me mostrarem o caminho que devo trilhar.

Ao meu supervisor Prof. Doutor António José Cumbane, Eng. pelo apoio na realização do trabalho, pelo encorajamento e pelas dicas.

Aos meus amigos Ivan Pene, Hermengildo Mavale, Kátia Banze, Márcia Cossa, Zuhra Saranga, Karen Salato, Sarlina Mazive, Mayra Mariamo, Evenilde Papeló e Yusbel Macuácuá obrigada por me motivarem a não desistir dos meus sonhos.

Aos meus colegas de turma e de grupo de estudos, em especial, Mayla Jamisse, Eugénia da Glória e Salomão Nuvunga pelo apoio, conhecimento partilhado e companheirismo ao longo do curso.

Aos funcionários do Mercado Grossista do Zimpeto muito obrigada pela paciência, pelas explicações e pela atenção.

EPIGRAFE

A vida é uma grande Universidade, mas pouco ensina a quem não sabe ser um aluno. Seja o autor da sua própria história e não desista dos seus sonhos.

AUGUSTO CURY

RESUMO

O Mercado Grossista do Zimpeto tem registrado um crescimento anual significativo, impulsionado pelo aumento do número de vendedores e do volume de comércio. Esse crescimento resultou em uma maior produção de resíduos sólidos, especialmente orgânicos, o que evidencia a necessidade de técnicas sustentáveis para sua gestão. Este estudo tem como objectivo principal implementar um biodigestor dimensionado como uma solução estratégica para o tratamento dos resíduos orgânicos produzidos no mercado. O estudo aborda a descrição e classificação dos resíduos sólidos gerados no Mercado Grossista do Zimpeto, caracterizando sua composição física e estimando a quantidade de resíduos orgânicos. Os resultados indicam que aproximadamente 77,42% das 926 toneladas diárias de resíduos são de origem orgânica, incluindo folhas de couve, cenoura, alface, pimentos, laranjas, limões, tangerinas, pedaços de mandioca e cascas de coco. Os outros tipos de resíduos, como cascas de alho e cebola, pedaços de plástico, papel, areia e capim, correspondem a 7,64%. Resíduos de papel e papelão representam 6,14%, plásticos 2,99%, vidro 2,93%, finos 2,84% e metais 0,04%. Com base na análise dos dados, foi selecionado o biodigestor canadense, conhecido por sua capacidade de tratar grandes quantidades de resíduos, além de sua fácil instalação e tecnologia moderna. O dimensionamento do biodigestor foi então realizado para viabilizar a produção de biogás no mercado.

Palavras-chave: Resíduos orgânicos, Biodigestor, Biodigestor Canadano, Mercado Grossista do Zimpeto.

ABSTRACT

The Zimpeto Wholesale Market has recorded significant annual growth, driven by the increase in the number of sellers and trade volume. This growth resulted in a greater production of solid waste, especially organic, which highlights the need for sustainable techniques for its management. The main objective of this study is to implement a biodigester sized as a strategic solution for the treatment of organic waste produced on the market. The study addresses the description and classification of solid waste generated in the Zimpeto Wholesale Market, characterizing its physical composition and estimating the amount of organic waste. The results indicate that approximately 77.42% of the 926 daily tons of waste are of organic origin, including cabbage leaves, carrots, lettuce, peppers, oranges, lemons, tangerines, cassava pieces and coconut shells. The other types of waste, such as garlic and onion peels, pieces of plastic, paper, sand and grass, correspond to 7.64%. Paper and cardboard waste represents 6.14%, plastics 2.99%, glass 2.93%, fine 2.84% and metals 0.04%. Based on the analysis of the data, the Canadian biodigester was selected, known for its ability to treat large amounts of waste, in addition to its easy installation and modern technology. The dimensioning of the biodigester was then carried out to enable the production of biogas on the market.

Keywords: Organic waste, Biodigester, Canadian Biodigester, Zimpeto Wholesale Market.

INDICE

RESUMO	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS.....	x
LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE TABELAS	xii
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. JUSTIFICATIVA	2
1.2. OBJECTIVOS	3
1.2.1. Objectivo Geral	3
1.2.2. Objectivos Específicos.....	3
1.3. METODOLOGIA	3
1.3.1. Pesquisa bibliográfica.....	3
1.3.2. Parte experimental.....	3
1.3.3. Análise, tratamento e discussão dos resultados.....	3
1.3.4. Elaboração do Relatório	4
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	5
2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS	5
2.1.1. Características dos resíduos sólidos	5
2.2. Classificação dos resíduos sólidos	6
2.3. Biomassa	8
2.4. Digestão Anaeróbica	9
2.5. Biodigestores	10
2.5.1. Classificação dos biodigestores.....	11
2.6. Biogás e suas Características	18
2.6.1. Comparação entre gás natural e biogás	20
2.6.2. Processo de produção do biogás	21
2.7. FACTORES QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE BIOGÁS	24
2.7.1. Substratos usados na produção do biogás.....	28
2.8. Aplicações do biogás	29
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo	30
3.2. Materiais e Equipamentos	31

3.3. Método de Colecta de Dados:	33
3.3.1. Métodos.....	34
3.4. Dimensionamento de biodigestor	35
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
4.1. Quantificação dos Resíduos	42
4.2. Caracterização física da composição dos resíduos sólidos produzidos no mercado grossista do Zimpeto	44
4.2.1. Determinação da Composição Gravimétrica	44
4.2.2. Determinação da densidade aparente.....	45
4.3. Dimensionamento de Biodigestor.....	45
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	50
5.1. CONCLUSÕES.....	50
5.2. RECOMENDAÇÕES	51
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	52
ANEXOS	55

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

C	Carbono
N	Nitrogénio
N ₂	Nitrogénio Molecular
P	Fósforo
K	Potássio
H ₂	Hidrogénio Molecular
°C	Graus Celsius
pH	Potencial Hidrogeniónico
GEE	Gases do Efeito de Estufa
CO ₂	Dióxido de Carbono
CH ₄	Metano
NH ₃	Amoníaco
H ₂ S	Sulfeto de Hidrogénio (Sulfureto de Hidrogénio ou gás sulfídrico)
H ₂ O	Água
RCOOR	Grupo Carboalcoxi (grupo funcional dos Ésteres)
RCOOH	Grupo Carboxil (grupo funcional dos ácidos carboxílicos)
ROH	Grupo Hidroxil (grupo funcional dos álcoois)
RS	Resíduos Sólidos
CH ₃ COOH	Ácido Acético
CH ₃ CH ₂ COOH	Ácido Propanóico
CH ₃ (CH ₂) ₂ COOH	Ácido Butanóico
$C_cH_nO_oN_nS_s$	Representação da Biomassa
%	Porcento

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo tipo indiano. (DEGANUTTI, et al., 2002).....	12
Figura 2: Biodigestor modelo tipo Indiano. (DEGANUTTI, et al., 2002).....	12
Figura 3: Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo chinês. (DEGANUTTI, et al., 2002).....	14
Figura 4: Biodigestor modelo Chinês. (DEGANUTTI, et al., 2002).....	14
Figura 5: Representação em corte de um Biodigestor Modelo Canadiano. (OLIVEIRA 2009).	16
Figura 6: Representação de Biodigestor Modelo Canadiano sem paredes divisórias internas. (OLIVEIRA 2009).	16
Figura 7: Representação tridimensional em corte do biodigestor tipo Batelada. (DEGANUTTI, et al., 2002).....	17
Figura 8: Biodigestor tipo Batelada. (CARTERPILAR, 2011)	18
Figura 9: Etapas de produção do biogás. (QUEVEDO 2016).....	22
Figura 10: Possibilidades de aproveitamento energético do biogás e biometano. (FRANCO, et al. 2015).	29
Figura 11. Caracterização dos RS do Mercado Grossista do Zimpeto.	34
Figura 12: Desenho ilustrativo das dimensões do biodigestor canadiano. (ALVES, et al., 2021), (GERSCOVICH , 2009).	Erro! Marcador não definido.
Figura 13: Representação genérica para caixas de entrada e saída (ALVES, et al. 2021), (GERSCOVICH 2009).	40
Figura 14: Colheita de amostras e caracterização.	42
Figura 15: Gráfico ilustrativo da caracterização dos RS do Mercado grossista de Zimpeto.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparação entre os biodigestores chinês e indiano (LUCAS JUNIOR e SOUZA 2009)	15
Tabela 2 : Composição típica do biogás.	19
Tabela 3: Composição típica do biofertilizante	19
Tabela 4: Comparação entre gás natural e biogás. (MATE JÚNIOR, 2022).....	21
Tabela 5 : Comparação de diferentes faixas de temperatura de acordo com vários autores	27
Tabela 6: Exemplos de substratos usados na produção do biogás adaptado de (ZENATTI 2019)	28
Tabela 7 : Organograma do Mercado Municipal Grossista do Zimpeto	31
Tabela 8. Materiais e equipamentos e sua descrição	32
Tabela 9. Etapas da caracterização e quantificação e sua descrição.....	33
Tabela 10: Dimensões dos contentores disponíveis no Mercado grossista de Zimpeto.....	42
Tabela 11: Quantificação dos RS do Mercado grossista de Zimpeto.....	43
Tabela 12: Tabela-resumo dos parâmetros de dimensionamento do biodigestor canadiano.	49

LISTA DE EQUAÇÕES

<i>Equação 1: Equação para cálculo da composição gravimétrica</i>	<i>35</i>
<i>Equação 2: Equação para cálculo da densidade aparente</i>	<i>35</i>
<i>Equação 3: Equação para o cálculo da massa de resíduos orgânicos.....</i>	<i>35</i>
<i>Equação 4: Equação para o cálculo do volume de resíduos orgânicos.....</i>	<i>35</i>
<i>Equação 5 : Equação para cálculo do percentual dos resíduos orgânicos</i>	<i>36</i>
<i>Equação 6: Equação para o cálculo de volume de água.....</i>	<i>36</i>
<i>Equação 7: Equação para cálculo de factor relação resíduo-água</i>	<i>36</i>
<i>Equação 8 : Equação para cálculo de volume de carga diária.....</i>	<i>36</i>
<i>Equação 9: Equação para calculo de volume da fossa do biodigestor.....</i>	<i>36</i>
<i>Equação 10: Equação para cálculo do volume geométrico do biodigestor trapezoidal.....</i>	<i>37</i>
<i>Equação 11 : Equação para o cálculo da função tangente considerando a inclinação do talude.....</i>	<i>38</i>
<i>Equação 12: Equação para cálculo da largura (a) em função do comprimento (L)</i>	<i>39</i>
<i>Equação 13: Equação para o cálculo da incógnita (b).....</i>	<i>39</i>
<i>Equação 14 : Equação para cálculo de volume da caixa de entrada.....</i>	<i>41</i>
<i>Equação 15: Equação para cálculo de volume da caixa de entrada.....</i>	<i>41</i>

1. INTRODUÇÃO

A necessidade de substituição dos combustíveis fósseis por fontes de energias mais limpas como é o caso de biogás, surge a consciência de reaproveitar os resíduos sólidos produzidos diariamente pelas diferentes actividades nas zonas urbanas e rurais, sendo de vital importância para a saúde pública, qualidade de vida e preservação do meio ambiente. Deste modo, a poluição do meio ambiente tornou-se uma das maiores preocupações da actualidade devido a crescente demanda pela produção de alimentos, principalmente na agro-pecuária e na agro-indústria, a qual contribui com os impactos provocados no ambiente, necessitando, cada vez mais, de alternativas para um desenvolvimento de sistema de produção sustentável. Neste contexto, o dimensionamento de Biodigestor para a produção do biogás no Mercado Grossista do Zimpeto, pode constituir um meio estratégico para reaproveitar os resíduos sólidos produzidos nesse mercado e produzir o biogás como uma fonte de energia alternativa.

Em Moçambique a gestão sustentável de resíduos sólidos ainda está longe de ser uma realidade, o lixo tem sido gerido de forma insustentável pese embora exista a conscientização do reaproveitamento dos resíduos, contudo existem catadores que fazem recolha de garrafas plásticas, garrafas de vidro, metal e papelão pela cidade para posteriormente vender a empresas e/ou cooperativas recicladoras.

Diversos estudos destacam a crescente consciência sobre o reaproveitamento de resíduos orgânicos, sob ponto de vista do seu uso sustentável para a produção de energia ou biofertilizantes. No mercado grossista do zimpeto, alguns dos resíduos orgânicos produzidos são reutilizados como alimento para animais domésticos, como porcos, coelhos e patos. No entanto, uma grande quantidade desses resíduos ainda é descartada em lixeiras de grande porte, como as localizadas em Hulene e Malhampsene.

Os mercados Municipais de Moçambique são os maiores produtores de resíduos orgânicos (SIQUELA, 2014), resíduos estes que causam poluição ambiental com a libertação de gases de efeito estufa, proliferação de pragas como moscas e roedores, que podem disseminar doenças e contaminar os alimentos, odores desagradáveis que podem afectar a experiência dos clientes. O reaproveitamento desses resíduos

orgânicos tornaria os mercados mais limpos e organizados, serviria de fonte de renda e produção de vários bens úteis para a sociedade, como é o caso da produção do biogás.

O mercado grossista do Zimpeto, um dos maiores mercados grossistas de Moçambique localizado na Cidade de Maputo, que é o caso de estudo, produz uma quantidade enorme de resíduos sólidos, incluindo resíduos orgânicos (cascas de frutas, legumes) e tem-se notado o desperdício do mesmo.

1.1. JUSTIFICATIVA

A proposta de dimensionamento de um biodigestor para produção de biogás no Mercado Grossista de Zimpeto é de grande relevância, pois visa transformar resíduos orgânicos, frequentemente descartados de forma inadequada, em uma fonte sustentável de energia. Este projecto não só contribui para a redução do impacto ambiental associado ao acúmulo de resíduos, mas também promove o uso eficiente dos recursos disponíveis, gerando benefícios econômicos e ambientais para a comunidade local. Além disso, a iniciativa pode servir como modelo para outros mercados e centros urbanos em Moçambique, fortalecendo práticas de gestão de resíduos e de produção de energia renovável no país.

A relevância deste trabalho se estende tanto à sociedade quanto ao meio acadêmico e científico, especialmente na promoção do conhecimento sobre o reaproveitamento de resíduos sólidos para a produção de biogás. Este estudo contribui significativamente para a literatura moçambicana, oferecendo uma base teórica valiosa para pesquisas futuras em áreas semelhantes. Do ponto de vista prático, o relatório descreve o processo de reaproveitamento sustentável dos resíduos sólidos orgânicos. No âmbito ambiental e social, o tema é de grande importância, pois promove uma gestão disciplinada dos resíduos sólidos. A abordagem proposta destaca a utilidade desses resíduos e a importância de uma gestão organizada, com o potencial de tornar o mercado mais limpo e menos poluente para o ambiente.

1.2. OBJECTIVOS

Os objectivos do presente trabalho estão organizados de seguinte forma:

1.2.1. Objectivo Geral

Dimensionar um Biodigestor para a produção do biogás no Mercado Grossista do Zimpeto.

1.2.2. Objectivos Específicos

Para alcançar o objectivo geral, foram definidos os seguintes objectivos específicos:

- Descrever e classificar os resíduos sólidos (RS) no mercado grossista do Zimpeto;
- Fazer caracterização gravimétrica dos resíduos orgânicos produzidos no mercado grossista do Zimpeto;
- Estimar a quantidade dos resíduos orgânicos produzidos no mercado Grossista do Zimpeto;

1.3. METODOLOGIA

Com vista a alcançar os objectivos definidos, a realização deste trabalho obedeceu a seguinte metodologia:

1.3.1. Pesquisa bibliográfica

Esta fase consistiu na recolha e revisão literária disponível, de modo a obter informações sobre os RS, biodigestores e sua classificação, processo de produção de biogás e dimensionamento de biodigestores;

1.3.2. Parte experimental

Para além da bibliografia consultada, foi necessário o deslocamento ao Mercado Grossista do Zimpeto para a determinação e quantificação dos resíduos sólidos gerados no mesmo, dimensionamento e proposta de um biodigestor a ser usado no mercado.

1.3.3. Análise, tratamento e discussão dos resultados

Após a obtenção dos dados necessários para a elaboração do trabalho, os mesmos foram analisados e tratados para por fim ser elaborado o relatório.

1.3.4. Elaboração do Relatório

O relatório final foi elaborado com base nos resultados da revisão bibliográfica e dos cálculos feitos, na correlação e interpretação da informação sobre os biodigestores e na interpretação da mesma.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. CARACTERIZAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

Os RS são as substâncias ou objectos que se eliminam, que se tem a intenção de eliminar ou que se é obrigado por lei a eliminar, também designados por lixos (Decreto n.º 13 /2006). Embora a literatura apresente uma diversidade de classificações, são destacadas duas principais classificações que serão apresentadas em detalhe abaixo, sendo estas quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente e quanto à natureza ou origem (MONTEIRO, et al. 2001).

2.1.1. Características dos resíduos sólidos

De um modo geral, as características dos resíduos variam em função dos factores demográficos, socioeconómicos e climáticos. Segundo Mota et al. (2009), os resíduos sólidos podem ser agrupados segundo as suas características físicas, químicas e biológicas.

Características físicas

As características físicas segundo Mota et al., (2009) são:

- Geração per-capita (Capitação) - relaciona a quantidade de resíduos sólidos urbanos gerados diariamente e o número de habitantes de determinada região;
- Composição gravimétrica - define o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra do resíduo analisado que podem ser: papel, alumínio, borracha, cerâmica, etc.;
- Peso específico aparente - é o peso do resíduo sem qualquer compactação que é expresso em kg do resíduo/m³ do volume ocupado;
- Teor de humidade - representa a quantidade de água presente no resíduo;
- Compressibilidade - grau de compactação ou a redução de seu volume que pode chegar até um quarto de seu volume original.

Características químicas

As características químicas segundo Mota, et al., (2009) são:

- Poder calorífico – é a capacidade potencial de um material libertar determinada quantidade de calor quando submetido a combustão;
- pH – indica o teor de acidez ou alcalinidade dos resíduos;
- Composição química – consiste na determinação dos teores de cinzas, matéria orgânica, carbono, nitrogénio, potássio, cálcio, fósforo, resíduo mineral total, resíduo mineral solúvel e gorduras;
- C:N– indica o grau de decomposição da matéria orgânica do resíduo nos processos de tratamento/deposição final.

Características biológicas

As características biológicas são determinadas pela população microbiana e dos agentes patogénicos presentes nos resíduos. (Mota, et al., 2009)

2.2. CLASSIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS

2.2.1. *Quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio ambiente*

Segundo o Decreto n.º 13 /2006, bem como em diversas publicações, quanto aos riscos potenciais de contaminação do meio os RS podem ser de duas classes principais, classe I (perigosos) e classe II (não perigosos):

- **Classe I:** aqueles que, em função de suas características intrínsecas de inflamabilidade, corrosividade, reactividade, toxicidade ou patogenicidade, apresentam riscos à saúde pública através do aumento da mortalidade, ou ainda provocam efeitos adversos ao meio ambiente quando manuseados ou dispostos de forma inadequada (Decreto n.º 13 /2006) (MONTEIRO, et al., 2001). São exemplos dessa classe o lixo hospitalar, produtos químicos industriais, óleos, cinzas de metais preciosos, pilhas, baterias e pesticidas.
- **Classe II:** Essa classe é constituída por dois tipos de resíduos, que são:
 - Resíduos não-inertes: resíduos que podem apresentar características de combustibilidade, biodegradabilidade ou solubilidade, com possibilidade de acarretar riscos à saúde ou ao meio ambiente, não se enquadrando nas classificações de resíduos Classe I – Perigosos – ou Classe II – Inertes. Exemplo:

resíduo orgânico, papel, palha-de-aço, agulha, latas e fiação eléctrica.

- Resíduos Inertes: aqueles que, por suas características intrínsecas, não oferecem riscos à saúde e ao meio ambiente. Exemplo: Tijolo, plástico, borracha, entulhos de obras ou de demolição, pedras e areias retiradas de escavações.

2.2.2. Quanto à natureza ou origem

A origem é o principal elemento para a caracterização dos RS. Segundo este critério, os diferentes tipos de resíduos podem ser agrupados em cinco classes (Decreto n.º 13 /2006):

Resíduos domésticos ou residenciais: provenientes das actividades diárias em casas, apartamentos, condomínios e demais edificações residenciais;

Resíduos comerciais: provenientes dos estabelecimentos comerciais (escritórios, restaurantes e outros similares) nos quais as características dependem da actividade lá desenvolvida, cujo volume diário não exceda 1.100 litros, que são depositados em recipientes em condições semelhantes aos resíduos domésticos;

Resíduos públicos: presentes nos espaços públicos (praças, jardins, parques, entre outros) e resultantes da natureza (folhas, galhadas, poeira, areia, e também aqueles descartados irregularmente pela população, como entulho, papéis, restos de embalagens e alimentos);

Resíduos domésticos (domiciliares) especiais: compreende os entulhos de obras, pilhas e baterias, lâmpadas fluorescentes e pneus.

Resíduos de fontes especiais: são resíduos que, em função de suas características peculiares, passam a merecer cuidados especiais em seu manuseio, acondicionamento, armazenamento, transporte ou deposição final. Dentro da classe de resíduos de fontes especiais, merecem destaque:

Resíduos industriais - produzidas pelas actividades industriais e podem ser de Classe I ou Classe II; **Resíduos radioactivos** - que emitem radiações acima dos limites permitidos pelas normas ambientais.

Resíduos de portos, aeroportos e terminais rodoviários e ferroviários - nos terminais, como dentro dos navios, aviões e veículos de transporte. Os resíduos dos portos e aeroportos são decorrentes do consumo de passageiros em veículos e aeronaves e sua periculosidade está no risco de transmissão de doenças já diagnosticadas no país.

Resíduos agrícolas - restos de embalagens impregnados com pesticidas e fertilizantes químicos, utilizados na agricultura, que são perigosos.

2.3. BIOMASSA

Segundo Araújo (2017), a biomassa constitui quaisquer materiais passíveis de decomposição pela acção de diferentes tipos de microrganismos. É decomposta sob a acção de bactérias metanogénicas, acetogénicas que produzem biogás sob condições específicas que incluem: temperatura, pH, relação C:N, presença ou não de oxigénio, nível de humidade e quantidade de bactérias por volume de biomassa.

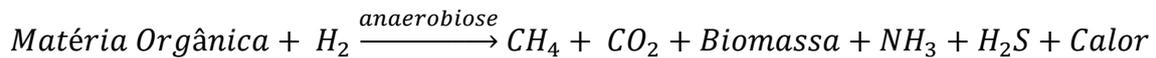
A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos: (i) *biomassa tradicional*, composta essencialmente pela lenha e resíduos naturais, e (ii) *biomassa moderna*, produzida a partir de processos tecnológicos avançados e eficientes, tais como biodiesel, biogás, *briquetes* e *pellets*, co-geração e os cultivos dedicados de espécies em florestas plantadas e a cana-de-açúcar (FORTES & RAIMUNDO, 2020) apud (GOLDEMBERG, 2009).

Existem três fontes básicas da biomassa: vegetais não lenhosos, vegetais lenhosos e resíduos orgânicos. Sendo que o aproveitamento da biomassa pode ser feito por meio de diversas formas, desde combustão directa, processos termoquímicos ou de processos biológicos (digestão anaeróbica e fermentação) (SOTTI, 2014).

A renovação na biomassa se dá através do ciclo do carbono. A decomposição ou a queima da matéria orgânica e seus derivados provoca a liberação do CO₂ na atmosfera. As plantas, através da fotossíntese, transformam o CO₂ e água nos hidratos de carbono, que compõem sua massa viva, liberando oxigénio. Assim, a utilização sustentável da biomassa não altera a composição média da atmosfera ao longo do tempo (FORTES & RAIMUNDO, 2020).

2.4. DIGESTÃO ANAERÓBICA

Segundo Kelleher, et al., (2002), o processo de digestão anaeróbica envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produtos inorgânicos e biofertilizante (matéria orgânica estabilizada). A digestão anaeróbica pode ser representada pela seguinte equação:



A digestão anaeróbica é uma fermentação simples que ocorre em um único tanque, como uma fossa ou lagoa anaeróbica.

A degradação anaeróbica da matéria orgânica à metano é um processo biológico que ocorre em diferentes fases, sendo processado por diferentes tipos de microorganismos que agem de forma simbiótica (OLIVEIRA, 2009) apud (VIÑAS, et al., 1993)

Vantagens e desvantagens da utilização do processo da digestão anaeróbica

As vantagens e desvantagens dos processos anaeróbicos são descritas por (COSTA, 2011):

Vantagens

- ✓ Produção de lodo muito baixa (cerca de 5 a 10 vezes inferior à que ocorre nos processos aeróbicos);
- ✓ Não há consumo de energia eléctrica, uma vez que dispensa, por exemplo, o uso de bombas, compressores, válvulas solenóides e painéis eléctricos;
- ✓ A área ocupada é relativamente pequena, reduzindo desta forma os custos de implementação;
- ✓ Produção de metano, um gás combustível de elevado teor calorífico;
- ✓ Possibilidade de preservação da biomassa (colónia de bactérias anaeróbicas) durante vários meses sem alimentação do reactor, ou seja, a colónia de bactérias entra num estágio de endogenia, sendo reactivada a partir de novas contribuições. É importante salientar que, contrariamente ao processo anaeróbico, nos processos aeróbicos, onde as bactérias dependem do

oxigénio que é injectado através de ventiladores ou compressores, a falta de energia eléctrica ou avaria de motor coloca todo o sistema em colapso uma vez que, não havendo oxigénio, perde-se todo o campo biológico (morrem todas as bactérias aeróbicas).

Desvantagens

- ✓ As bactérias anaeróbicas são susceptíveis à inibição;
- ✓ O “*Start-up*” ou partida do processo pode ser lento;
- ✓ É necessário o tratamento do efluente;
- ✓ A bioquímica e a microbiologia do processo são complexas;
- ✓ Pode ocorrer produção de maus odores;
- ✓ O efluente após o tratamento anaeróbico apresenta um aspecto desagradável;
- ✓ Não há uma remoção significativa do fósforo e do nitrogénio

2.5. BIODIGESTORES

O biodigestor um dispositivo com uma câmara fechada que fornece condições adequadas para a fermentação da matéria orgânica para produção de biogás. Segundo Costa (2011), os biodigestores são constituídos por um misturador, onde a matéria-prima e a água são misturadas; uma câmara, onde ocorre a fermentação anaeróbica; uma válvula, onde sai o biogás; e uma saída para que o biofertilizante seja retirado. A matéria-prima utilizada pode ser estrume, poda de árvores, palha de cana-de-açúcar, e até os excrementos humanos. Esta matéria é misturada à água para que o meio se torne anaeróbico. É nesse momento que as bactérias iniciam o processo de fermentação da matéria orgânica. A preparação da mistura consiste em se fazer uma mistura homogénea de 50% de esterco com 50% de água.

A decomposição que o material sofre no interior do biodigestor, com a consequente geração de biogás, chama-se digestão anaeróbica. Com base nos consumos médios de biogás das diversas utilidades que se deseja instalar em uma propriedade, podemos determinar o volume de biogás diário suficiente para suprir as necessidades da propriedade (DEGANUTTI, et al., 2002).

2.5.1. Classificação dos biodigestores

De um modo geral, os biodigestores são classificados de acordo com o fornecimento de biogás e podem ser contínuos ou descontínuos.

Biodigestor contínuo

Os biodigestores contínuos são aqueles que quando correctamente operados fornecem gás permanentemente. Nessa categoria situam-se os biodigestores modelo indiano, modelo chinês e o modelo canadiano (MIOTTI, 2016).

A biomassa encontrada no interior do biodigestor se movimenta através da diferença hidráulica, entre a entrada do substrato e a saída do biofertilizante (MIOTTI, 2016).

➤ Biodigestor tipo Indiano

O biodigestor do tipo indiano consiste em uma câmara de digestão, construída em geral abaixo do nível do solo, tendo em sua parte superior o acoplamento de uma campânula móvel de material impermeável e rígido que serve de tanque do biogás como ilustrado na figura 01 (gasómetro) (OLIVEIRA, 2009).

O gasómetro pode ser construído em chapas de ferro ou em fibra de vidro. A vantagem de construir o gasómetro em fibra de vidro é que este material não sofre a acção de agentes corrosivos como o gás sulfídrico presente na mistura gasosa. Caso o mesmo seja construído em fibra de vidro deve-se adicionar pesos sobre o mesmo a fim de aumentar a pressão do biogás (CONRADO, 2020).

A pressão de operação do modelo indiano é constante uma vez que, à medida que o volume de biogás produzido não é consumido, o gasómetro se desloca verticalmente para cima, aumentando, assim, o volume da câmara de armazenamento de gás, portanto, mantendo a pressão, no interior desta, constante. Como o gasómetro é disposto sobre o substrato ou sobre um selo de água, as perdas na produção de biogás, durante o processo anaeróbico, são reduzidas (OLIVEIRA, 2009).

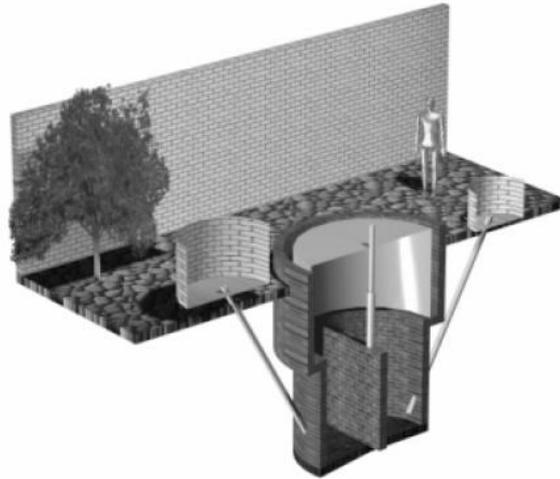


Figura 1. Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo tipo indiano. (DEGANUTTI, et al., 2002).

A câmara de digestão pode ser construída em alvenaria, concreto ou aço, abaixo do nível do solo ou ao nível do solo. Neste caso o processo de digestão é afectado mais facilmente por variações de temperatura. Do mesmo modo que o gasómetro, se a câmara de digestão for construída em aço devem-se tomar alguns cuidados para evitar o ataque por substâncias corrosivas (OLIVEIRA, 2009).

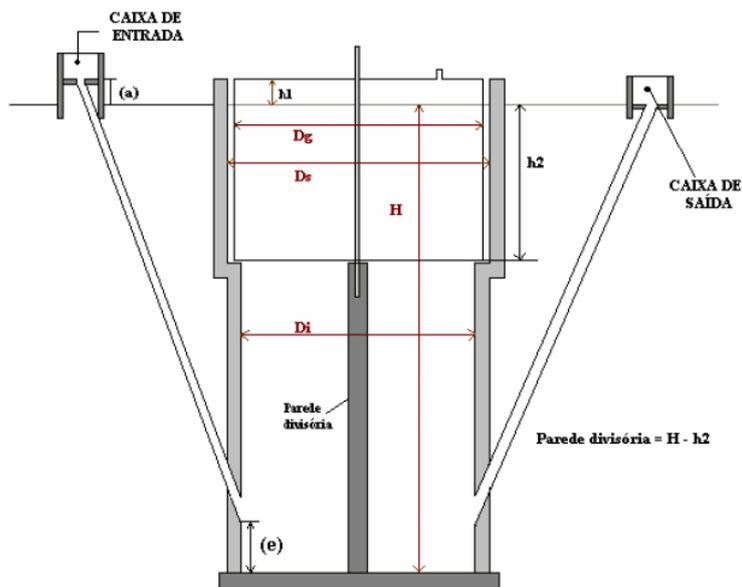


Figura 2: Biodigestor modelo tipo Indiano. (DEGANUTTI, et al., 2002).

O autor DEGANUTTI et al, (2002), diz que no biodigestor tipo indiano a alimentação deve ser diária. O resíduo que alimenta o biodigestor tipo indiano deve apresentar no máximo uma concentração de 8% em volume de sólidos totais (ST). Isso se deve ao facto de facilitar a circulação do resíduo pela câmara de fermentação bem como evitar o entupimento dos canos de carga dos afluentes e descarga dos efluentes.

Legenda:

H - é a altura do nível do substrato;

Di - é o diâmetro interno do biodigestor;

Dg - é o diâmetro do gasómetro;

Ds - é o diâmetro interno da parede superior;

h1 - é a altura ociosa (reservatório do biogás);

h2 - é a altura útil do gasómetro;

a - é a altura da caixa de entrada;

e - é a altura de entrada do cano com o afluente.

➤ **Biodigestor tipo Chinês**

De acordo com OLIVEIRA (2009), este tipo de biodigestor não apresenta partes móveis (gasómetro) e é constituído de uma única câmara formada por uma única peça. Por esta razão, é construído abaixo do nível do solo e pode ser construído em alvenaria ou concreto. Por ser construído em alvenaria ou concreto e sempre trabalhar a elevadas pressões, alguns cuidados durante a execução da obra devem ser tomados para evitar o aparecimento de trincas e com isso evitar o escape de gás.

Segundo DEGANUTTI et al., (2002), esse tipo de biodigestor funciona com base no princípio de prensa hidráulica. Com o aumento da produção de biogás ocorre também o aumento da pressão interior da câmara, que força o deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre a descompressão.

Este tipo de biodigestor uma parcela do gás formado na caixa de saída é libertado para a atmosfera, reduzindo parcialmente a pressão interna do gás, por este motivo as construções de biodigestor tipo chinês não são utilizadas para instalações de grande porte.

Semelhante ao modelo indiano, o substrato deverá ser fornecido continuamente, com a concentração de sólidos totais em torno de 8%, para evitar entupimentos do sistema de entrada e facilitar a circulação do material. A figura 3 ilustra a representação tridimensional do biodigestor e a figura 4 mostra a estrutura do biodigestor chinês.

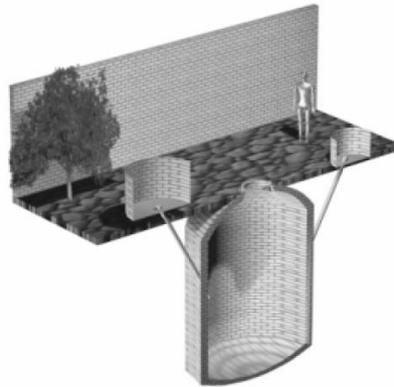


Figura 3: Representação tridimensional em corte do biodigestor modelo chinês. (DEGANUTTI, et al., 2002).

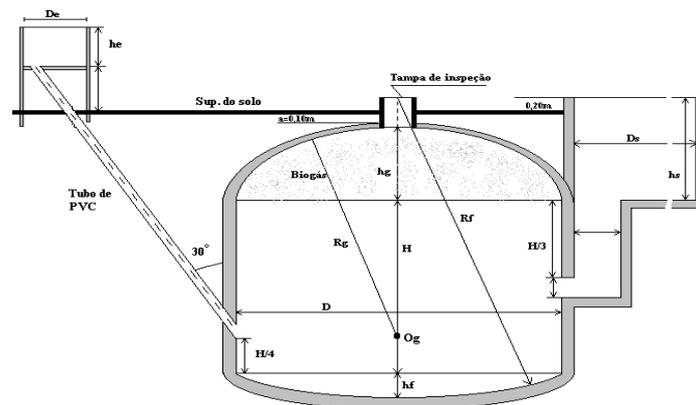


Figura 4: Biodigestor modelo Chinês. (DEGANUTTI, et al., 2002).

Legenda:

- D - diâmetro do corpo cilíndrico;
- H - altura do corpo cilíndrico;
- Hg - altura da calota do gasómetro;
- hf - altura da calota do fundo;
- Of - centro da calota esférica do fundo;
- Og - centro da calota esférica do gasómetro;
- he - altura da caixa de entrada;

De - diâmetro da caixa de entrada;

hs - altura da caixa de saída;

Ds - diâmetro da caixa de saída;

A - afundamento do gasómetro;

Comparação entre os modelos tipo Chinês e Indiano

Ambos modelos de biodigestores apresentam desempenho semelhante. Portanto, o modelo tipo chinês apresenta maior eficiência na produção de biogás e redução de sólidos, em determinados experimentos, conforme ilustrado na tabela 1 (JUNQUEIRA, 2014) apud (LUCAS JUNIOR & SOUZA, 2009).

Tabela 1: Comparação entre os biodigestores chinês e indiano (LUCAS JUNIOR e SOUZA 2009).

Parâmetros Comparativos	Biodigestor	
	Indiano	Chinês
Redução de Sólidos (%)	37	38
Produção média (m ³ .dia ⁻¹)	2.7	3.0
Produção média (l.m ⁻³ de substrato)	489	538

➤ **Modelo Canadiano (ou Modelo da Marinha)**

O biodigestor de modelo canadense, desenvolvido pela Marinha Brasileira em 1970, apresenta uma tecnologia mais moderna, ainda que possua uma construção simples. Possui uma câmara de digestão escavada no solo e um gasómetro inflável feito de material plástico ou similar. É do tipo horizontal, com uma caixa de entrada em alvenaria (ARAÚJO, 2017). A figura 5 é ilustra o corte de um biodigestor canadiano.

À medida que o biogás é produzido, a cúpula plástica maleável é inflada e o biogás é acumulado, ou pode ser enviado a um gasómetro separado para se obter um maior controle operacional (JUNQUEIRA, 2014). Na figura 6 está representado o modelo do biodigestor canadiano.

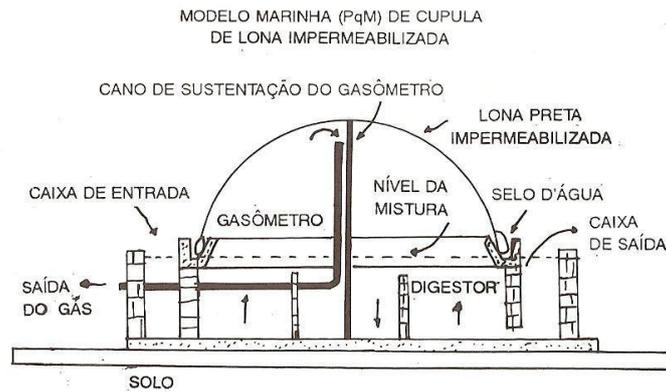


Figura 5: Representação em corte de um Biodigestor Modelo Canadiano. (OLIVEIRA 2009).

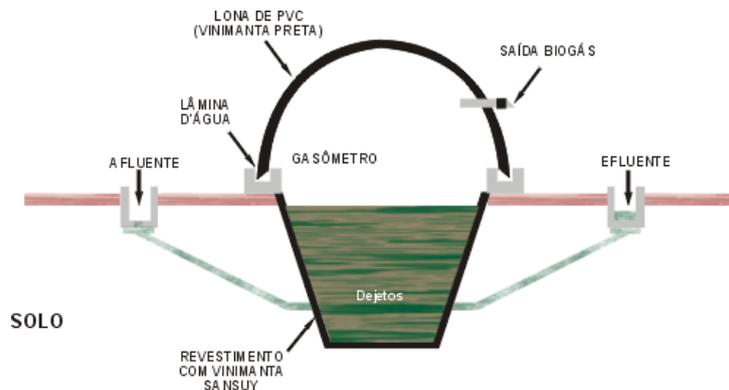


Figura 6: Representação de Biodigestor Modelo Canadiano sem paredes divisórias internas. (OLIVEIRA 2009).

Comparação entre os modelos tipo Canadiano, Chinês e Indiano

Segundo Oliveira (2009), considera que em comparação ao modelo Indiano, o modelo Canadiano apresenta a vantagem de poder receber grande quantidade de resíduos, enquanto que em comparação com o modelo Chinês, o modelo canadiano apresenta a vantagem de ser mais resistente à rachaduras e danos na sua estrutura devido à composição de diferentes solos, composição esta que pode ocasionar muita acomodação e provocar perda de gás exigindo monitoramento e manutenção constantes.

Biodigestor Descontínuo

É um biodigestor que fornece biogás durante certo período, sendo interrompido para a descarga do material fermentado e nova carga de material orgânico a ser digerido.

Este tipo de biodigestor também pode ser construído em alvenaria, concreto ou aço. Sua alimentação é descontínua e produção de biogás é contínua. A matéria orgânica a ser digerida é colocada na câmara de digestão e então fechada (selada) hermeticamente, sendo que só há uma saída para o gás. Este gás produzido pode ser armazenado em tanque separado para posterior utilização ou ser usado enquanto é produzido (OLIVEIRA, 2009).

A instalação desse tipo de biodigestor, devido às suas características, pode ser feita com a utilização de somente um tanque ou vários tanques em série ilustrada na figura 7 e 8 (DEGANUTTI et al., 2002).

Após o encerramento da produção de gás é feita a limpeza da câmara, um novo carregamento de material orgânico é feito e com isso nova produção de biogás tem início. Dependendo da quantidade e qualidade dos materiais utilizados na digestão, a produção de gás pode durar de três a seis meses (OLIVEIRA, 2009).



Figura 7: Representação tridimensional em corte do biodigestor tipo Batelada.
(DEGANUTTI, et al., 2002).



Figura 8: Biodigestor tipo Batelada. (CARTERPILAR, 2011)

Legenda:

- Di: diâmetro interno do biodigestor;
- Ds: diâmetro interno da parede superior;
- Dg: diâmetro do gasômetro
- H: altura do nível do substrato;
- h1: altura ociosa do gasômetro;
- h2: altura útil do gasômetro;
- h3: altura útil para deslocamento do gasômetro;
- b: altura da parede do biodigestor acima do nível do substrato;
- c: altura do gasômetro acima da parede do biodigestor.

2.6. BIOGÁS E SUAS CARACTERÍSTICAS

O biogás é uma mistura gasosa composta principalmente por CO₂ e CH₄. Este biogás resulta do processo da fermentação anaeróbica da matéria orgânica encontrada em resíduos vegetais ou animais, lodo de esgoto, resíduos ou efluentes industriais e domésticos como ilustrada na tabela 2 da composição do biogás estudado por (CONRADO, 2020) e (MOÇO 2012).

Tabela 2 : Composição típica do biogás.

Composto	Análise típica (% em volume)
CH ₄	55-65
CO ₂	35-45
H ₂ S	0-1
N ₂	0-3
H ₂	0-1
O ₂	0-2
NH ₂	0-1

A composição do biogás depende da natureza do resíduo digerido e das condições em que a digestão anaeróbica se processa (MONTE, 2010) e (ALVES, et al., 2021).

O biofertilizante é o que resta da biomassa após a fermentação. Devido a composição do biofertilizante apresentada na tabela 3, é considerado um adubo orgânico com elevada qualidade (JUNQUEIRA, 2014).

Tabela 3: Composição típica do biofertilizante

Composto	Análise típica (% em volume)
N₂	1.5 - 2.0
P	1.0 - 1.5
K	0.5- 1.0

Vantagens e desvantagens da produção do biogás

Vantagens

- Pode ser usado para gerar energia eléctrica ou térmica e pode ser utilizado em zonas rurais;
- Redução de custos ao gerar energia a partir de recursos próprios;
- Fonte de energia limpa e renovável;
- Promove a criação de produtos como fertilizantes;

Desvantagem

Sua principal desvantagem reside no gás CH₄ não transformado em CO₂, que contribui directamente para o efeito estufa e o aquecimento global.

2.6.1. Comparação entre gás natural e biogás

O gás natural é considerado um combustível fóssil, pois tem como origem a degradação da matéria orgânica por bactérias anaeróbicas em camadas muito profundas da crosta terrestre. Foi sendo formado com o passar de milhões de anos, junto com o processo natural de formação da Terra (FOGAÇA, 2014).

A matéria orgânica, proveniente da agricultura, tem muito potencial para produção de biogás. Resíduos de atividades agrícolas e os dejetos de suínos, bovinos, aves, ovinos e caprinos são de grande interesse para geração de biogás. É importante que todos os resíduos descartados diariamente nas propriedades sejam reaproveitados pelo processo de digestão anaeróbia para que seja gerado o biogás. Através da tabela 4 torna-se possível comparar o gás natural e o biogás no que se diz respeito à descrição, tipo de energia que confere a cada um e as vantagens de se utilizar uma ou outra fonte de energia (MATE JÚNIOR, 2022).

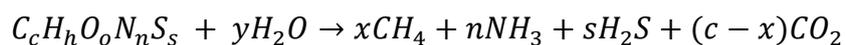
Tabela 4: Comparação entre gás natural e biogás. (MATE JÚNIOR, 2022)

Combustível	Gás natural	Biogás
Descrição	Mistura gasosa que se encontra, geralmente, junto das jazidas de petróleo	Produzido pela degradação de resíduos orgânicos
Tipo de energia	Fonte de energia não renovável	Fonte de energia renovável
Vantagens	Não libertar fuligens e monóxido de carbono (CO)	Poderá substituir as aplicações do gás natural com as mesmas vantagens de não libertar fuligens e monóxido de carbono (CO) contribuindo para a diminuição dos custos de manutenção e aumentando a vida útil dos equipamentos

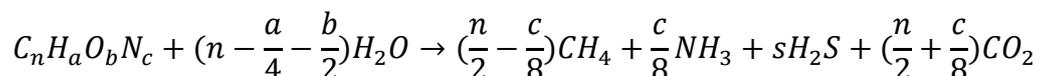
2.6.2. Processo de produção do biogás

O Araújo (2017), diz que o processo de produção/formação do CH₄ ocorre de forma espontânea em ambientes anaeróbicos, quando a biomassa ou matéria orgânica cuja composição é feita por carboidratos, lipídeos, proteínas entre outros nutrientes, na presença de bactérias, se decompõem formando CH₄ e impurezas como ilustrado na figura 09.

A equação geral de formação do biogás a partir da biomassa é dada a seguir:



A equação do balanço é dada a seguir: (DOS SANTOS, et al., 2018)



O processo anaeróbico passa necessariamente por quatro fases a nível bacteriano, sendo, a hidrólise, acidogénese, acetogénese e metanogénese, na qual a geração do biogás ocorre na última etapa do processo. A figura 9 representa o conjunto dos processos bioquímicos envolvidos na formação do biogás.

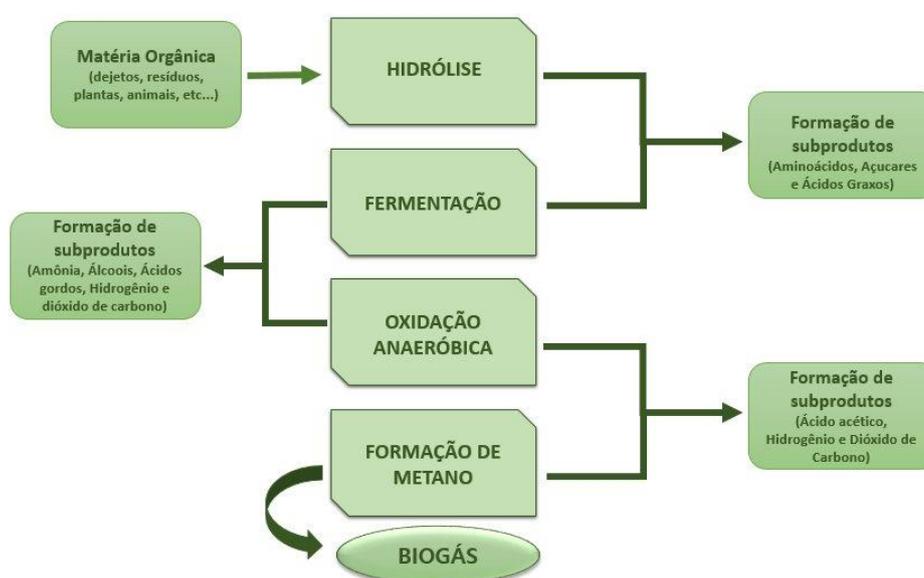
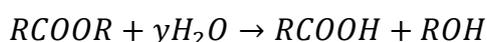


Figura 9: Etapas de produção do biogás. (QUEVEDO 2016).

➤ Hidrólise

Na hidrólise as ligações moleculares complexas (polímeros) como carboidratos, proteínas e gorduras, são quebradas por enzimas em um processo bioquímico, sendo liberadas por um grupo específico de bactérias (hidrolíticas) e dão origem a compostos orgânicos simples (monómeros) como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares de acordo com a seguinte equação (ARAÚJO 2017).



A velocidade dessas reacções depende da superfície de contacto entre o substrato e as enzimas liberadas pelas bactérias que as catalisam.

Esse processo é de fundamental importância para a produção de biogás, pois dada a quebra dos polímeros maiores, inicia-se o processo de biodigestão.

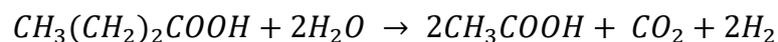
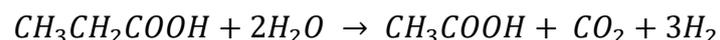
➤ **Acidogénese**

Na acidogénese as substâncias resultantes da hidrólise são transformadas por bactérias acidogénicas em ácido propanóico, ácido butanóico, ácido láctico e álcoois, assim como H₂ e CO₂. A formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de H₂ dissolvido na mistura. Quando a concentração de H₂ é muito elevada, esta interfere negativamente na eficiência da acidogénese, o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura é reduzido e o processo é afectado (ARAÚJO, 2017).

➤ **Acetogénese**

A acetogénese é a fase na qual os materiais resultantes da acidogénese são transformados em ácido etanóico, H₂ e CO₂ por bactérias acetogénicas. Essa é uma das fases mais delicadas do processo, considerando que é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de H₂ gerado seja consumida pelas bactérias Arqueas responsáveis pela metanogénese (ARAÚJO, 2017).

A seguir são apresentados alguns exemplos da transformação dos ácidos propanóicos e butanóicos (OLIVEIRA, 2009).

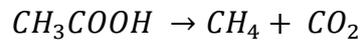


➤ **Metanogénese**

É uma etapa de transformação geradora de alguns componentes do biogás por microrganismos metanogénicos dentro do domínio Archaea. Existem dois grupos principais de reações: um que forma metano a partir de ácido acético ou metanol (metanogénicas acetoclásticas) e outro que produz metano a partir do Hidrogénio e Dióxido de Carbono (metanogénicas hidrogenotróficas). Ambas as reações são de extrema importância ecológica em ambientes anaeróbios, pois removem o excesso de Hidrogénio gerado na etapa anterior, possibilitando a realização da etapa de acetogénese descrita anteriormente (DE MACEDO, 2013) apud (BELLI Filho, 1995).

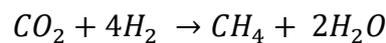
As bactérias metanogénicas não são resistentes às perturbações de alterações no pH e substâncias tóxicas, as quais podem ser alteradas ao longo do processo (KARLSSON et al., 2014).

- **Archeas Metanogénicas acetoclásticas**



As metanogénicas acetoclásticas estão em menor quantidade no biodigestor e os principais grupos representantes são: *Methanosarcina thermophila*, *Methanosaeta* e *Methanohalophilus portucalensis*. Apesar de menor representatividade nas Archeas, este grupo é responsável por cerca de 60 a 70% do metano produzido a partir do grupo metil do ácido acético. O grupo *Methanosarcina thermophila* tem como característica a utilização exclusiva de acetato enquanto os outros grupos podem utilizar hidrogénio e dióxido de carbono para a geração de metano (ARAÚJO, 2017).

- **Archeas Metanogénicas hidrogenotróficas**



Com excepção da *Methanosarcina*, praticamente todas as outras Archeas são capazes de produzir CH₄ a partir de H₂ e CO₂, processo que libera uma maior quantidade de energia. Entre as famílias que se destacam pode-se citar as *Methanosarcina*, *Methanohalophilus*, *Methanomicrobium* e *Methanoculleus*.

Ao contrário do que acontece na etapa anterior, na metanogénese observa-se uma grande quantidade de reacções exotérmicas, portanto, termodinamicamente favorecidas, com destaque para a geração de CH₄ a partir de H₂ e CO₂, onde há uma grande quantidade de energia liberada, pelo menos quatro vezes mais energia liberada do que a segunda reacção mais importante a partir de acetato (ARAÚJO, 2017).

2.7. FACTORES QUE INFLUENCIAM A PRODUÇÃO DE BIOGÁS

- **Composição do Resíduo**

A maior parte dos resíduos domésticos e industriais são biodegradáveis. Os restantes resíduos consistem, tipicamente, em materiais inertes tais como: cinzas, materiais plásticos e outros materiais não biodegradáveis. Quanto maior for a percentagem de

materiais biodegradáveis, maior será a quantidade de substrato para os microrganismos responsáveis pela biodegradação do resíduo, aumentando a taxa de produção de gases. (BORBA , 2006).

Os principais nutrientes dos microrganismos são o carbono, o nitrogénio e os sais orgânicos. Deverá manter-se uma relação específica de carbono para nitrogénio entre 20:1 e 30:1, que foi descrito por (KUNZ, et al.,2019) e (ANTUNES , 2019). A principal fonte de nitrogénio encontra-se nos excrementos humanos e de animais, enquanto os polímeros presentes nos restos de culturas representam o principal fornecedor de carbono (COSTA, 2011).

Segundo ZENATTI (2019), a composição dos substratos tem quantidades diferentes de matéria orgânica e devem ser observados os seguintes requisitos:

- **Materiais ricos em carboidratos**

Açúcares simples e dissacarídeos são degradados de maneira fácil e rápida, o que pode levar a problemas de acidificação do biodigestor. Deste modo, para se estabelecer um bom equilíbrio no processo, os materiais com elevado teor de açúcar devem ser misturados com um material que contenha compostos mais recalcitrantes e de preferência o nitrogénio.

Polissacarídeos são compostos pouco solúveis e a sua composição e estrutura variam, tendo velocidades de degradação diferentes em um processo de biogás. O amido é o polissacarídeo mais comum nos produtos alimentares, consistindo em cadeias lineares ou ramificadas de glicose que são rompidas com facilidade durante o processo. Substratos com amido em excesso provocam um cheiro azedo durante o processo. Em materiais ricos em celulose, como palha ou silagem, o tratamento de pré-hidrólise determina a velocidade do processo.

- **Materiais ricos em gordura**

As **gorduras** são compostas principalmente por ácidos graxos e glicerol. O tipo de gordura depende da composição. Elas dividem-se em saturadas, monoinsaturadas e polinsaturadas, dependendo do tipo de ácido que as formam.

Gorduras saturadas têm um ponto de fusão mais elevado do que a gordura insaturada, tornando-o menos disponível para a biodegradação. Um aspecto da

gordura é que os ácidos graxos têm propriedades tensioactivas e, portanto, concentrações de espuma são formadas facilmente.

➤ **Tamanho das Partículas**

COSTA (2011), diz que existe uma relação inversamente proporcional entre a superfície exposta dos resíduos e o tamanho dos mesmos, expressa pela superfície específica. O aumento da velocidade de degradação ocorre quando a massa é composta por resíduos menores, o que tem levado ao uso de trituradores. Portanto, tanto em processos aeróbicos como anaeróbicos, o tamanho das partículas tem influência na degradação dos resíduos.

➤ **Temperatura**

Segundo COSTA (2011), a temperatura actua na cinética das reacções bioquímicas responsáveis pela conversão da matéria orgânica em gases, líquidos e compostos bioestabilizados.

Relativamente à temperatura, existem dois aspectos que devem ser tomados em consideração:

- A temperatura desenvolvida dentro da massa do resíduo; e
- A influência da temperatura externa sobre os processos que ocorrem internamente.

A actividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que, as alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio nas culturas envolvidas, principalmente nas bactérias que formam o metano, os microrganismos podem ser classificados de acordo com a temperatura, em três grandes grupos respectivamente ilustrados na tabela 5 (ZHANG, et al., 2018) (KUNZ, et al., 2019).

A temperatura no interior do biodigestor afecta a produção de biogás sendo por isso necessário assegurar uma relativa estabilidade de temperatura.

Tabela 5 : Comparação de diferentes faixas de temperatura de acordo com vários autores

Autor	Faixa de temperatura (°C)		
	Termofílicas	Mesofílicas	Psicrofílicas
(KUNZ, et al., 2019)	60	37	15
(ZHANG, et al., 2018)	50-60	32-37	<10

pH

Os autores COSTA (2011) e KUNZ, et al., (2019), equaciona que a gama de variação de pH para a produção de metano situa-se entre 6 e 8. As bactérias mais sensíveis às variações de pH são as metanogénicas, apresentando uma gama óptima para a digestão anaeróbia que varia entre 6,5 e 7,6. Um pH óptimo para as bactérias situa-se entre 6,7 e 7,5 e é dentro desta gama que se desenvolve a metanogénese, onde a produção de gás metano é maximizada. Para um pH abaixo de 6 ou acima de 8 a produção de metano é severamente limitada (DOS SANTOS, 2018).

➤ Tempo de retenção hidráulica

O tempo de detenção hidráulica é o tempo que o material permanece no interior do biodigestor, ou seja, tempo entre a entrada do efluente e a saída do afluyente do digestor. De acordo com os diferentes substratos utilizados para a alimentação do biodigestor, e dos demais factores, o tempo de retenção varia de 4 a 60 dias (ARAÚJO 2017).

Para o substrato composto de resíduos de matéria orgânica o tempo de detenção situa na faixa de 20 a 30 dias, sendo que com 30 dias a carga orgânica já sofreu grande redução e devido a isso, a produção de biogás já atingiu seu máximo e a partir desse ponto passa a decair (SIQUELA , 2014).

O tempo de retenção hidráulica pode ser obtido pela relação entre o volume de mistura líquida do biodigestor e a carga diária. Durante o tempo de retenção, a matéria orgânica é degradada e ocorre a produção de biogás (ANTUNES , 2019).

➤ **Inóculo**

O ARAÚJO (2017), diz que vários estudos têm sido realizados com intuito de viabilizar a produção de biogás por outros métodos. Neste contexto, a adição de inóculo se destaca por utilizar parte do material que já passou pelo processo, capaz de fornecer ao novo substrato uma população adicional de microrganismos típicos da biodigestão anaeróbia. Em sistemas de alimentação batelada, o biodigestor é preenchido totalmente em uma única vez com os resíduos orgânicos, com ou sem adição de inóculos. Alguns estudos mostram que com a introdução de inóculos no meio, o desempenho do biodigestor tem sido satisfatório, principalmente devido a aceleração do processo de bioestabilização anaeróbica dos resíduos, já que contribui para a melhora da densidade microbiana (ARAÚJO, 2017).

2.7.1. Substratos usados na produção do biogás

A composição do substrato é importante para a quantificação e a qualidade do biogás, o que está directamente ligado à quantidade de nutrientes e contaminantes potenciais (metais, agentes patogénicos, contaminantes orgânicos contidos na matéria orgânica).

Tabela 6: Exemplos de substratos usados na produção do biogás adaptado de (ZENATTI 2019).

Substratos	Fezes de suínos
	Sobras de comida
	Fezes de aves
	Capim
	Resíduos de Indústria cervejeira
	Fezes de bovinos
	Resíduos de matadouro
	Fezes de coelho

2.8. APLICAÇÕES DO BIOGÁS

Segundo Franco et al., (2015), as aplicações energéticas mais difundidas são a utilização como combustível em caldeiras, fornos, estufas, geração de electricidade, co-geração (electricidade e calor), injeção na linha de gás natural e como combustível veicular. Devido a essa flexibilidade, o biogás pode ser considerado como uma fonte estratégica de energia, podendo se tornar um agente muito importante na ampliação da geração de energia eléctrica, com base em fontes limpas e renováveis, bem como substituir o gás natural derivado do petróleo.

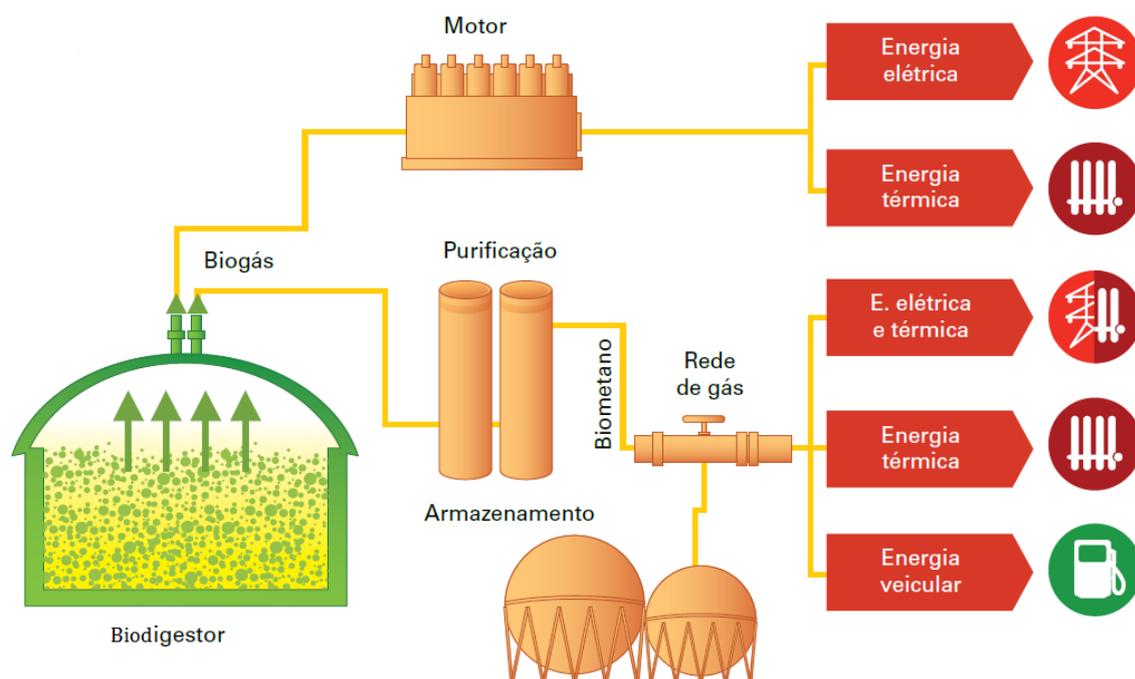


Figura 10: Possibilidades de aproveitamento energético do biogás e biometano. (FRANCO, et al. 2015).

Utilizar o biogás para produção de calor é a maneira mais fácil e barata de aproveitá-lo. Nesse caso, o biogás é queimado em uma caldeira, que está ligada a um tanque de armazenamento. Também é possível utilizar o biogás como fonte de energia para cocção e fins domésticos (MATE JÚNIOR, 2022)

A purificação do biogás consiste na remoção de H_2S e CO_2 , a partir da dissolução dos gases H_2S e CO_2 por meio de lavagem com água pressurizada, sendo que antes da purificação as composições de CH_4 e CO_2 são, 60% e 40% e depois 98% e 2% (KARLSSON, et al., 2014)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Localização e Caracterização da Área de Estudo

O Mercado Municipal do Zimpeto, também conhecido como mercado grossista, localiza-se na Cidade de Maputo, no Distrito Municipal Kamubukwana, no bairro homónimo, distando aproximadamente a 14 Km do centro da cidade.

O Mercado Grossista do Zimpeto surgiu como resultado da necessidade de uma transferência do mercado da Malanga onde notava-se uma superlotação acompanhada pelo surgimento e proliferação de problemas relativos ao aumento de índice de criminalidade, até que a opinião pública começou a protestar pela transferência do mercado para outra zona. Estas reclamações fizeram com que o governo municipal tomasse a decisão de procurar um outro espaço mais alargado para o exercício destas actividades económicas, entre vários locais identificados, o Bairro do Zimpeto demonstrou condições favoráveis para as novas instalações do mercado.

Desta forma, a 10 de Junho de 2002 foi identificado o local e a 28 de Maio de 2007, este foi definitivamente implantado com o intuito de transferir todos vendedores grossistas do mercado da Malanga ficando apenas os retalhistas, mas este objectivo não foi atingido na sua íntegra, uma vez que alguns vendedores grossistas continuam a exercer suas actividades económicas no mercado da Malanga e alguns vendedores retalhistas seguiram os grossistas no Zimpeto.

A estrutura organizacional e funcional do mercado compreende uma Administração do Mercado, a Polícia da República de Moçambique, a Polícia Municipal, uma associação de segurança para o cumprimento do regulamento do mercado e o corpo fiscal que zela pelo pagamento dos impostos no mercado e ainda, a comissão dos representantes dos vendedores que serve de elo entre os vendedores e a administração.

Tabela 7 : Organograma do Mercado Municipal Grossista do Zimpeto



No mercado Grossista do Zimpeto verifico que este não alberga apenas vendedores de grossistas (640 vendedores actualmente), apresenta também um considerável de vendedores retalhistas, inicialmente realizavam suas actividades como vendedores ambulantes pois, não eram proprietários de bancas e espaços fixos no interior do mercado, entretanto, com consentimento da administração do mercado, foi permitido que ocupassem de forma provisória espaços dentro dos limites do mercado abrindo precedente para uma convivência imediata entre o comércio a grosso e a retalho. Desta forma é possível encontrar vendedores com diferentes produtos em suas bancas como também produtos em camiões que estão em divididos em secções como cebola, tomate, batata entre outros.

3.2. Materiais e Equipamentos

A caracterização dos Resíduos Sólidos constitui um mecanismo de agrupar os resíduos sólidos de acordo com as suas características.

Foram necessários alguns materiais e equipamentos para a concretização da caracterização e quantificação dos resíduos, que são:

Tabela 8. Materiais e equipamentos e sua descrição

Equipamento/Material	Descrição/Finalidade
Contentores	2 RoRo (12 m ³) e 2 Skip (6 m ³). Em cada contentor, cinco pontos aleatórios foram escolhidos para coleta de amostras: quatro nos vértices e um no centro.
Balança	Usada para pesagem das amostras recolhidas.
Balde (20 litros)	Utilizado para pesagem de resíduos e auxílio na determinação da densidade aparente.
Caixa quadrada	Usada para recolha e pesagem das amostras, auxiliando na caracterização de cada amostra.
Pá	Apoio na recolha dos resíduos, transporte das amostras para garrafas, caixas e plásticos.
Sacos	Utilizados para recolha e caracterização das amostras de resíduos.
Lona	Utilizada para espalhar os resíduos e realizar a separação e caracterização dos mesmos.
Caderno e caneta	Usados para anotações durante o processo de coleta e caracterização das amostras.

Equipamentos de Proteção Individual (EPI) Necessários:

- **Botas de Biqueira e Sola de Aço:** Para proteção dos pés contra impactos e objectos cortantes.
- **Máscara para Poeiras:** Para proteção das vias respiratórias contra poeira e partículas.
- **Luvras de Tecido com Superfície em Borracha:** Resistentes a cortes e perfurações, para proteção das mãos durante o manuseio dos resíduos.

Tabela 9. Etapas da caracterização e quantificação e sua descrição

Etapa	Descrição
1. Recolha de Resíduos	- Colecta de resíduos de diferentes pontos do contentor para garantir homogeneidade e fiabilidade das amostras. - Aferição da quantidade de resíduos para garantir representatividade.
2. Classificação dos Resíduos	- Caracterização dos diferentes tipos de resíduos: orgânicos, papel e papelão, plástico, vidro, metal e outros. - Distinção dos tipos de resíduos para quantificação precisa.
3. Pesagem dos Resíduos	- Colecta de informações sobre a quantidade de resíduos produzidos no período da manhã e da tarde, durante quatro semanas.
4. Registo de Dados	- Registos das pesagens realizadas e estimativas baseadas em padrões de produção de resíduos.
5. Análise e Interpretação dos Resultados	- Análise dos resultados em termos de peso. - Identificação dos principais tipos de resíduos gerados e suas proporções em relação ao total. - Auxílio na escolha da melhor alternativa de gestão e redução de resíduos.

3.3. MÉTODO DE COLECTA DE DADOS:

- **Método Utilizado:** Observação directa através da pesagem dos resíduos sólidos (RS) produzidos no Mercado Grossista de Zimpeto ao longo do dia.
- **Período de Coleta:** Quatro semanas, continuamente, nos dias úteis.
- **Horário de Pesagem:** Período da manhã, quando o mercado apresentava maior fluxo de vendas.
- **Categorias de Resíduos Separados:**

Resíduos Orgânicos, Papel e Papelão, Plástico, Vidro, Metal, Finos (Areia), Outros (Mistura de vários resíduos).

Em seguida, os RS segregados passam pelo processo de pesagem e caracterização (figura 11) que foi realizado com recurso a uma balança com escala de 50 kg.

A composição gravimétrica vai permitir identificar o percentual de cada tipo de resíduo em relação ao peso total da amostra de resíduos analisada, vai também permitir identificar em termos mássicos a quantidade de recicláveis que podem advir do Mercado Grossista de Zimpeto.



Figura 11. Caracterização dos RS do Mercado Grossista do Zimpeto.

3.3.1. Métodos

3.3.1.1. Quantificação dos Resíduos

A metodologia específica consistiu em identificar, registrar as quantidades e caracterizar os diferentes tipos de resíduos gerados no mercado, com vista a determinar a massa e dimensionar um biodigestor a ser utilizado no mercado grossista Zimpeto.

3.3.1.2. Determinação da Composição Gravimétrica

A determinação da composição gravimétrica dos RS foi baseada na pesagem de amostra de cada tipo de resíduo. A composição gravimétrica exprime o percentual de cada tipo de resíduo em relação ao peso total das amostras, e descrito pela equação abaixo.

$$\text{Composição (\%)} = \frac{\text{Peso de cada tipo de residuo}}{\text{Peso total da amostra}} \times 100\%$$

Equação 1: Equação para cálculo da composição gravimétrica

3.3.1.3. Determinação da densidade aparente

A determinação da densidade aparente dos RS permite conhecer e dimensionar os dispositivos para o acondicionamento dos RS através da massa e do volume ocupado. Para a determinação da densidade aparente dos RS, utilizou-se um recipiente de volume conhecido (Balde de 20L) para o acondicionamento e posterior pesagem. Foi determinada segundo essa relação apresentada a seguir.

$$D_{\text{Aparente}} = \frac{\text{Peso total da amostra em 20L}}{\text{Volume (20L)}}$$

Equação 2: Equação para cálculo da densidade aparente

3.4. Dimensionamento de biodigestor

O dimensionamento do biodigestor, é baseado em parâmetros geométricos definidos em função do volume de dejectos produzido diariamente e do tempo que esse dejecto deverá ficar retido no biodigestor para que a biodigestão aconteça (ALVES, et al., 2021).

O cálculo do volume diário dos resíduos sólidos a serem reaproveitados, foi possível através da seguinte equação:

$$M_{RO} = M_R \times \% \text{Resíduos Orgânicos}$$

Equação 3: Equação para o cálculo da massa de resíduos orgânicos

$$V_{RO} = \frac{M_{RO}}{\text{Densidade dos Resíduos}}$$

Equação 4: Equação para o cálculo do volume de resíduos orgânicos

Onde:

- M_{RO} = Massa de Resíduos orgânicos kg/dia;
- V_{RO} = Volume de Resíduos orgânicos (L/dia);

- M_R = Massa de Resíduos kg/dia;
- %Resíduos Orgânicos = percentual dos resíduos orgânicos.

Cálculo de Percentual

O percentual de resíduos orgânicos (%Resíduos Orgânicos) é obtido pela fórmula:

$$\% \text{Resíduos Orgânicos} = \frac{\text{Peso de R orgânico}}{P_{\text{total}}} \times 100\%$$

Equação 5 : Equação para cálculo do percentual dos resíduos orgânicos

Onde:

- **Peso do Resíduo Orgânico** é o peso dos resíduos orgânicos na amostra.
- **Peso Total** é o peso total da amostra de resíduos.

Conhecido o volume dos resíduos, o factor de relação resíduo-água, o qual será adoptado segundo (MESA, 2017), (BAÚ, 2015), (BOND, 2015) será de 1kg de Resíduo para 2L de água, de modo a determinar o volume da água.

$$V_{\text{Água}} = \frac{M_{RO}}{f_{M_{RO}/V_{\text{Água}}}}$$

Equação 6: Equação para o cálculo de volume de água

$$f_{M_{RO}/V_{\text{Água}}} = \frac{1kg_{RO}}{2L_{\text{Água}}}$$

Equação 7: Equação para cálculo de factor relação resíduo-água

Calculou-se posteriormente, o volume da carga diária produzida, abaixo.

$$V_C = V_{\text{Água}} + V_{RO}$$

Equação 8 : Equação para cálculo de volume de carga diária

Onde:

- V_C = Volume da carga diária (m³/dia);
- $V_{\text{Água}}$ = Volume de água.

O cálculo do Volume total da fossa do biodigestor é realizado pela equação a seguir.

$$V_{FB} = t_{\text{Retenção Hidráulica}} \times V_{\text{Carga diária}}$$

Equação 9: Equação para calculo de volume da fossa do biodigestor

Onde:

- T_{RH} = Tempo de retenção hidráulica (dias):

- V_{FB} = Volume da fossa do biodigestor (m^3).

O T_{RH} , representa o tempo que o efluente deve permanecer no biodigestor para atingir a degradação esperada e é um parâmetro que depende da capacidade das bactérias em degradar a matéria orgânica, ou seja, depende do tipo de resíduo colocado no biodigestor. O V_{FB} é determinado em função do V_C e T_{RH} deve ser equivalente ao volume geométrico (VG) do biodigestor de forma trapezoidal. Dessa forma, considera-se que VG é calculado através da equação a seguir, onde, **a** e **b** são as medidas da base superior e inferior, respectivamente, do trapézio que forma a seção transversal da fossa do biodigestor, h = altura útil da fossa e L = comprimento longitudinal da fossa (ALVES, et al., 2021).

$$V_{FB} = \frac{(a + b)}{2} \times h \times L$$

Equação 10: Equação para cálculo do volume geométrico do biodigestor trapezoidal

Após demonstrar a fórmula para determinar o volume geométrico da fossa, obtido em função do V_C e do T_{RH} , quando combinados as equações previamente ilustradas, obtém-se três incógnitas, que representam as medidas gerais da fossa do biodigestor (ALVES, et al., 2021). Para determinar os valores referentes a tais medidas, deve-se tomar em conta, condições de funcionamento do sistema de biodigestão, como a inclinação correta do talude, a proporção entre largura e comprimento da superfície da fossa e a altura útil (GERSCOVICH , 2009).

Para o desenvolvimento dos cálculos, optou-se por considerar o ângulo de inclinação do talude equivalente a 110° como referência média para taludes. A partir dessa definição, é possível montar relações entre as medidas da seção do biodigestor.

A seção da fossa do biodigestor é representada por um trapézio cujas medidas são denominadas como sendo as variáveis: largura da base superior (**a**), largura da base inferior (**b**) e altura (**h**) como mostra a figura 12. Nesse trapézio, ao se isolar um dos cantos inclinados, forma-se um triângulo retângulo cujo ângulo adjacente à altura (h) foi denominado θ , e equivale a subtração do ângulo recto da inclinação do talude. Isolando o triângulo rectângulo na seção trapezoidal da fossa, foram obtidas novas relações entre as medidas **a**, **b** e **h**.

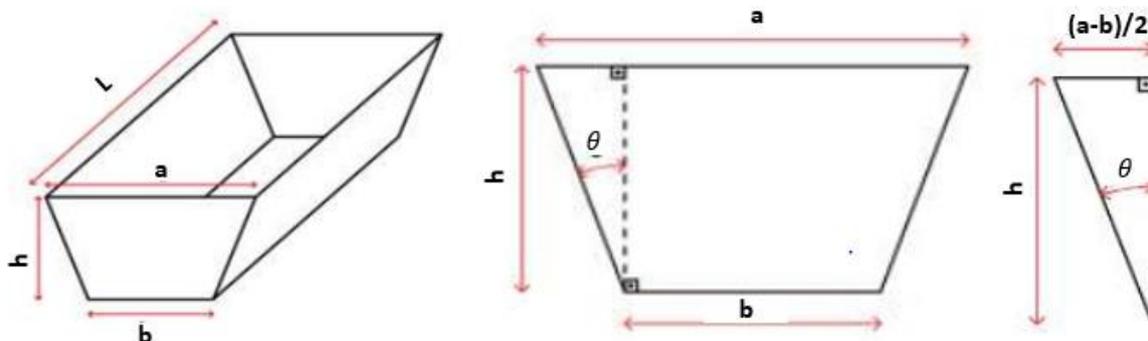


Figura 12: Desenho ilustrativo das dimensões do biodigestor canadiano. (ALVES, et al., 2021), (GERSCOVICH , 2009).

Considerando a inclinação inicial do talude igual a 110° , obtém-se que o valor de θ é equivalente a 20° . Baseando-se nesses parâmetros, pode ser obtida pela função tangente, cuja igualdade é representada pela divisão do cateto oposto pelo cateto adjacente.

$$\tan \theta = \frac{\frac{(a - b)}{2}}{h} = \frac{(a - b)}{2h}$$

Equação 11 : Equação para o cálculo da função tangente considerando a inclinação do talude

$$\tan 20^\circ = \frac{(a - b)}{2h} \rightarrow a = 0,7279h + b$$

Outra relação importante a ser determinada, são as dimensões de largura (**a**) e comprimento (**L**) da superfície superior da fossa. Para os biodigestores tubulares, deve ser respeitada a relação largura/comprimento usual que pode variar de 1:3 (LIMA, 2011) a 1:5 (FEIDEN, et al.,2004). A escolha da proporção foi de 1:5 para representar a relação entre a largura (a) e comprimento (L) da superfície superior da fossa, conforme a equação a seguir.

$$L = 5a$$

Equação 12: Equação para cálculo da largura (a) em função do comprimento (L)

Onde:

- $a = (0,7279h + b)$.

$$L = 5 \times (0,7279h + b) = 3,6395h + 5b$$

Substituindo as duas incógnitas na equação de relação a/L, onde são substituídos na equação do V_{FB} .

$$V_{FB} = \frac{(0,7279h + b + b)}{2} \times h \times (3,6395h + 5)$$

$$1,3245h^3 + 5,459h^2b + 5hb^2 - V_{FB} = 0$$

Isolando na ordem de b, temos:

$$5hb^2 + 5,459h^2b + 1,3245h^3 - V_{FB} = 0$$

Onde:

- $b \rightarrow$ incógnita da equação;
- $5h \rightarrow$ primeiro termo numérico da equação;
- $5,459h^2 \rightarrow$ segundo termo numérico da equação;
- $1,3245h^3 - V_{FB} \rightarrow$ terceiro termo da equação.

A qual pode ser resolvida da seguinte forma:

$$b = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4xz}}{2x}$$

Equação 13: Equação para o cálculo da incógnita (b)

Como nessa situação, a incógnita trata-se de uma medida real, descarta-se de antemão a possível solução com valor negativo, aplica-se em seguida os termos numéricos e temos:

$$b = \frac{-5,459h^2 + \sqrt{(5,459h^2)^2 - 4(5h \times (1,3245h^3 - V_{FB}))}}{2x}$$

$$b = \frac{-5,459h^2 + \sqrt{29,90h^2 - 26,49h^3 + 20hV_{FB}}}{10h}$$

Dessa forma, é possível determinar, os valores da largura da superfície superior (**a**), o comprimento e a largura da superfície inferior (**b**) da fossa do biodigestor, respectivamente.

Essas equações dependem de um valor pré-determinado para a altura (**h**) e para o volume (**V_{FB}**), entretanto, o valor da altura (h) deve ser definido arbitrariamente.

Quanto à altura, os valores variam de **1,50 a 4,50 m** para biodigestores tubulares e para o dimensionamento das lagoas anaeróbicas, **de 1,50 a 3,00 m**, conforme dados disponíveis na literatura. Para Volumes com até 100 m³, a definição para a altura ideal é de 1,5 m; entre 100 e 500 m³, de 2,5 m; entre 500 e 2000 m³, de 3,5 m e acima de 2000 m³, de 4,5 m. Os elementos complementares considerados nessa seção são as caixas de entrada e saída. A Caixa de entrada ilustrada na figura 13 deve ser equivalente ao V_C, acrescido de 20% e a Caixa de saída, equivalente a três vezes o volume da caixa de entrada (em m³). As caixas deverão ser de secção horizontal quadrada e com profundidade útil definida em 1 m.

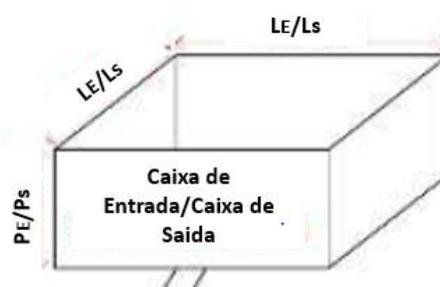


Figura 13: Representação genérica para caixas de entrada e saída (ALVES, et al. 2021), (GERSCOVICH 2009).

$$V_{CE} = V_C \times 1,20 = PE \times L_{CE}^2 \quad PE = 1,00; L_{CE} = \sqrt{V_{CE}}$$

Equação 14 : Equação para cálculo de volume da caixa de entrada

$$V_{CS} = V_{CE} \times 3 \quad PS = 1,00; L_{CS} = \sqrt{V_{CS}}$$

Equação 15: Equação para cálculo de volume da caixa de entrada

Onde:

- V_{CE} = Volume da caixa de entrada;
- V_{CS} = Volume da caixa de saída;
- PE = Profundidade da caixa de entrada;
- PS = Profundidade da caixa de saída;
- L_{CE} = Lateral da caixa de entrada;
- L_{CS} = Lateral da caixa de saída.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Quantificação dos Resíduos

A quantificação dos resíduos sólidos foi possível através caracterização dos resíduos, e as respectivas pesagens diárias realizadas durante um mês, em dois períodos, manhã das 8 as 10 e tarde das 11 as 13h. A figura 15 ilustra os RS colectados e colocados em caixas.



Figura 14: Colheita de amostras e caracterização.

Os valores finais foram estimados com base na recolha diária dos resíduos, baseando-se nos dois tipos de contentores existentes no local e a frequência diária de recolha dos resíduos.

Tabela 10: Dimensões dos contentores disponíveis no Mercado grossista de Zimpeto.

Descrição dos contentores	Dimensões (m ³)	Quantidade de contentores	Número de vezes de Recolha
Ro-Ro	12	2	3
Skip	6	2	3
Soma	18	4	6

Tabela 11: Quantificação dos RS do Mercado grossista de Zimpeto.

Total dos resíduos	
Total dos resíduos Produzidos por dia (ton/dia)	926,6
Total dos resíduos Produzidos por Semana (ton/semana)	6.486,5
Total dos resíduos Produzidos por mês (ton/mês)	27.799,2
Total dos resíduos Produzidos por ano (ton/ano)	333.590,4

A quantificação dos RS teve como base a caracterização dos resíduos produzidos, tipo de contentores disponíveis e frequência diária de recolha de RS no mercado grossista de Zimpeto. O mercado dispõe de uma média de 640 Vendedores e conhecendo a quantidade de RS produzidos no mercado, conforme a tabela 2 e 3 a seguir, foi possível determinar a geração percapita de 1447,88 kg/dia/vendedor. A informação detalhada pode ser observada no Anexo 3.

Quando se analisa os dados obtidos no estudo conduzido por SIQUELA no mercado grossista de Zimpeto em 2014, constata-se que produzia-se 785kg/dia de RS, sendo que actualmente produz-se 926,6 ton/dia, cerca de 1.181 vezes do valor registado em 2014 e uma taxa de crescimento anual de mais de 100% por ano. Esse facto pode ser explicado pelo crescimento e melhoramento do mercado. Existem dois mercados que operam lado a lado, o mercado retalhista e grossista do zimpeto fazendo que haja aumento no volume de vendas.

Os resíduos orgânicos secos podem ser incinerados e os húmidos podem ser digeridos anaerobicamente em biodigestores, enquanto o papel e papelão, vidro, metal e o plástico podem ser reciclados.

As cascas de frutas cítricas contêm limoneno, que é um inibidor do processo biológico que produz metano (WIKANDARI, et al.,2015). Contudo, o limoneno é biodegradado durante a digestão anaeróbica (ROTARU, 2009), portanto, num biodigestor alimentado continuamente e bem misturado a concentração do composto inibitório será muito baixa e não são esperados problemas.

4.2. Caracterização física da composição dos resíduos sólidos produzidos no mercado grossista do Zimpeto

4.2.1. Determinação da Composição Gravimétrica

Por meio da caracterização física dos resíduos gerados no mercado grossista de Zimpeto, depois dos registos das quantidades das amostras, a maior parte dos resíduos diz respeito aos resíduos orgânicos, com cerca de 77,42%, constituído por folhas de couve, cenoura, alface, pimentos, laranjas, limões, tangerinas, alguns pedaços de mandioca e cascas de coco.

A determinação da composição gravimétrica dos RS foi baseada na caracterização e pesagem de amostra de cada tipo de resíduo conforme ilustrado no Anexo 1. De forma resumida as composições são apresentadas no gráfico da figura 16.

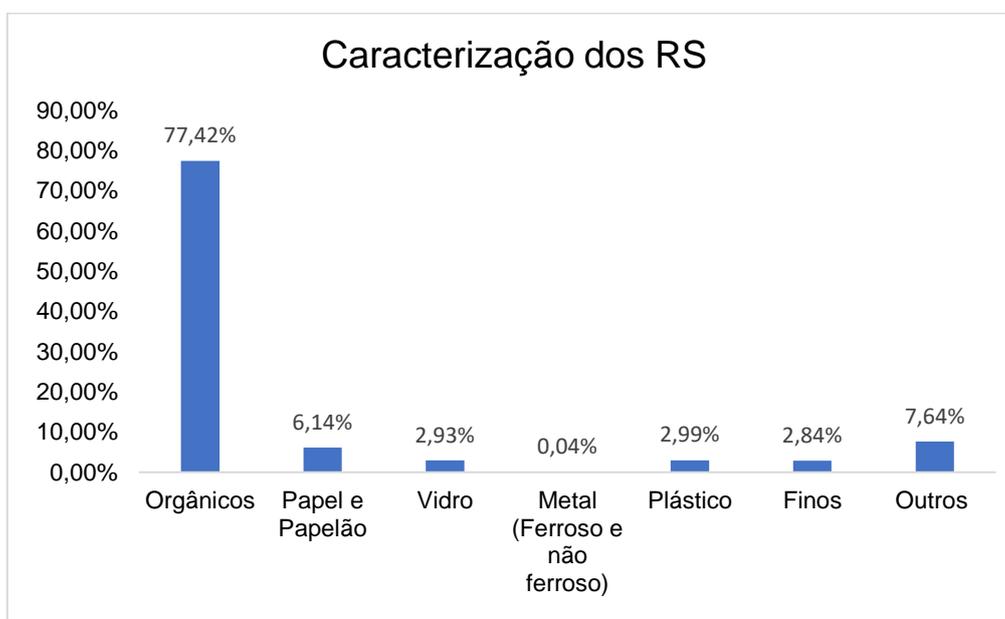


Figura 15: Gráfico ilustrativo da caracterização dos RS do Mercado grossista de Zimpeto.

Segundo SIQUELA (2014) no estudo que visava analisar o reaproveitamento de RS nos mercados da Cidade de Maputo, a percentagem dos resíduos orgânicos existentes no mercado Zimpeto na realização do seu estudo foi de 85%, facto esse que também prova que as maioríssimas quantidades de resíduos gerados são orgânicos.

Em seguida o papel e papelão, bem como a mistura de finos não separados esta na ordem de 6,14 e 7,64% respectivamente. O vidro, metal e plástico estão em

quantidades reduzidas, o que também pode ser expresso pelo facto de existirem cooperativas de reciclagem e de catadores de lixo, pois boa parte destes fazem a reciclagem dos mesmos. Os finos são essencialmente constituídos de areia, os quais encontram-se em quantidades reduzidas e isso é explicado pelo facto de os resíduos serem acondicionados no chão, onde estes entram em contacto directo com a terra.

4.2.2. Determinação da densidade aparente

A densidade aparente dos RS, utilizou-se um recipiente de volume conhecido (Balde de 20L) para o acondicionamento e posterior pesagem, conforme o Anexo 2. A densidade média calculada foi de 8,58 kg/L. Foi necessário colher amostras de pontos aleatórios do contentor para acondicionar os RS no interior do balde de modo a garantir que a densidade aparente seja aproximada a densidade real.

4.3. Dimensionamento de Biodigestor

Na quantificação dos resíduos do Mercado Grossista de Zimpeto, estimou-se que 77,42% dos resíduos são orgânicos. Somente esta fracção pode ser fornecida ao biodigestor. A densidade aparente é estimada em 8,58kg/L.

Visto que, o teor de matéria seca não foi medido, foi estimado em 14% com base num projecto holandês de resíduos de vegetais/frutas (GROENESTIJN, 2017).

A escolha do biodigestor canadiano teve em conta o material usado, que é geralmente plástico e a facilidade de construção, o que o torna mais barato. Os dados que consubstanciam o dimensionamento do biodigestor canadiano e escolhido são:

- **O volume diário dos resíduos sólidos orgânicos a serem reciclados**

$$M_{RO} = M_R \times \%Residuos\ Orgânicos$$

$$M_{RO} = 926640\ Kg \times 77,42\% = 717429,72Kg$$

$$V_{RO} = \frac{M_{RO}}{D_{Aparente}} = \frac{717429,72kg \times (1 - 0,14)}{8,58kg/L} = 71910,2L = 71,9m^3$$

- **Factor de relação resíduo-água**

$$f^{M_{RO}/V_{\acute{A}gua}} = \frac{1kg_{RO}}{2L_{\acute{A}gua}}$$

- **Volume da carga diária produzida**

$$V_C = V_{Ro} + V_{\acute{A}gua} = 71\,910,2\,L + 717429,72kg_{RO} \times (1 - 0,14) \times \frac{2L_{\acute{A}gua}}{1kg_{RO}} =$$

$$1305889,3\,L = 1305,9\,m^3$$

- **Tempo de retenção hidráulica (T_{RH})**

Para Junqueira (2014), o tempo de retenção hidráulica para excrementos de gado bovino varia de 20 a 30 dias, enquanto para Kelleher, et al., (2002) o tempo de retenção hidráulica para excrementos de gado varia de 30 a 60 dias. Por outro lado MATE Júnior (2022), no experimento que visava analisar as propriedades do biogás produzido através de diferentes substratos provenientes do mercado grossista do Zimpeto, concluiu que a partir do décimo quarto dia (14) o volume dos substratos em todos os reactores permaneceu constante enquanto (GROENESTIJ & VOOGT , 2023) explicaram que os resíduos orgânicos permanecem em média 44 dias no biodigestor. Assim sendo foi considerado um TRH de 20 dias.

- **Volume total da fossa do biodigestor**

$$V_{FB} = T_{RH} \times V_C = 20 \times 1\,305\,889,3\,L = 26117786,4\,L = 26117,79m^3$$

- **Medidas do biodigestor canadiano**

Para determinar os valores referentes a medidas do biodigestor, levou-se em conta as condições de funcionamento do sistema de biodigestão, como a inclinação correcta do talude, a proporção entre largura e comprimento da superfície da fossa e a altura útil conforme defendido por diversos autores.

$$V_{FB} = \frac{(a + b)}{2} \times h \times L$$

$$\tan 20^\circ = \frac{(a - b)}{2h} \rightarrow a = 0,7279h + b$$

A escolha da proporção foi de 1:5 para representar a relação entre a largura (a) e comprimento (L) da superfície superior da fossa, conforme a equação a seguir.

$$L = 5a = 3,6395h + 5b$$

Combinando as equações acima temos a equação geral:

$$5hb^2 + 5,459h^2b + 1,3245h^3 - V_{FB} = 0$$

Onde:

- $b \rightarrow$ incógnita da equação;
- $5h \rightarrow$ primeiro termo numérico da equação;
- $5,459h^2 \rightarrow$ segundo termo numérico da equação;
- $1,3245h^3 - V_{FB} \rightarrow$ terceiro termo da equação.

Aplicado a binómio resolvente temos:

$$b = \frac{-y \pm \sqrt{y^2 - 4xz}}{2x}$$

$$b = \frac{-5,459h^2 + \sqrt{(5,459h^2)^2 - 4(5h \times (1,3245h^3 - V_{FB}))}}{2x}$$

$$b = \frac{-5,459h^2 + \sqrt{29,90h^2 - 26,49h^3 + 20hV_{FB}}}{10h}$$

O valor da altura (**h**) pré-selecionada de acordo com a literatura foi de 4,5 m e para o V_{FB} calculado foi de 26 117 786,4 L, equivalente a 26 117,8 m³.

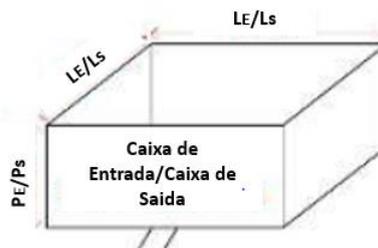
$$b = \frac{-5,459(4,5)^2 + \sqrt{29,90(4,5)^2 - 26,49(4,5)^3 + 20 \times 4,5 \times 26117,8}}{10 \times 4,5} = 31,6 \text{ m}$$

$$a = 0,7279h + b = 0,7279 \times 4,5 + 31,6 = 34,88 \text{ m}$$

$$L = 5a = 5 \times 34,88 = 174,38 \text{ m}$$

Os elementos complementares considerados nessa secção são as caixas de entrada e saída. A Caixa de entrada deve ser equivalente ao V_C , acrescido de 20% e a Caixa de saída, equivalente a três vezes o volume da caixa de entrada (em m^3). As caixas deverão ser de secção horizontal quadrada e com profundidade útil definida em 1 m.

Representação genérica para caixas de entrada e saída



$$V_{CE} = V_C \times (1+0,20) = PE \times L_{CE}^2 = 1\ 305\ 889,3 \times 1,20 = 1567067,16L = 1567,07 \text{ m}^3$$

$$PE = 1,00 \text{ m}; PS = 1,00 \text{ m};$$

$$PE \times L_{CE}^2 = V_{CE} \rightarrow L_{CE} = \sqrt{\frac{V_{CE}}{PE}} = \sqrt{\frac{1567,07 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}} = 39,59 \text{ m}$$

$$V_{CS} = V_{CE} \times 3 = 1567,07 \text{ m}^3 \times 3 = 4701,21 \text{ m}^3$$

$$PS \times L_{CS}^2 = V_{CS} \rightarrow L_{CS} = \sqrt{\frac{V_{CS}}{PS}} = \sqrt{\frac{4701,21 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}} = 68,57 \text{ m}$$

Tabela 12: Tabela-resumo dos parâmetros de dimensionamento do biodigestor canadiano.

Designação	Símbolo	Valor
Densidade aparente	$D_{Aparente}$	8,58 kg/L
Volume dos resíduos sólidos orgânicos	V_{RO}	71,9m ³
Massa dos resíduos sólidos orgânicos	M_{RO}	616,99ton
Factor de relação resíduo-água	$f_{M_{RO}/V_{Água}}$	1kg _{RO} /2L _{Água}
Volume da carga diária produzida	V_C	1305,89m ³
Volume da água	$V_{Água}$	1233,98m ³
Tempo de retenção hidráulica	T_{RH}	20 dias
Volume total da fossa do biodigestor	V_{FB}	26 117,8 m ³
Ângulo de inclinação do talude	φ	110° $\theta = \varphi - 90^\circ = 20^\circ$
Largura da base superior	a	34,88 m
Largura da base inferior	b	31,6 m
Altura	h	4,5 m
Comprimento	L	174,38 m
Volume da caixa de entrada	V_{CE}	1567,07 m ³
Volume da caixa de saída	V_{CS}	4701,21 m ³
Profundidade da caixa de entrada	PE	1,0 m
Profundidade da caixa de saída	PS	1,0 m
Lateral da caixa de entrada	L_{CE}	39,59 m
Lateral da caixa de saída	L_{CS}	68,57 m

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

Com base na análise nos dados recolhidos durante o trabalho de campo e revisão dos documentos fornecidos pelo representante do mercado grossista do Zimpeto foi possível concluir que:

- A maior parte dos RS são gerados nas manhãs, considerados momentos de pico, pois constitui momento de maior venda;
- A quantidade dos resíduos orgânicos dentro do mercado, mantem-se elevada (cerca de 77,42% dos resíduos produzidos), embora uma parte destes destinam-se aos pequenos criadores de animais;
- Os resíduos recicláveis estão em menores quantidades, uma vez estarem em menor quantidade e a quantidade existente é recolhida por colectores de resíduos para reciclagem.

É notório um crescimento anual do mercado grossista do Zimpeto. Devendo-se isto ao aumento do número de vendedores e volume de comércio, que passou de 314 vendedores em 2014 (SIQUELA, 2014) para 640 vendedores em 2023.

Dado o crescimento do Mercado e conseqüente crescimento do volume de resíduos gerados, de 785kg/dia em 2014 (SIQUELA, 2014) para 926,6 ton/dia em 2023, torna-se estratégico e sustentável a implantação de um biodigestor com a finalidade de produção de biogás.

Com base na literatura, foram identificados 4 tipos de biodigestores (descontínuo, contínuo chinês, contínuo indiano, contínuo canadiano e tendo em conta factores como o tipo e quantidade de resíduos orgânicos produzidos no mercado, a presente pesquisa conclui que o mais recomendado para o mercado grossista do Zimpeto é o biodigestor canadiano devido a sua facilidade de construção, resistência a danos na sua estrutura e capacidade para receber grande quantidade de resíduos.

Este tipo de biodigestor não só ajudará na gestão de resíduos sólidos, mas também permitirá a produção de biogás e biofertilizante, o que irá beneficiar a população.

5.2. RECOMENDAÇÕES

A implementação de um biodigestor para a produção de biogás surge como uma alternativa local para o suprimento de energia, contribuindo para a diversificação da matriz energética de maneira que haja uma redução do uso dos recursos naturais esgotáveis e uma dependência menor da ocorrência de chuvas para o uso de hidroelétricas. Sendo assim, o biogás pode ser considerado uma fonte renovável e economicamente atrativa.

Reconhecendo esta e outras realidades, e face as limitações identificadas ao longo da realização do presente trabalho científico, apontam-se as seguintes recomendações:

Viabilidade do Biodigestor:

- Avaliar a implementação de um biodigestor para a produção de biogás, visando a geração de energia que beneficiará os vendedores e utentes do mercado.

Uso do Efluente como biofertilizante:

- Analisar a viabilidade do uso do efluente da caixa de saída do biodigestor como biofertilizante.
- Realizar um estudo sobre os tratamentos necessários para tornar o biofertilizante eficaz e atender aos parâmetros desejados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(s.d.).

ALVES, A. M., SIQUEIRA, J. A., NOGUEIRA, C. E., CUNHA, E. A., ALVES, F. S., FEIDEN, A., . . . PETRAUSKI, A. (28 de Setembro de 2021). Proposta de metodologia de dimensionamento para biodigestores tubulares. *10(13)*, pp. 1-12.

ANDREOLI, C. V., ANDREOLI, F. d., TRINDADE, T. V., & HOPPEN, C. (2014). RESÍDUOS SÓLIDOS: ORIGEM, CLASSIFICAÇÃO E SOLUÇÕES PARA DESTINAÇÃO FINAL ADEQUADA. (Programa Agrinho).

ANTUNES, M. L. (2019). *ANÁLISE DE POSSÍVEIS CENÁRIOS PARA UTILIZAÇÃO DE BIOGÁS EM UM FRIGORÍFICO*. CAXIAS DO SUL.

ARAÚJO, A. P. (2017). *PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS UTILIZANDO BIODIGESTOR ANAERÓBICO*. Monografis, UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA, FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA.

BAÚ, D. F. (2015). *Biodigestores: Alternativa Energética na Otimização da Produção Agrícola*. Alegrete: Universidade Federal do Pampa.

BELLI Filho, P. (1995). *Stockage et odeurs des dejections animales cas du*. France .

BOND, W. (2015). *Equipamentos para biodigestores*. . Fortaleza: XIX Seminário nordestino de Agropecuária.

BORBA, S. M. (2006). *ANÁLISE DE MODELOS DE GERAÇÃO DE GASES EM ATERROS SANITÁRIOS: ESTUDO DE CASO* . Dissertação de , RIO DE JANEIRO.

CARTERPILAR. (2011). *Biogás*. Brasília: GE-Energy.

CONRADO, T. N. (2020). *POSSIBILIDADE DA IMPLANTAÇÃO DO BIOGÁS COMO ALTERNATIVA ENERGÉTICA EM UNIDADES MILITARES HIPOMÓVEIS DAS PMs E DO EXÉRCITO BRASILEIRO*. Trabalho de conclusão de curso, ESCOLA DE EQUIPAÇÃO DO EXÉRCITO, Rio de Janeiro.

COSTA, R. J. (2011). *PRODUÇÃO E APLICAÇÃO DE BIOGÁS*. Disertação de mestrado, Instituto Politécnico de Coimbra, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Coimbra.

DE MACEDO, F. J. (2013). *DIMENSIONAMENTO DE BIODIGESTORES PARA TRATAMENTO DE DEJETOS DA PRODUÇÃO SUÍNA* .

- Decreto n.º 13 /2006. (s.d.). REGULAMENTO SOBRE A GESTÃO DE RESÍDUOS.
- DEGANUTTI, R., PALHACI, M. d., ROSSI, M., TAVARES, R., & SANTOS, C. (2002). BIODIGESTORES RURAIS: MODELO INDIANO, CHINÊS E BATELADA.
- DGEDGE, E. E. (2017). *Dimensionamento de uma Central Térmica de Incineração de Resíduos Sólidos na Província de Maputo*. TRABALHO DE LICENCIATURA, UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA.
- DOS SANTOS, L. S. (2018). *Produção de biogás a partir de bagaço de laranja*. São Paulo.
- FEIDEN, A., REICHL, J., SCHWAB, J., & SCHWAB, V. (2004). *AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE UM BIODIGESTOR TUBULAR NA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS DE SUINOCULTURA* .
- FOGAÇA, J. R. (1 de 04 de 2014). *BRASILESCOLA*. Obtido em 14 de 10 de 2023, de <https://brasilescola.uol.com.br/quimica/combustiveis-fosseis.htm>
- FORTES, A. G., & RAIMUNDO, B. (2020). Bioenergia em Moçambique:tecnologias de produção, uso e aspetos sustentáveis. *Revista Desenvolvimento Socioeconomico em Debate-RDSD*.
- FRANCO, D. S., SANTOS, A. H., MALARD, A. A., ROLLER, W., & MIRANDA, E. C. (2015). *Guia técnico ambiental de biogás na agroindústria*.
- GERSCOVICH , D. M. (2009). *Estabilidade de taludes*. São Paulo: Oficina de Textos.
- GOLDEMBERG, J. (2009). *Biomassa e energia*. (Vol. 3). Quimica Nova.
- GROENESTIJ, J. V., & VOOGT , J. (June de 2023). Central biodigester for fresh market waste in Dhaka. (W. F. Research, Ed.) pp. 9-16.
- GROENESTIJN, V. J., BASTEIN, T., & SLAGHEK, T. (2017). *Verwaarding van reststromen in Nieuw Reijerwaard*. TNO report.
- GUEDES, M. T. (2023). *AVALIAÇÃO DA GERAÇÃO DE BIOGÁS ATRAVÉS DA CO-DIGESTÃO ANAERÓBIA DE RESÍDUOS CASCA DE LARANJA E GLICEROL BRUTO* . Porto Alegre.
- JUNQUEIRA, S. L. (2014). *GERAÇÃO DE ENERGIA ATRAVÉS DE BIOGÁS PROVENIENTE DE ESTERCO BOVINO: ESTUDO DE CASO NA FAZENDA ATERRADO*. Trabalho de Conclusão de Curso, UNIVERSIDADE FEDERAL DO

RIO DE JANEIRO, Departamento de Engenharia Mecânica, RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL.

KARLSSON, T., KONRAD, O., LUMI, M., SCHMEIER, N. P., MARDER, M., CASARIL, C. E., . . . PEDROSO, A. G. (2014). *MANUAL BÁSICO DE BIOGÁS* (1 ed.).

Lageado: UNIVATES.

KELLEHER, B. P., LEAHY, J. J., HENIHAN, A. M., O'DWYER, T. F., SUTTON, D., & LEAHY, M. J. (2002). Advances in poultry litter disposal technology – a review.

Em B. P. KELLEHER, J. J. LEAHY, A. M. HENIHAN, T. F. O'DWYER, D. SUTTON, & M. J. LEAHY, *Bioresource Technology* (Vol. 83, pp. 27-36).

KREITH, F. (2002). *HANDBOOK OF SOLID WASTE MANAGEMENT* (2 ed.). Colorado.

Kunz, A. (2019). *FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA, PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS, USO E TRATAMENTO DO DIGESTATO*. Concórdia, SC: Embrapa Suínos e Aves.

KUNZ, A. S. (2019). *FUNDAMENTOS DA DIGESTÃO ANAERÓBIA, PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS, USO E TRATAMENTO DO DIGESTATO*. Concórdia, SC.

LIMA, H. Q. (2011). *Avaliação dos modelos Hashimoto e AMS-III.D para produção de metano com dejetos de suínos*. Dissertação de mestrado.

LUCAS JUNIOR, J., & SOUZA, C. d. (2009). *Construção e Operação de Biodigestores*.

MATE JÚNIOR, Z. A. (2022). *Análise das propriedades do biogás produzido através de diferentes substratos provenientes do mercado grossista do Zimpeto*.

TRABALHO DE LICENCIATURA, UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE , Maputo.

MESA, D. (2017). *ESTUDO COMPARATIVO DO RENDIMENTO DE UM BIODIGESTOR PILOTO ALIMENTADO COM SUBSTRATOS DIFERENTES*.

Maputo.

MIOTTI, P. D. (2016). *A VALORIZAÇÃO DO RESÍDUO E O APROVEITAMENTO DO BIOGÁS NA AGROINDÚSTRIA DE CACOAL/RO*. Monografia, FUNDAÇÃO

UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA – CAMPUS PROFESSOR FRANCISCO GONÇALVES QUILES, Departamento Acadêmico de Engenharia de Produção, Cacoal.

MOÇO, E. A. (2012). *Projeto de uma unidade produtora de biogás*. Tese de Mestrado, Instituto Politécnico Tomar, Escola Superior de Tecnologia de Tomar.

- MONTE, M. M. (2010). *Contributo para o Estudo da Valorização Energética de Biogás em Estações de Tratamento de Águas Residuais*. Dissertação, Universidade Nova de Lisboa, Departamento de Ciências e Engenharia do Ambiente, Lisboa.
- MONTEIRO, J. H., FIGUEIREDO, C. E., MAGALHÃES, A. F., BRITO, J. C., ALMEIDA, T. P., MANSUR, G. L., & MELO, M. A. (2001). *Manual Gerenciamento Integrado de Resíduos Sólidos* (15 ed.). Rio de Janeiro.
- MOTA, J. C., ALMEIDA, M. M., Alencar, V. C., & CURI, W. F. (2009). CARACTERÍSTICAS E IMPACTOS AMBIENTAIS CAUSADOS PELOS RESÍDUOS SÓLIDOS: UMA VISÃO CONCEITUAL.
- OLIVEIRA, R. D. (2009). *GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DO BIOGÁS PRODUZIDO PELA FERMENTAÇÃO ANAERÓBIA DE DEJETOS EM ABATEDOURO E AS POSSIBILIDADES NO MERCADO DE CARBONO*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos.
- PEDRO, M. B. (2018). *A extensão da segurança social para os trabalhadores do sector informal: Caso dos mercados Municipais do Zimpeto e Xipamanine*. Trabalho de Conclusão do Curso, Universidade Eduardo Mondlane, Faculdade de Letras e Ciências Sociais , Maputo.
- QUEVEDO, R. T. (2016). *Biogás*. Obtido em 13 de 06 de 2023, de <https://www.infoescola.com/>: <https://www.infoescola.com/combustiveis/biogas/>
- ROTARU, A. (2009). Anaerobic degradation of limone and p-xylene in fresh-water enrichment cultures. pp. 61-70.
- SIQUELA , L. A. (2014). *Análise do reaproveitamento de resíduos sólidos nos mercados da Cidade de Maputo*.
- SOTTI, G. (2014). *BIOGÁS DE DIGESTÃO ANAERÓBIA DOS RESÍDUOS ORGÂNICOS DE RESTAURANTE UNIVERSITÁRIO COM EFLUENTE SANITÁRIO*. TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA AMBIENTAL.
- VIÑAS, M., MARTINEZ, J., & BASELLI, B. (1993). Advantages of an anaerobic reactor for TMP wastewater with separated acidogenic and methanogenic stages. Em M. VIÑAS, J. MARTINEZ, & B. BASELLI, *Environmental Technology* (Vol. 14, pp. 995-1000).

WIKANDARI, R., NGUYEN, H., MILLATI, R., NIKLASSON, C., & TAHERZADEH, M. J. (2015). Improvement of Biogas Production from Orange Peel Waste by Leaching of Limonene. *2015*, pp. 1-7.

ZENATTI, D. C. (2019). BIOMETANO OBTENÇÃO APROVEITAMENTO.

ZHANG, X., ZHANG, B., MIAO, R., ZHOU, J., YE, L., JIA, D., . . . LI, X. (2018). Influence of Temperature on the Bacterial Community in Substrate and Extracellular Enzyme Activity of *Auricularia cornea*. *46*(3), 224–235.

ANEXOS

ANEXOS

Anexo 1: Caracterização, pesagem das amostras e composição gravimétrica dos RS gerados no Mercado Grossista de Zimpeto.

Classificação	Semana 1					Semana 2					Semana 3					Semana 4					Categorização	Massa	Percentual				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5							
	Massa																							Média			
Couve+Folha de Cenoura+Capim+alface	5	4,2	4,3	5,8	5	6,6	5,9	10,8	2,6	12,7	0,4	3,5	7,8	13,9	8,1	6,1	3,5	7,1	10	1,6	6,245	Orgânicos	18,655	77,42%			
Tangerina+Laranja+Limão+Melão	10,8	15,3	27,2	21,2	25,1	18,7	16,6	1	6,4	0	12,1	9,4	12,6	6,2	1,2	11,2	5,1	2,3	4,7	7	10,705						
Batata+Mandioca	0	0	0	1,8	4,8	0	0,4	0	0	0	1,1	0	0	3	0	0	0	0	0	0,3	0,57						
Côco	0,6	0	0	0,4	0	0	0	0,2	0	0	0,5	0,6	0,2	0	0,6	0,4	0	0	0	0	0,175						
Pimento+Cenoura+Tomate	1	0	0	0	0	0	0	0,3	4,9	0	0,1	3,1	0	0	5	0	1,7	1,5	4	2,7	0,96						
Papel e Papelão	1,8	1,4	1,8	1,2	1,3	1,6	1,9	3	8	4	4	2	0	1	1	5	1	3	9	7	1,48				Papel e Papelão	1,48	6,14%
Vidro	0,9	1,6	0	0	0,1	1,4	1,1	0	2,1	0,4	0	5	1,9	0,4	0	5	0,7	1,9	0,6	0	0,705				Vidro	0,705	2,93%
Metal (Ferroso e não ferroso)	0	0,1	0	0	0,1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,01				Metal (Ferroso e não ferroso)	0,01	0,04%
Plástico	0,4	0,6	0,1	0,3	2	1,8	1,7	0,3	0,9	0,4	0,5	0,4	0,8	4	1	0,7	0,5	1	2	3	0,72				Plástico	0,72	2,99%
Finos	10,9	2,5	0	0	0	0,3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,685				Finos	0,685	2,84%
Outros	0,1	3,4	2,2	2,7	6,1	0,2	2,7	0	4,7	0,1	0	0,1	1,9	0	6	0	2	9	9	1	1,84	Outros (mistura)	1,84	7,64%			
Total	31,5	29,1	35,6	33,4	44,5	30,6	30,3	13,9	24,4	14	15,1	19,8	25,2	24,9	2	21,4	13,8	17,1	21,7	15,6	24,095		24,095	100,00%			

Anexo 2: Densidade aparente dos RS produzidos no Mercado Grossista de Zimpeto.

Densidade Aparente dos resíduos produzidos no M Zimpeto				
Pesagem	Massa (kg)	Volume (L)	Densidade (kg/L)	Média
1	2.4	20	8.9	8.580
2	2	20	6.7	
3	2	20	8	
4	2.3	20	10.9	
5	2.1	20	12.30	
6	2	20	8.4	

Anexo 3: Quantificação dos RS do Mercado Grossista de Zimpeto.

Categorização	Percentual	Massa diária (kg/dia)	Massa semanal (kg/semana)	Massa mensal (kg/mês)	Massa anual (kg/ano)
Orgânicos	77.42%	717429.72	5022008.07	21522891.72	258274700.64
Papel e Papelão	6.14%	56917.50	398422.51	1707525.05	20490300.56
Vidro	2.93%	27112.73	189789.10	813381.86	9760582.36
Metal (Ferroso e não ferroso)	0.04%	384.58	2692.04	11537.33	138447.98
Plástico	2.99%	27689.60	193827.17	830687.86	9968254.33
Finos	2.84%	26343.57	184405.01	790307.20	9483686.41
Outros	7.64%	70762.30	495336.09	2122868.98	25474427.72
Total	100.00%	926640.00	6486480.00	27799200.00	333590400.00