



**FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE**

TRABALHO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

**DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR DE MÚLTIPLO USO, ISTO
É, COMO PRODUTOR DE BIOGÁS PARA ENERGIA DOMÉSTICA E
BIOFERTILIZANTE**

Autora: Cecília Roberto Nhancale

Supervisor: Prof. Dr. Eng. Miguel Meque Uamusse

Maputo, Setembro de 2023

FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
CURSO DE ENGENHARIA DO AMBIENTE

TRABALHO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

DIMENSIONAMENTO DE UM BIODIGESTOR DE MÚLTIPLO USO, ISTO
É, COMO PRODUTOR DE BIOGÁS PARA ENERGIA DOMÉSTICA E
FERTILIZANTE

Relatório submetido ao Departamento de Engenharia Química, Faculdade de Engenharia, da Universidade Eduardo Mondlane, como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Engenharia do Ambiente.

Autora: Cecília Roberto Nhancale

Supervisor: Prof. Dr. Eng. Miguel Meque Uamusse

Maputo, Setembro de 2023



FACULDADE DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

TERMO DE ENTREGA DE RELATÓRIO DE ESTÁGIO PROFISSIONAL

Declaro que o estudante _____

Entregou no dia ____/____/20____ as ____ cópias do relatório do seu Trabalho de Licenciatura com a referência: _____ Intitulado: _____

Maputo, ____ de _____ de 20____

A Chefe de Secretaria

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Cecília Roberto, declaro que o presente trabalho de licenciatura resulta da minha investigação e da orientação dada pelo supervisor, e que o conteúdo é original e todas as fontes consultadas ao longo do trabalho foram devidamente citadas no texto e nas referências bibliográficas.

Maputo, Setembro de 2023

A autora

(Cecília Roberto Nhancale)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

Ao meu Esposo por todo amor e incentivo, por nunca medir esforços durante todos esses anos para a concretização dos meus sonhos.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, por ter-me concedido saúde, forças e resiliência para enfrentar todos os momentos difíceis, pelos momentos bons e proveitosos que também pude desfrutar durante esse percurso e ter chegado até aqui.

Agradeço a minha família pelo apoio nestes últimos meses de estudo.

Agradeço aos professores do Departamento de Engenharia Química da Faculdade de Engenharia, com os quais tive a oportunidade de aprender e conviver.

Agradecimento estende-se aos meus melhores amigos Elton de Jesus Lipanga, Alexandre Adriano Mubetene e a Nilza David Tsambo Foloco por todo apoio que me dedicaram cada um do seu jeito; e igualmente a minha turma e aos colegas do curso de engenharia do Ambiente por apoio moral nos estudos.

Agradeço igualmente aos professores do departamento de Engenharia Química da Universidade Eduardo Mondlane na pessoa do Meu Supervisor, o Professor Doutor Miguel Uamusse, pelo encorajamento, pela insistência no trabalho, Muito obrigado igualmente ao Professor Jonas, que algumas vezes me ajudou a adquirir este estágio.

RESUMO

O aumento de preço dos combustíveis fósseis e igualmente o aquecimento global desde início da década de 1970, obrigou os estados para uma pesquisa séria de energias sustentáveis e igualmente energias renováveis. Neste contexto, surge o presente projecto, no qual a partir do estágio profissional que é parte da culminação da licenciatura em Engenharia do Ambiente, no qual a pesquisa se centrou em design de biodigestor caseiro e com objectivo com finalidade de produzir biogás caseiro para energia primária de para cozinha. Estas novas formas de produzir energia limpa ou melhor renovável criam um equilíbrio entre a natureza e as necessidades do Homem, as energias renováveis tem uma vantagem de auto regeneração se comparado com as não renováveis.

O presente trabalho foi realizado em Inkassane, Distrito Municipal da Katembe, Cidade de Maputo, numa residência familiar que se dedica a criação de gado bovino, o que torna propício no desenvolvimento deste empreendimento.

A metodologia usada neste trabalho, consistiu em dimensionar um biodigestor e controlar a mistura ou a biomassa durante 30 dias e realizar o teste físico para produção de biogás através de excrementos bovino e suíno em uma residência que era assistido por uma empresa chamada JEM - Bioenergia Ltd.

Apos a produção do biogás, seguiu-se uso de subproduto do biodigestor para fins de fertilização das hortas no local de estudo, pela experiencia realizada a composição do biogás foi de 50% de metano, e igualmente o fertilizante mostrou-se cheio de nutrientes e recomendável para agricultura

Palavras-chave: Biodigestor, Energias Renovável, Sustentabilidade, Biogás e Biofertilizante.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Composição do biogás	14
Tabela 2. Equivalência entre o biogás e outros combustíveis	19
Tabela 3. Dimensionamento do material para construção do biodigestor	30
Tabela 4. Formulas para o Dimensionamento	30
Tabela 5. Resultados do Dimensionamento do Biodigestor	33
Tabela 6. Resultados do Biogás	34
Tabela 7. Preço do material no mercado Moçambicano.....	35

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ilustração de combustíveis fósseis Carvão, Gás Natural e Petróleo	6
Figura 2. Matriz energética nacional.....	7
Figura 3. Biomassa tradicional	10
Figura 4. Tipos de Biomassa Moderna	11
Figura 5. Excremento e a respectiva manada de gado bovino.....	12
Figura 6. Fases da Digestão Anaeróbica.....	15
Figura 7. Temperatura das bactérias.....	17
Figura 8. Representação de Biodigestor Modelo Indiano	24
Figura 9. Biodigestor modelo chinês.....	25
Figura 10. Biodigestor Modelo Canadense.....	26
Figura 11. Biodigestor Modelo Caseiro.....	27
Figura 12. Mistura e enchimento do biodigestor e chama do Biogás	32

Conteúdos	Páginas.
DECLARAÇÃO DE HONRA	I
DEDICATÓRIA	II
AGRADECIMENTOS.....	III
RESUMO	IV
Capitulo 1. Introdução.....	1
1.1. Introdução.....	1
1.2. Identificação do problema.....	3
1.3. Objectivos.....	4
1.4. Justificativa	4
Capitulo 2. Revisão bibliográfica	6
2.1. Geração de Resíduos na Agropecuária	6
2.2. Políticas de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis.....	8
2.3. Estratégia de Desenvolvimento de Energias Renováveis 2011 - 2025	8
2.4. Política e Estratégia de Biocombustíveis.....	9
2.5. Biomassas e bioenergias em Moçambique	10
2.6. Biogás e sua Caracterização.....	13
2.6.1. Composição do Biogás	14
2.6.2. Digestão Anaeróbica	14
2.8.1. Hidrólise	15
2.8.2. Acidogénese	16
2.8.3. Acetogénese	16
2.8.4. Metanogénese	16
2.6.3. Factores que Influenciam na Biodigestão Anaeróbica	16
2.6.4. Substrato para a Produção de Biogás.....	19
2.6.5. Potencial Energético do Biogás	19
2.6.7. Desvantagens e Vantagens	20
2.7. Biodigestor	22

2.7.1. Princípio de Funcionamento dos Biodigestores	23
2.7.2. Formas de Abastecimento dos Biodigestores	23
2.7.3. Tipos de Biodigestores.....	24
2.8. Biofertilizante	28
Capitulo 3. Trabalho de campo.....	29
3.1. Descrição da área de estudo.....	29
3.2. Matérias e Método para o Dimensionamento do Biodigestor	29
3.3. Procedimento Experimental	31
3.3.1. Matérias e Reagentes para a Digestão Anaeróbica – Produção do Biogás..	31
3.3.2. Primeira Experiencia	31
3.3.2. Segunda Experiencia	32
3.4. Apresentação de Resultado e Discussão.....	33
Capitulo 4. Conclusão e recomendações	36
4.1. Conclusões.....	36
4.2. Recomendações	37
5. Revisão Bibliográfica	38

Capítulo 1. Introdução

1.1. Introdução

Moçambique é um dos países do mundo que possui um enorme potencial energético, como energias renováveis (energia hídrica, biomassa, energia solar e energia eólica), combustíveis fósseis (gás e carvão) o que proporciona condições favoráveis para a satisfação não apenas das suas necessidades domésticas bem como da região da África Austral e Europa.

Com efeito, as recentes descobertas de carvão mineral, cujas reservas são estimadas em mais de 20 biliões de toneladas, e de gás natural, com uma estimativa de 277 trilhões de pés cúbicos, associadas aos abundantes recursos hídricos cujo potencial é de 18.000 MW, colocam Moçambique numa posição bastante privilegiada, na região e no mundo (ALER, 2017) .

Apesar de carvão e o petróleo serem os mais utilizados pelas indústrias e sua queima fornecer a energia que as indústrias necessitam para funcionar, impulsionando economias, porém na queima desses combustíveis, libertam-se grandes quantidades de dióxido de carbono (CO₂), um dos gases poluentes que passa a fazer parte de Gases de Efeito de Estufa (GEE). Estes combustíveis fósseis são fontes de energia esgotáveis e afectam negativamente o ambiente. Por essa razão há necessidade de substituí-los por fontes renováveis e mais sustentáveis de gerar energia limpa.

Apesar do alto custo de instalação de tecnologias de energias renováveis, a utilização das fontes renováveis de energia pode reduzir a dependência dos combustíveis fósseis, reduzir os desperdícios e ampliar o acesso à energia e, desta forma, influir na inserção económica e social da população “excluídas”, gerando emprego e renda com custos ambientais reduzidos.

No entanto, o acesso a energia limpa, de qualidade e moderna, constitui actualmente um dos maiores desafios a ser alcançado na sua totalidade, segundo a Organização das Nações Unidas (ONU). Igualmente, a ONU, através das 17 metas traçadas e conhecidas como “ Objectivo do Desenvolvimento Sustentável (ODS) ” estabeleceu no seu ODS7, acesso universal de energia até 2030, isto preconiza, que todos os povos do globo terrestre ou melhor todos os países filiados na ONU, incluindo Moçambique, deve fornecer as populações o acesso total de energia confiável, sustentável e moderna até 2030.

A produção de biogás, faz parte da energia da biomassa que é toda matéria orgânica de origem vegetal ou animal, utilizada na produção de energia, ela é obtida através da decomposição de uma variedade de recursos orgânicos, como plantas, madeira, resíduos agrícolas, restos de alimentos e excrementos.

O presente projecto consiste em dimensionar um biodigestor de múltiplo uso, produção de biogás e fertilizantes para uso na agricultura. Sendo o metano o principal componente, que não tem cheiro, cor ou sabor, mas outros gases da mistura podem conferir um ligeiro odor, que através de um processo simples de filtragem podem ser facilmente eliminados da composição do biogás. A matéria-prima para a produção do biogás é o excremento de bovinos e suínos produzidos na propriedade onde é instalado. Esta tecnologia, mantém a autonomia da família em relação ao principal combustível doméstico, além disso, a manutenção simples não compromete as demais actividades da unidade de produção.

O processo de decomposição ou transformação da matéria, até posterior produção do gás é realizado dentro de um biodigestor que é um equipamento que transforma a matéria-prima em gás (Biogás) inflamável, que pode substituir a lenha, o carvão e combustíveis fósseis. A produção do biogás é baseada no processo de digestão anaeróbia, ou seja, no qual os dejectos que seriam descartados são diluídos em água e sofrem um processo de biodigestão sem a presença do oxigénio, devido às acções de bactérias anaeróbicas.

1.2. Identificação do problema

Actualmente no Distrito Municipal da Katembe existem numerosas florestas, igualmente verifica-se um crescimento populacional devido ao franco desenvolvimento proporcionado com construção de vias de acesso como a Ponte Maputo-Katembe, estradas e igualmente sendo uma zona de expansão habitacional. Algumas árvores fornecem lenha para a produção de carvão, que são os combustíveis mais utilizados pelas famílias nesse distrito. Apesar de estas árvores se encontrarem dispersas pelo distrito, alguns bairros não têm acesso fácil a fontes de lenha, obrigando os seus habitantes a percorrer distâncias que variam de dois a sete quilómetros à sua procura. Parte desta dificuldade é causada pela falta de desenvolvimento rural, que é notória pelo facto das vias de acesso serem precárias e de longas distâncias o que condiciona o acesso a diversos serviços de necessidade básica. O distrito enfrenta problemas sérios de desflorestamento para uso como energia doméstica para confeccionar os alimentos.

O Departamento de Engenharia Química da Universidade Eduardo Mondlane através das suas formas de culminação dos estudos, propôs um estágio profissional na empresa JEM-Bioenergia, Ltd, no qual devia participar na construção de um biodigestor no qual criará impacto sociais como, aumento da demanda de energia para as famílias e igualmente com este projecto criará autonomia financeira das populações no Distrito de Katembe com novos postos de trabalho.

1.3. Objectivos

O objetivo Geral deste relatório é Dimensionar um biodigestor para múltiplo uso, produção de gás para uso doméstico e produção de biofertilizante. E para o alcance deste objectivo são apresentados os seguintes objectivos específicos:

- Construir um protótipo de biodigestor;
- Caracterizar a biomassa; e
- Analisar a qualidade do biofertilizante.

1.4. Justificativa

A Organização das Nações Unidas (ONU), estabeleceu metas até 2030 conhecidas como Objectivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), no qual através do objectivo numero 7 (ODS7), preconiza o acesso universal de energia até 2030. Neste contexto, a biomassa é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética nacional principalmente pelo facto do relevo, hidrografia e clima tropical permitirem um potencial para exploração desta forma de energia. Além da biomassa, o país pode aproveitamento uma ampla matriz energética, como eólica, solar e biomassa, reduzindo assim, a dependência dos combustíveis fósseis.

Os biocombustíveis são derivados da biomassa que podem substituir, parcial ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão ou em outro tipo de geração de energia.

O biogás é um gás combustível renovável, cuja atractividade é baseada por um lado na geração descentralizada de energia, e por outro lado na redução de impactos ambientais negativos. Em termos de impactos ambientais podem-se citar vários aspectos relacionados à produção de biogás: A redução de emissões de gases de efeito estufa, que pode ocorrer pela redução da emissão de dióxido de carbono ou redução da emissão de óxido nitroso e metano, os quais são liberados quando se tem um tratamento inadequado e não controlado de resíduos orgânicos.

Portanto a implementação do presente projecto, visa a contribuir, no desenvolvimento ambiental e sócio-económico do Bairro Inkassane em Katembe, como forma a mitigar aquilo que são suas dificuldades referentes ao acesso de combustíveis como a lenha e carvão que são utilizados como peça base para a satisfazer suas necessidades.

O uso do biodigestor é uma forma sustentável, simplificada e apropriada para o saneamento rural, uma vez que tem como matéria-prima os excrementos de animais bovinos e suínos, que muitas vezes são descartados no meio de forma desordenada.

Sem deixar de lado seu papel de produzir biogás usado nas residências como fonte de energia para a cozedura de alimentos, pode ser usado como fonte de iluminação através de candeeiros e ainda fornecer biofertilizantes para o uso na agricultura durante o processo de produção. Além disso é uma mais-valia na economia das famílias, uma vez que a implementação deste projecto tem custos relativamente baixos, e somente refletiria no início (na compra dos materiais e montagem), daí em diante pode considerar-se hipoteticamente como uma energia gratuita e limpa.

Capítulo 2. Revisão bibliográfica

2.1. Geração de Resíduos na Agropecuária

Moçambique apresenta uma diversidade de fontes energéticas que são utilizados como recursos para fornecer energia necessária para a satisfação das necessidades existentes, essas fontes de energia constituem a matriz energética nacional, porém de entre essas fontes de energéticas existe um grupo que são chamadas de fósseis, ou seja, são um grupo de recursos naturais disponíveis na natureza utilizados para a produção de energia por meio de sua queima e oriundos da decomposição de material orgânico ao longo do tempo. Os três principais tipos de combustíveis fósseis são: o petróleo, o gás natural e o carvão mineral, embora existam outros (ALER, 2017).



Figura 1. Ilustração de combustíveis fósseis Carvão, Gás Natural e Petróleo

Fonte: (ALER, 2017)

Os combustíveis fósseis têm um papel muito importante na sociedade como os que conhecemos hoje, pois eles representam mais de 75% da demanda energética mundial de acordo com a matriz energética abaixo, sendo usados em veículos, indústrias e residências. Por outro lado, o uso de combustíveis fósseis está associado a diversos problemas ambientais. A dependência da matriz energética mundial em relação às fontes não renováveis de energia faz com que os reservatórios diminuam cada vez

mais devido à exploração intensa e desenfreada, criando uma escassez dos recursos naturais. Por serem fontes não renováveis de energia, a disponibilidade dos combustíveis fósseis está ameaçada, e portanto, a produção de energia mundial também.

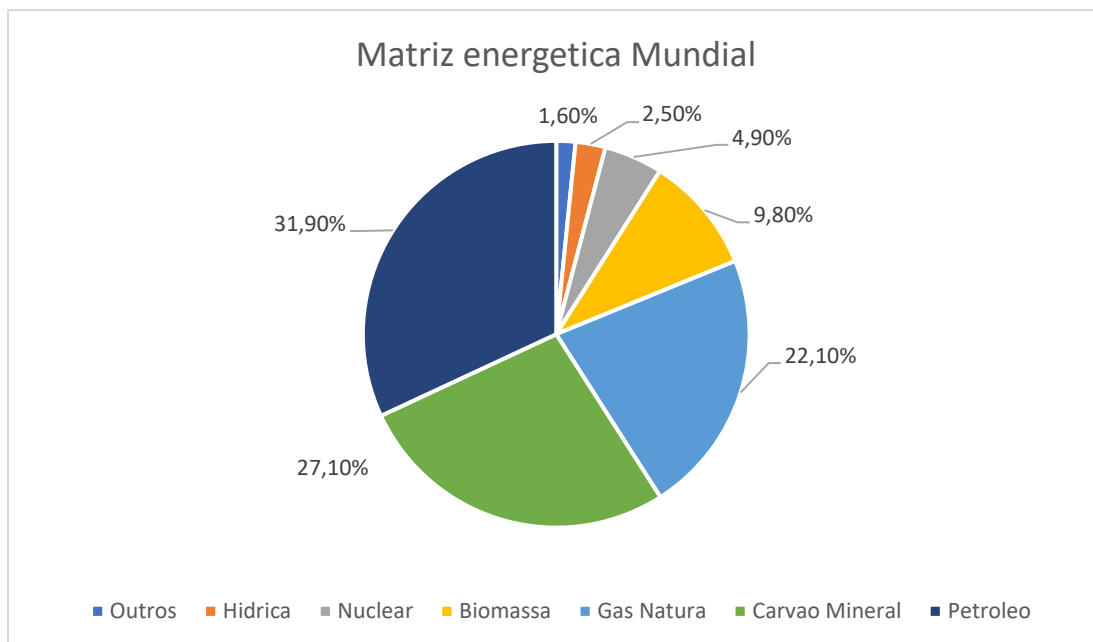


Figura 2. Matriz energética nacional

Fonte: (ALER, 2017)

Quanto mais reduzida a disponibilidade dos combustíveis fósseis, devido ao intenso uso de seus reservatórios, mais elevados ficam seus preços no mercado. Erros de armazenamento e extração, por exemplo, do gás natural e petróleo podem causar inúmeros e graves problemas tanto ao meio ambiente quanto à saúde. Por conta desses factos o mundo virou sua atenção em procurar meios mais sustentáveis e acessíveis de gerar energia. Moçambique não ficando de fora criou novas políticas e estratégias com o objectivo de promover e facilitar o acesso da população às energias renováveis, expandir a cobertura da Rede Eléctrica Nacional (REN), melhorar a eficiência tecnológica, aumentar a disponibilidade de energia eléctrica a preços competitivos, promover a participação do sector privado e práticas ambientalmente sustentáveis

2.2. Políticas de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis

A Política de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis (PDENR), aprovada pela Resolução n.º 62/2009 de 14 de Outubro, foca-se na importância, no uso e aproveitamento dos recursos energéticos renováveis disponíveis para a satisfação das necessidades de energia e desenvolvimento sustentável em Moçambique, procurando acelerar o acesso às formas modernas de energia, assim como criar uma plataforma de investimento nesta área.

Além de assumir que grande parte dos Moçambicanos dependem da biomassa lenhosa, bem como da capacidade humana e animal, como principais fontes de energia para satisfazer as suas necessidades energéticas básicas, a PDENR reconhece que Moçambique não aproveita o seu potencial natural em energias novas e renováveis e enfatiza a necessidade de melhorar o acesso da população economicamente mais carenciada a essas energias.

Segundo a PDENR, a noção de energias novas e renováveis inclui, a energia animal, a biomassa, a energia hídrica, a radiação solar, o vento, as águas térmicas do subsolo e as águas oceânicas (AUTUNES, 2019).

2.3. Estratégia de Desenvolvimento de Energias Renováveis 2011 - 2025

A Estratégia de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis (EDENR) elaborada em 2011, em conformidade com as diretrizes do extinto Ministério da Energia (agora MIREME), na EDENR definiram-se como fontes renováveis estratégicas para os Sistemas Isolados de Energia (SIE) a energia solar, a energia eólica, a energia hídrica de micro e mini-escalas, e a promoção de outras fontes renováveis à escala mini/micro. No que respeita à Rede Eléctrica Local (REL), são consideradas estratégicas a energia eólica, a energia hidroelétrica de grande e média escala, a energia de biomassa em co geração, a energia oceânica e a energia geotérmica. A temática da biomassa é também acolhida nesta estratégia, reconhecendo-se que a mesma é a fonte energética primária das famílias Moçambicanas, e que o seu consumo constitui uma ameaça à conservação da cobertura florestal, dado que a

prática tem resultado em níveis de devastação significativos ao redor das áreas urbanas e corredores rodoviários e ferroviários.

Desta forma, a EDENR apresenta as fontes de energia renováveis ou a electricidade como opções viáveis para a desaceleração/contenção dos processos de desflorestação. A presente estratégia aborda também possíveis mecanismos de promoção da utilização dos recursos energéticos renováveis, como a tarifa de acesso à rede ou *feed-in-tariff*, identificando-a como um instrumento regulamentar que permite um tratamento favorável ao investimento no âmbito das energias novas e renováveis em rede e fora da rede, diferenciando ambos os casos, e a implementação de incentivos e benefícios fiscais.

2.4. Política e Estratégia de Biocombustíveis

A Política e Estratégia de Biocombustíveis foi aprovada pela Resolução n.º 22/2009 de 21 de Maio, e pretende promover os biocombustíveis através da criação de uma plataforma adequada, tendo como base dois princípios fundamentais: (i) “A promoção e aproveitamento dos recursos agro-energéticos para a segurança energética e desenvolvimento socioeconómico sustentável, contribuindo ao mesmo tempo para a redução das emissões de Gases de Efeito Estufa que agravam o fenómeno do aquecimento global, através da selecção e adopção de tecnologias e metodologias de produção na agricultura e na indústria mais adequadas”, e (ii) “a necessidade de fazer face à instabilidade, imprevisibilidade e volatilidade dos preços dos combustíveis no mercado internacional, bem como reduzir a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis importados e o peso da factura das importações sobre a economia nacional”.

Esta política veio definir estratégias para o desenvolvimento dos biocombustíveis como forma de aproveitamento dos recursos naturais do país e promoção do combate à pobreza, diversificando o mercado energético nacional e procurando fontes energéticas menos poluentes que os combustíveis fósseis tradicionais (AUTUNES, 2019).

2.5. Biomassas e bioenergias em Moçambique

No contexto energético, o termo “biomassa” refere-se ao material biológico ou orgânico, não fóssil, de origem vegetal, animal ou microbiana, que pode ser convertido em energia chamada bioenergia. Este material inclui matéria vegetal gerado por fotossíntese, resíduos agrícolas, florestal, dejectos de animais e a fracção biodegradável dos resíduos urbanos e industriais (MONDJANE, 2019).

A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos:

- Biomassa tradicional; e
- Biomassa moderna.

Biomassa tradicional é composta essencialmente pela lenha e resíduos naturais.



Figura 3. Biomassa tradicional

Fonte: (MONDJANE, 2019)

Biomassa moderna, produzida a partir de processos tecnológicos avançados e eficientes, tais como biocombustíveis líquidos e gasosos, briquetes, pellets, os cultivos de espécies como o das florestas plantadas e o da cana-de-açúcar.



Figura 4. Tipos de Biomassa Moderna

Fonte: (MONDJANE, 2019)

Como referência, Moçambique é um dos dez maiores produtores de carvão vegetal do mundo. Estima-se que os resíduos da actividade florestal a nível nacional poderiam gerar 750 GWh de energia e só na Província de Maputo poderiam gerar-se 236.520 MWh. Além disso, estima-se que é possível produzir 3,1 milhões de barris equivalentes de petróleo por dia de biocombustíveis sem afectar a produção agrícola ou pôr em risco a biodiversidade (ALER, 2017).

A biomassa florestal, utilizada para produção de energia eléctrica ou térmica, pode ser proveniente de sobras ou resíduos de lenha da exploração convencional da madeira ou proveniente de árvores que são colhidas após a plantação dedicada à exploração florestal para fins energéticos. Segundo a avaliação da floresta do país existe um total de 1,6 mil milhões de toneladas de biomassa lenhosa de origem natural disponível em Moçambique, maioritariamente concentrada nas Províncias de Zambézia e Niassa. Ainda de acordo com FUNAE, o potencial estimado para biomassa florestal residual com algum potencial para incorporação de resíduos agro-industriais é de 1.006 MW.

Moçambique apresenta um grande potencial também para a exploração da bioenergia, sobretudo por produzir grandes quantidades de resíduos agro-pecuários, biomassa florestal, cascas de arroz, cascas de castanha de caju e cascas de coco. A superfície florestal do País é cerca de 55 milhões de hectares o que constitui uma oportunidade para a obtenção de benefícios através da gestão adequada, que contribui no desenvolvimento socioeconómico do País (NUBE, 2016).

Por outro lado, o País dispõe de uma grande parte de produção pecuária (gado bovino), com cerca de 205 612.00 cabeças de gado.

A produção pecuária é uma actividade relevante no sector agrário, em virtude do papel que desempenha na estratégia de redução da pobreza, e da sua crescente contribuição para o desenvolvimento socioeconómico do País. Além destas potências vantagens ainda se pode obter outras oportunidades como a de geração de bioenergia através do esterco, mas devido ao fraco conhecimento das tecnologias não são aproveitados na sua totalidade.



Figura 5. Excremento de gado bovino

Fonte: (MONDJANE, 2019)

Actualmente o país possui cerca de 80% da sua matriz energética baseada em biomassa, 13,2% Energia hidráulica e restantes 6.8% solar, eólica, combustíveis fósseis (Boletim da Republica, 2009).

Esta biomassa é usada de uma forma ineficiente, pela queima directa e constituindo um perigo a saúde principalmente pela inalação do monóxido de carbono durante a confeção dos alimentos, outro perigo é a emissão de dióxido de carbono para atmosfera durante a sua combustão.

Estima-se que os resíduos da actividade florestal a nível nacional podem gerar energia aem 750 GWh. A produção de bioenergia moderna em Moçambique está numa fase embrionária (NUBE, 2016). O biodiesel e biogás são fontes promissoras de energia, de longo prazo, com potencial para minimizar os impactos ambientais e as preocupações de segurança, representadas pela dependência actual dos combustíveis fósseis em Moçambique.

2.6. Biogás e sua Caracterização

O biogás é uma mistura gasosa produzida a partir da decomposição anaeróbica (ausência de oxigênio) de qualquer substância orgânica, como dejectos de animais, resíduos vegetais e também do lixo que se dá através da acção de determinadas espécies de bactérias (Hermann, 2020). O biogás tem origem em um processo biológico e a sua ocorrência natural pode ser observada em sistemas como pântanos, fundo de lagos e dejectos de animais. Porém em termos gerais, caracteriza-se por ser incolor, inodoro, insolúvel e de densidade baixa. A matéria orgânica quando decomposta em meio anaeróbio, é convertida na mistura gasosa chamada biogás por meio de microorganismos fermentadores, produzindo energia em forma de calor. Trata-se de um biocombustível renovável composto principalmente por metano (CH_4) apresentado na equação abaixo, dióxido de carbono e traços de outros gases. A bio digestão pode reduzir o potencial poluente das emissões dos resíduos orgânicos com alto teor de demanda bioquímica de oxigênio, dos gases do efeito estufa, óxidos de nitrogênio e hidrocarbonetos, ao mesmo tempo em que é capaz de gerar como subproduto do processo um adubo orgânico. O potencial energético do biogás esta relacionado com a quantidade de metano presente no biogás, o que ira determinar o seu poder calorífico.

O biogás apresenta um forte efeito corrosivo, sendo assim necessário usar um condensador e filtro antes de ser usado por consequência da presença de traços de sulfeto de hidrogênio que por sua vez contem substâncias como enxofre que também são consideras poluentes do ar de acordo com os padrões nacionais de qualidade do ar (MICOA, 2012).

2.6.1. Composição do Biogás

A composição do biogás depende directamente do tipo específico da biomassa usada no processo de produção. O biogás é constituído de vários gases, mas os principais componentes são: Metano (CH₄), o Dióxido de Carbono (CO₂), Nitrogénio (N₂), Hidrogénio (H₂), Oxigénio (O₂), Gás Sulfídrico (H₂S) apresentados abaixo pela tabela (1). Na tabela estão representados componentes do biogás e concentrações em percentagem (ABRANTES, 2018).

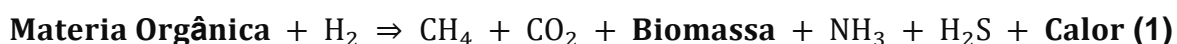
Tabela 1. Composição do biogás

Componentes do biogás	Concentração (%)
Metano (CH ₄)	65
Dióxido de Carbono (CO ₂)	35
Nitrogénio (N ₂)	1
Hidrogénio (H ₂)	1
Oxigénio (O ₂)	1
Gás Sulfídrico (H ₂ S)	1

Fonte: (ABRANTES, 2018)

2.6.2. Digestão Anaeróbica

A digestão anaeróbica é um processo biológico causado pela acção bacteriana. As bactérias anaeróbicas responsáveis pelo processo de digestão, geralmente não sobrevivem em ambientes com oxigénio. O processo de digestão anaeróbia envolve a degradação e estabilização da matéria orgânica levando à formação de metano, produtos inorgânicos (dióxido de carbono) e resíduo líquido rico em minerais que pode ser utilizado como biofertilizante (matéria orgânica estabilizada), A representação da digestão anaeróbia é mostrada pela equação abaixo apresentada (Araújo, 2017).



O processo de digestão anaeróbica passa necessariamente por quatro fases a nível bacteriano, sendo elas **Hidrólise, Acidogénese, Acetogénese e Metanogénese**, na qual a geração do biogás ocorre na última etapa do processo de acordo com fluxograma apresentado na figura abaixo.

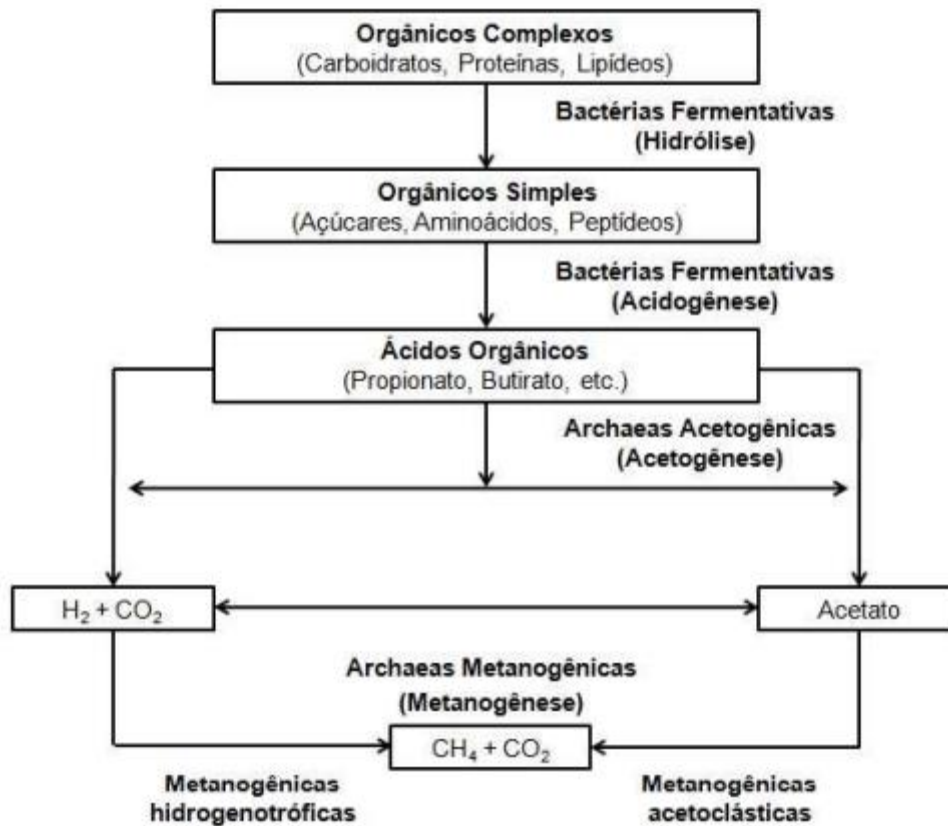


Figura 6. Fases da Digestão Anaeróbica

Fonte: (FERREIRA, 2013)

2.8.1. Hidrólise

Na hidrólise a ligação molecular complexa como carboidratos, proteínas e gorduras, são quebradas por enzimas em um processo bioquímico, sendo liberadas por um grupo específico de bactérias e dão origem há compostos orgânicos simples (monómeros) como aminoácidos, ácidos graxos e açúcares.

Existem diversos tipos de hidrólise que variam em função da matéria orgânica utilizada, como por exemplo, a hidrólise de glicosídeos para a formação de açúcares e de proteínas para aminoácidos. Esse processo é de fundamental importância para a produção de biogás, pois dada a quebra dos polímeros maiores, inicia-se o processo de biodigestão (Konrad, 2014).

2.8.2. Acidogénese

Na acidogénese as substâncias resultantes da hidrólise são transformadas por bactérias ácidogénicas em ácido paranoico, ácido butanoico, ácido láctico e álcoois, assim como hidrogénio e gás carbónico. A formação de produtos nesta fase também depende da quantidade de hidrogénio dissolvido na mistura. Quando a concentração de hidrogénio é muito alta, esta interfere negativamente na eficiência do ácido génese, o que causa o acúmulo de ácidos orgânicos. Com isso, o pH da mistura é reduzido e o processo é afectado (OTENIO, 2018).

2.8.3. Acetogénese

A acetogénese é a fase na qual os materiais resultantes da acidogénese são transformados em ácido etanoico, hidrogénio e gás carbónico por bactérias acetogénicas. Essa é uma das fases mais delicadas do processo, considerando que é necessário manter o equilíbrio para que a quantidade de hidrogénio gerado seja consumida pelas bactérias (Hermann, 2020).

2.8.4. Metanogénese

Durante o metanogénese na biodigestão anaeróbia, o ácido acético, o hidrogénio e dióxido de carbono são finalmente convertidos em metano e gás entre os produtos finais também são encontrados, o gás sulfídrico (H_2S), água (H_2O), a amónia (NH_3) carbónico, através da acção de microrganismos metano génicos. Nesta fase as bactérias metalogénias metabolizam os ácidos voláteis produzidos na fase anterior.

Desta forma, a metanogénese pode ser considerada como sendo uma respiração anaeróbia onde o gás carbónico ou o grupo metil de compostos C-1, ou carbono do grupo metil do acetato é o acceptor de electrões (SILVA, 2013).

2.6.3. Factores que Influenciam na Biodigestão Anaeróbica

Com base no descrito anterior é importante que se observe os factores que influenciam na maior parte da produção de biogás. Assim é importante que se observe os factores que influenciam na maior ou menor produção de biogás. Dentre estes factores podemos citar:

- **Impermeabilidade do ar** - Os microrganismos metalogénicos são essencialmente anaeróbicos. A decomposição de matéria orgânica na presença de ar (oxigénio) irá produzir apenas CO₂ (METZ, 2013).
- **Natureza do substrato** - Os substratos nutritivos devem fornecer alimento aos microrganismos, elementos químicos constituindo o material celular e as necessárias às actividades enzimáticas, particularmente os oligo-elementos, como o cálcio, magnésio, potássio, sódio, zinco, ferro, cobalto, cobre, molibdénio e manganês (Kretzer, 2016).
- **Temperatura** - A actividade enzimática das bactérias depende estritamente da temperatura, visto que é conhecido que alterações bruscas de temperatura causam desequilíbrio sobre a velocidade do processo de produção, sendo comum dividi-la em termofílica (entre 50°C e 70°C) ou mesofílica (entre 20°C e 45°C). Principalmente nas bactérias formadoras de metano. Em temperaturas termofílicas, é possível produzir uma quantidade maior de biogás em menos tempo de Retenção Hidráulica. Já a faixa mesofílica o tempo será maior devido à faixa de temperatura reduzida (CRUIZ, 2020).

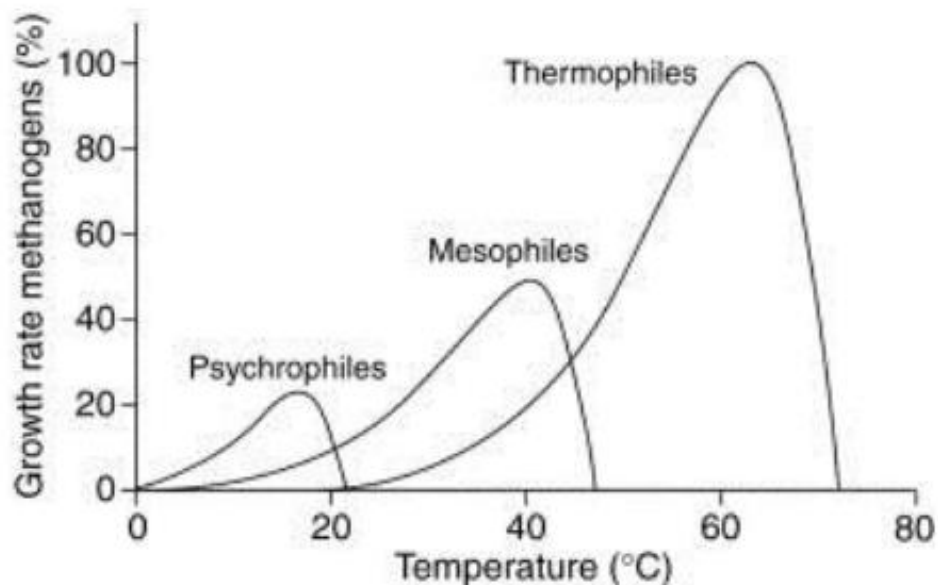


Figura 7. Temperatura das bactérias

Fonte: (CRUIZ, 2020)

- **Tipo de resíduos** - O tipo de resíduo é o alimento a ser utilizado pelas bactérias, uma vez que a relação carbono/nitrogênio é um factor muito importante, o material vegetal é uma das melhores matérias-primas, pois é fonte rica em carbono devido ao seu alto teor de carboidratos (CRUIZ, 2020).
- **Relação C/N** - Este factor é de grande importância para formação de ácidos orgânicos utilizados pelas bactérias para a produção de biogás. Além disso, o carbono é utilizado pelas bactérias como energia e o nitrogênio é usado para a construção das estruturas celulares. A relação ideal está na faixa de 20 a 30 partes de carbono para uma de nitrogênio.
- **Tempo de retenção** - É o tempo em que o material orgânico permanece no interior do biodigestor. O tempo de retenção está relacionado a factores como a granulometria, temperatura, entre outros. Em geral recomenda-se tempos de retenção de 40 a 60 dias (LINS, 2019).
- **Humidade** - O teor de água presente no biodigestor deve variar entre 60% e 90% do peso do conteúdo total, tanto o excesso, quanto a falta de água são prejudiciais. O teor da água varia de acordo com as diferenças apresentadas pelas matérias-primas destinadas à fermentação (MATA, 2018).
- **pH** - O Ph adequado situa-se na faixa entre 6 e 8, tendo 7 como o ideal. Ambientes muito ácidos causam a morte das bactérias metalogénica.
- **Inibidores** - A digestão anaeróbia contém diferentes grupos de bactérias que estão ligados entre si em forma de encadeamento. Estes grupos trabalham em sequência, com os produtos de um servindo como substratos para o próximo. Caso a primeira fase seja inibida, os substratos para as segunda e terceira fases serão limitados e a produção de metano diminuirá. Se a terceira fase for inibida, os ácidos produzidos na acidogénese serão acumulados. A inibição da terceira fase ocorre devido ao aumento dos ácidos e, conseqüentemente, perda de alcalinidade e diminuição do pH. Porém, os principais problemas na digestão anaeróbia ocorrem devido à inibição das bactérias formadoras de metano na fase de metanogénese (MATA, 2018).

É importante ressaltar que existem divergências entre alguns autores referente aos factores que influenciam a produção do biogás, porém existe uma proximidade nos seus dizeres.

2.6.4. Substrato para a Produção de Biogás

Diversos materiais orgânicos podem ser decompostos em um biodigestor. Existem alguns materiais que têm mais potencial do que outros, de acordo com a origem. Sendo assim, alguns dos substratos que podem ser utilizados são listados abaixo (ABRANTES, 2018):

- Resíduos verdes (gramas, folhagens, galhos);
- Óleos vegetais;
- Resíduos de origem animal (dejectos de suinicultura, pecuária e avicultura);
- Resíduos agrícolas (cascas, palhas e restos de cultura);
- Resíduos industriais (descartes, efluentes industriais, gorduras, restos de restaurantes de unidades fabris, entre outros);
- Resíduos orgânicos municipais advindos da actividade humana (lodo de esgoto, resíduo doméstico orgânico);
- Vinhaça (resíduo da produção de etanol); e
- Amido.

2.6.5. Potencial Energético do Biogás

O biogás é considerado uma fonte de energia renovável, com conteúdo energético semelhante ao gás natural. Pode ser utilizado como combustível para a geração de energia eléctrica, térmica ou mecânica, com poder calorífico variando de 5.000 a 7.000 kcal/m³ (ABRANTES, 2018). Pode-se produzir um metro cúbico de biogás com 25 kg de esterco fresco de vaca, 5 kg de esterco seco de galinha, 12 kg de esterco de porco, 25 kg de plantas ou casca de cereais ou 20 kg de lixo. A Tabela 2 mostra a equivalência entre o biogás e outros combustíveis

Tabela 2. Equivalência entre o biogás e outros combustíveis

Biogás	Outros combustíveis
1 m ³	0,61 Litros de gasolina;
	0,58 Litros de querosene
	0,55 Litros de óleo diesel
	0,45 Litros de gás de cozinha
	0,79 Litros de álcool hidratado

Fonte: (ABRANTES, 2018)

As formas de uso de biogás dependem entre outras coisas, da concentração dos gases que o compõem. Através da combustão o metano é utilizado para a geração de energia. Dessa forma quanto maior for a concentração de metano, maior o valor agregado do biogás. Quando a concentração do biogás passa de 95% o biogás é considerado bio metano.

O biogás pode ser utilizado na própria actividade (curral de bois), em: iluminação, aquecimento, refrigeração, secagem de grãos, incubadoras, misturadores de ração, geradores de energia eléctrica e nas residências como qualquer outro gás combustível.

Pode ser utilizado em redes de gás natural, como combustível veicular (GNV), Também na forma de Gás Natural comprimido (GNC) ou como Gás Natural Liquefeito (GNL). Para isso é necessário retirar do biogás, além da umidade e sulfeto de hidrogénio, também o dióxido de carbono. Este processo é conhecido como purificação do bigas que passa então a ter o nome de bio metano.

Também pode ser usado como fonte de hidrogénio, isto no último estágio de aproveitamento do biogás, o metano pode passar por um processo de reforma para gerar hidrogénio. Assim como o gás carbónico e o hidrogénio podem ser usados para diferentes fins, é considerado como o combustível do futuro (MACHADO, 2016).

2.6.7. Desvantagens e Vantagens

Desvantagens

As desvantagens do biogás são:

- Necessidade de purificação do biogás para ser utilizado como biocombustível (bio metano);
- Se a digestão anaeróbia for mal sucedida há a possibilidade de odor desagradável; e
- Necessidade de uniformidade do substrato.

Vantagens

O biogás apresenta grandes benefícios sobre outras formas de obtenção de energia que são listados abaixo.

- Polui menos a atmosfera, auxiliando na desaceleração do aquecimento global. Este tipo de gás reduz principalmente a emissão de metano (CH₄) e de dióxido de carbono (CO₂), gases causadores do efeito estufa;
- O uso do biogás em vez da lenha contribui significativamente no combate ao desmatamento;
- Nas áreas rurais, a chegada do biogás poderá substituir os fogões à lenha, reduzindo a poluição do meio ambiente;
- O uso de biodigestores para colecta de dejectos humanos e animais pode auxiliar (ou até mesmo sanar) problemas de saúde pública decorrentes de dejectos carregados de microrganismos;
- Reduz os odores desagradáveis do lixo;
- Produz combustível de boa qualidade;
- Produção descentralizada que pode ser realizada próxima aos locais de consumo, abastecendo comunidades isoladas;
- Utilização de substratos renováveis;
- Baixo custo operacional e de implementação;
- Simplicidade de operação, manutenção e controle;
- Pode ser instalado em pequenas áreas e tem elevada vida útil;
- Produz biogás que pode ser transformado em energia térmica, mecânica ou eléctrica; e
- Também produz biofertilizante que tem alto poder fertilizante e pode ser usado na agricultura em substituição aos adubos químicos.

2.7. Biodigestor

Biodigestores são equipamentos herméticos e impermeáveis dentro dos quais se deposita material orgânico para fermentar por um determinado tempo de retenção, no qual ocorre um processo bioquímico denominado bio digestão anaeróbica, que tem como resultado a formação de biofertilizante e produtos gasosos, principalmente o metano e o dióxido de carbono (BITTENCOURT, 2018).

Índia foi o primeiro país a instalar biodigestores para a produção de biogás, de maneira sistemática. A primeira unidade foi construída por volta de 1908. Este país começou seu programa de implantação de biodigestores em 1951 e contava até 1992 com cerca de 160 mil unidades instaladas.

A China, iniciou seu programa de implantação de biodigestores na década de cinquenta e contava até 1992 com cerca de 7,2 milhões de unidades. Hoje a China possui cerca de 8 milhões de unidades em funcionamento. Apesar das diversas vantagens oferecidas por esses reactores, seu emprego apresenta motivações específicas, por exemplo, no caso da China, destaca-se o biofertilizante como a razão principal; nas Filipinas, o tratamento das águas residuárias de origem doméstica em projetos de colonização; Para a Tailândia, serve para promover o saneamento.

Países da Europa, América Central, Ásia utilizam a digestão anaeróbica como fonte produtora de energia. A cultura do milho vem sendo utilizado como fonte energética em países como Alemanha e Dinamarca, e se mostra com maior poder energético e mais eficiente do que se utilizados em forma de álcool combustível ou etanol como ocorre nos Estados Unidos.

2.7.1. Princípio de Funcionamento dos Biodigestores

O Biodigestor é formado principalmente por um tanque de armazenamento, depois de preparada a biomassa (Substrato), esse material segue directamente para o fermentador (biodigestor). Esse tem a função de acelerar o processo de bio digestão dando condições ideais para a acção bacteriana responsável pelo processo.

Na maioria dos casos (depende do substrato usado), esse material passa cerca de 40 dias dentro do fermentador. Depois disso temos o biogás e o biofertilizante, esse processo é baseado no princípio de prensa hidráulica. O biogás pode ser queimado em motores especiais para a geração de energia térmica ou eléctrica (MATOS, 2016).

2.7.2. Formas de Abastecimento dos Biodigestores

Os biodigestores podem ser projectados adequadamente ao tipo de carregamento que será operado, podendo estes ser classificados em:

- Alimentação em batelada; e
- Contínuo ou com alimentação mista.

A alimentação em **batelada**, apesar da simplicidade, pode ser útil em situações em que o resíduo é obtido periodicamente, como é o caso de resíduos de restos de culturas, poda de grama ou de cama de criações confinadas. O biodigestor de carregamento contínuo deve ser projectado de acordo com o manejo dos animais e culturas agrícolas, assim como da disponibilidade de mão-de-obra.

A alimentação **contínua** é apropriada para materiais de fermentação fluidos e uniformes. A mão-de-obra necessária para sua operação deste tipo de alimentação pode integrar-se mais facilmente nas tarefas diárias. A produção de gás é uniforme e um pouco maior que a dos biodigestores alimentados em batelada.

Em um biodigestor contínuo, adiciona-se água ao material a ser fermentado para aumentar a fluidez desta massa, o que é importante para o funcionamento hidráulico do biodigestor. Também acelera o processo de fermentação, pois as bactérias metalogénicas encontram o substrato com mais facilidade.

2.7.3. Tipos de Biodigestores

Existem vários tipos de biodigestores, porém os mais difundidos são Chineses, Indianos e Canadenses e “Caseiros”. Cada um possui sua peculiaridade, mas também apresentam semelhanças entre si, tem o corpo do biodigestor ligado a uma caixa de carga para o abastecimento e uma caixa de descarga para remoção do resíduo (biofertilizante). A diferença se dá no tipo de cúpula construída porém ambos têm como objectivo criar condição anaeróbica, ou seja, total ausência de oxigênio para que a biomassa seja completamente degradada (MORAIS, 2018).

I. Biodigestor de Modelo Indiano

Este modelo de biodigestor caracteriza-se por possuir uma campânula como gasômetro, a qual pode estar mergulhada sobre a biomassa em fermentação, ou em um selo d'água externo, e uma parede central que divide o tanque de fermentação em duas câmaras. A função da parede divisória faz com que o material circule por todo o interior da câmara de fermentação. O modelo indiano possui pressão de operação constante, ou seja, à medida que o volume de gás produzido não é consumido de imediato, o gasômetro tende a deslocar-se verticalmente, aumentando o volume deste, portanto, mantendo a pressão no interior deste constante.

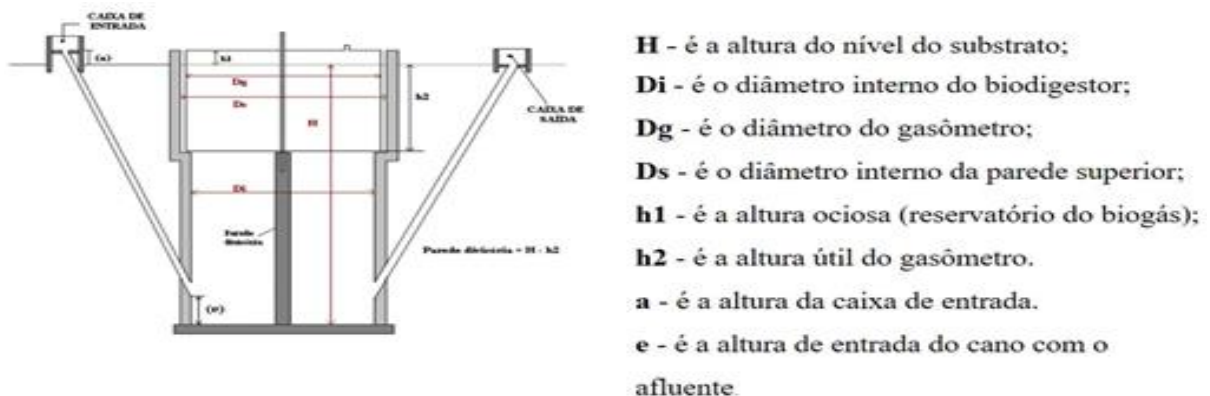


Figura 8. Representação de Biodigestor Modelo Indiano

Fonte: (MORAIS, 2018)

II. Biodigestor de Modelo Chinês

O modelo Chinês de biodigestor é formado por uma câmara cilíndrica em alvenaria para a fermentação, com tecto abobado, impermeável, destinado ao armazenamento do biogás, e para economizar espaço é totalmente enterrado no solo. O funcionamento do biodigestor baseia-se no princípio de prensa hidráulica. O aumento da pressão em seu interior, devido ao acúmulo de biogás, resulta no deslocamento do efluente da câmara de fermentação para a caixa de saída, e em sentido contrário quando ocorre descompressão.

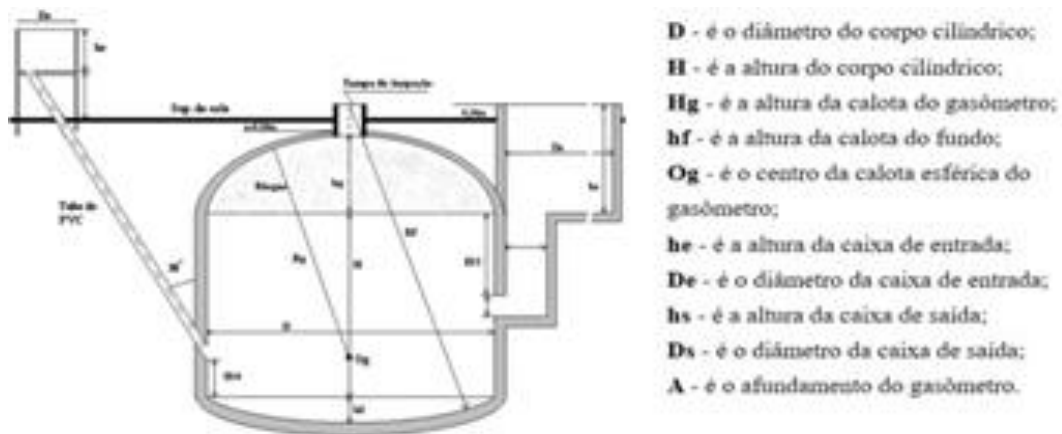


Figura 9. Biodigestor modelo chinês

Fonte: (MATOS, 2016)

Geralmente uma parcela de biogás é liberada para atmosfera para evitar grandes pressões internas, por isso esses biodigestores não são usados para instalações de grande porte. Esse tipo de biodigestor requer um abastecimento contínuo de matéria orgânica, e o substrato para produção de biogás não deve apresentar percentagem de sólidos totais superiores a 8%, para evitar que ocorram entupimentos. Não é um modelo para acúmulo de gás, devido a sua construção de cúpula fixa, ocupa pouco espaço e sua construção em solos superficiais não é indicada (SILVA, 2013).

III. Biodigestor de Modelo Canadense

Trata-se de um sistema bastante simples e de pequena exigência operacional. Sua instalação poderá ser apenas um tanque anaeróbio, ou vários tanques em série. Esse tipo de biodigestor é abastecido de uma única vez, portanto não é um biodigestor contínuo, mantendo-se em fermentação por um período conveniente, sendo o material descarregado posteriormente após o término do período efectivo de produção de biogás (ABRANTES, 2018).

O modelo canadense é um biodigestor horizontal, com caixa de carga feita em alvenaria e com o comprimento da largura maior que a profundidade, possuindo então, uma maior área de exposição ao sol, possibilitando uma grande produção de biogás e também evitando o entupimento. A câmara de fermentação é subterrânea e revestida com lona plástica e a manta superior tem objectivo de armazenar o biogás produzido de modo a formar uma campânula de armazenamento, como nos outros biodigestores. Há uma caixa de saída onde o efluente é liberado, um registo para saída do biogás e um queimador, que fica conectado a esse registo. Sua desvantagem é a maior sensibilidade às variações térmicas que os outros modelos. Sua utilização é recomendada para locais de clima tropical, onde predominam temperaturas altas e constantes (Konrad, 2014).



Figura 10. Biodigestor Modelo Canadense

Fonte: (Konrad, 2014)

IV. Biodigestor de Modelo Caseiro

O biodigestor caseiro, geralmente pode ser construído em tambores (reservatórios) de 200 litros que pode ser de PVC ou de metal. Possui entrada para matéria orgânica, saída para biofertilizante, um canal para a retirada do gás. Este modelo possui uma estrutura simples e de fácil manuseio, sendo o seu abastecimento contínuo, ou seja não se precisa esperar o término do processo ou paragem de produção para que seja alimentado.

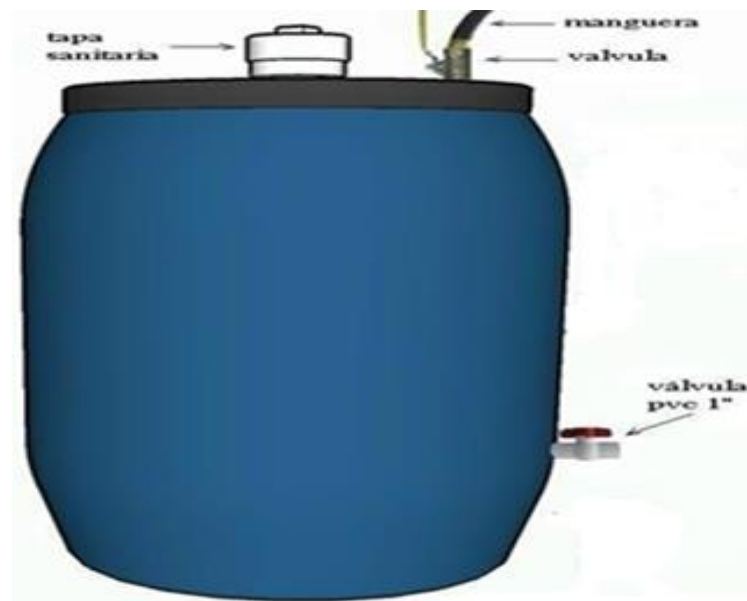


Figura 11. Biodigestor Modelo Caseiro

Fonte: (Vieira, 2019)

2.8. Biofertilizante

Após o processo de obtenção de biogás no interior do biodigestor, o resíduo de biomassa utilizada transforma-se em biofertilizante. O biodigestor libera carbono nos elementos de CO₂ e CH₄, propiciando a geração de um biofertilizante rico em nutrientes, com teores significativos de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K). É um adubo orgânico livre de agentes causadores de doenças ou pragas, sem odores desagradáveis, com potencial para melhorar as propriedades físicas, químicas e biológicas do solo e de alta qualidade para uso agrícola, além de possuir baixo custo. Este fertilizante pode substituir parcial ou totalmente o uso de adubos químicos.

O aproveitamento de biofertilizante na nutrição das plantas facilita a penetração em suas raízes, aumentando suas tolerâncias a períodos secos, oferece alimentos mais saudáveis com menor nível de aditivo químico e respeito ao meio ambiente, promove a multiplicação de bactérias que trazem vida a solos já degradados, e reduz a presença de coliformes fecais dos dejectos (SILVA, 2013).

Capítulo 3. Trabalho de campo

3.1. Descrição da área de estudo

O Bairro da Katembe situa-se no sul da cidade de Maputo, é limitado no norte e leste pela Baía de Maputo, a sul, pelo distrito de Matutuine através da Avenida Metical e a Oeste pelo distrito de Boane através do Rio Katembe. Tem uma superfície de 174 km², o Distrito da Katembe possui uma população de 21000 habitantes. O clima da região é SUB húmido e com deficiência de chuva na estação fria, caracterizado por alternância entre as condições secas, induzidas pela alta pressão subcontinental e as incursões de ventos húmidos do oceano. Vagas de frio podem trazer tempestades violentas e chuvas torrenciais de curta duração.

A temperatura média anual é de 23.7°C verificando-se que os meses mais frios são os de Junho e Julho e os mais quentes Janeiro e Fevereiro. A amplitude térmica anual é de 8.8°C. A humidade relativa média anual é de 80.5%, variando de um valor máximo de 86% em Julho a um valor mínimo de 73.5% em Novembro. A pluviosidade média anual é de 752 mm variando entre os valores médios de 563,6 mm para o período húmido e os 43,6 mm no período seco. O período húmido estende-se de Novembro a Março e o período seco de Abril a Outubro.

3.2. Matérias e Método para o Dimensionamento do Biodigestor

Sendo este um projecto sustentável, isto é, reaproveitamento de resíduos, foram utilizadas matérias recicláveis para a materialização do biodigestor caseiro. Usou-se como biodigestor um tambor de 220 Litros e como matéria-prima o excremento bovino, e acoplados a ele (tambor) tubos que serviu de meio de entrada da matéria-prima, saída do gás e saída do fertilizante. Abaixo segue as tabelas com os materiais necessários para o efeito e seu preço no mercado.

De acordo com o proprietário do curral e também da residência onde será instalado o biodigestor um animal produz cerca de 2kg de esterco por dia, e o curral alberga 54 cabeças de gado bovino o que significa que diariamente se produz 108kg de excremento.

Tabela 3. Dimensionamento do material para construção do biodigestor

Materiais	Medidas	Quantidade
Tambor	220 Litros	1
Tubo PVC	Ø 110	1
Tubo PVC	Ø 75	1
Curvas PVC	Ø 110	2
Curvas PVC	Ø 75	1
Válvula "T"	¾	1
Tubo	¾	1 Metro
Mangueira transparente	Ø 1/8	4 Metros
Cola para PVC	-	1
Cola de Silicone	-	1
Bujão	¾	1
Fita isolante	-	1

Fonte: Autor

A tabela abaixo apresenta as equações necessárias para a determinação de algumas variáveis necessárias para efeitos de dimensionamento e produção do biogás com base nas dimensões do nosso reservatório que será usado como biodigestor.

Tabela 4, Formulas para o Dimensionamento

Variáveis de Dimensionamento	Formula	Unidade
Volume do biodigestor	$V_b = h \times \pi \times r^2$	m ³
Energia	$E = \eta \times H_b \times V_b$	MJ
Massa total	$m = 2kg \times N$	Kg
Volume do fluido	$V_f = \frac{m}{58}$	Kg/m ³ /dia
Volume da matéria orgânica	$V_{MO} = V_f \times 20 \text{ dias}$	Kg/m ³
Volume do Biogás	$V_B = 0.2 \times m$	Kg

Fonte: Autor

Onde:

E é Energia

V_b e V_f são volume do Biodigestor e volume do Fluido

H_b é Entalpia

V_{MO} é Volume da Materia Organica

V_B é Volume da Materia orgânica

m é Massa total

h é Altura do biodigestor

N é numero de Animais

3.3. Procedimento Experimental**3.3.1. Matérias e Reagentes para a Digestão Anaeróbica – Produção do Biogás**

Para a realização desta experiência que tem como finalidade produção de biogás, foi necessário o uso de:

- Água;
- Balde 20 litros;
- Biodigestor;
- Esterco de bovino (principal matéria prima);
- Pá (para a colecta do esterco); e
- Pau (para agitar a mistura).

3.3.2. Primeira Experiencia

Construído o biodigestor caseiro, com ajuda de uma pá introduziu-se em um balde (capacidade de 20 litros) esterco de gado bovino (matéria-prima) uma quantidade que ocupa 30% do seu volume total, seguido da introdução de água numa quantidade que ocupa 50% do volume total do balde.

Para garantir a homogeneização foi necessária agitação da mistura, apos agitação introduziu-se a mistura (água e esterco) no biodigestor, esse processo foi repetido até que se obtivesse quantidade da mistura necessária no biodigestor. Importa referir que há um espaço não preenchido pela mistura que vem a ser preenchido pelo biogás. Importa referir que o enchimento do biodigestor foi feito no dia 25 de Abril de 2023.

Para aumentar a velocidade da reacção, deixou-se o biodigestor num ponto que recebia com facilidade a radiação solar. Após 25 dias, fez-se o primeiro teste, porém o resultado não foi satisfatório, suspeitando a possibilidade de existência de algum escape, fez-se minucioso rastreio e chegou-se a conclusão de que não havia nenhum ponto de escape. Aguardou-se por mais 10 dias, fez-se novamente o teste, porém não houve combustão, concluindo-se dessa forma que não houve produção de biogás. Como o esterco usado nessa experiência estava seco, levantou-se a possibilidade de ter sido o motivo do fracasso. Esvaziou-se o biodigestor e seguiu a segunda experiência com esterco fresco.

3.3.2. Segunda Experiência

A segunda experiência deu início no dia 04 de Maio do mesmo ano, no qual foram seguidos os mesmos procedimentos que a experiência anterior, com a diferença de estado do esterco, uma vez que nesta usou-se esterco fresco.

O esterco expelido pelos animais durante a noite foi colectado bem cedo antes de desidratação acentuada, preparou-se e alimentou-se o biodigestor. Porque este mês foi caracterizado por temperatura média baixa, estendeu-se um período de 45 dias e fez-se o teste. O teste consistiu em queimar o biogás com recurso a fósforo. Com recurso a um tubo, canalizou-se o biogás para o fogão a gás e abrindo-se a válvula queimou-se o biogás verificando-se a sua chama característica. Essa última experiência foi bem-sucedida.



Figura 12. Mistura e enchimento do biodigestor e chama do Biogás

Fonte: Autor

3.4. Apresentação de Resultado e Discussão

De acordo com o proprietário do curral e também da residência onde foi instalado o biodigestor um animal produz cerca de 2kg de esterco por dia, e o curral alberga 54 cabeças de gado bovino o que significa que diariamente se produz 108kg de excremento. Do dimensionamento feito durante o estágio tivemos os seguintes resultados representados na seguinte tabela abaixo.

Tabela 5. Resultados do Dimensionamento do Biodigestor

Variáveis Dimensionadas	Formula	Unidade
Volume do biodigestor	$V_b = h \times \pi \times r^2$	196250.7 m ³
Energia	$E = \eta \times H_b \times V_b$	2747509.8 MJ
Massa total	$m = 2\text{kg} \times N$	108 Kg
Volume do fluido	$V_f = \frac{m}{58 \times \rho_{\text{Água}}}$	2.16Kg/m ³ /dia
Volume da matéria orgânica	$V_{MO} = V_f \times 20 \text{ dias}$	43.2 Kg/m ³
Volume do Biogás	$V_B = 0.2 \times m$	21.6Kg

Fonte: Autor

O processo de produção de biogás ocorre a partir de 20 dias em caso de temperatura e qualidade da matéria-prima favoráveis, noutros casos a partir dos 30 dias já se tem gás considerável. Daí pode-se abrir a válvula para que o gás passe por um processo de tratamento de modo a garantir o uso de gás limpo, seguro e sustentável.

A sua eficiência foi verificada pelo tempo que levou para aquecer a água até a temperatura de ebulição.

Produzido o biogás os substratos passaram a flutuar dentro do biodigestor, e quando é feito um novo enchimento esses substratos são purgados e, posteriormente podem ser utilizados como fertilizantes. Esses é um processo contínuo nada se perde.

Além do mais o biogás nota-se muito económico comparado com os combustíveis (carvão/lenha) que são utilizados na localidade, conforme a análise feita.

Por exemplo, um saco de carvão de 75 Kg é adquirido a 1000 MT com o intuito de ser utilizado num mês, numa casa com 5 membros. No entanto em média são diariamente utilizados 5 Kg de carvão para satisfazer suas necessidades, cozinhar e aquecer água. Serão necessários mais 150 kg/mês, o que contabiliza um total de aproximadamente 2000 MT por mês ou 24000 MT por mês. Este valor anual é quase 7 vezes o valor necessário para o emprego de um biodigestor caseiro, tendo em conta que só será desembolsado uma vez de acordo com a tabela dos custos do material necessário para o biodigestor.

O biogás produzido começou a se formar depois de 10 dia numa percentagem muito reduzida, contudo 20 dias depois, o biogás aumentou sua percentagem para 40% e 30 dias depois já estávamos com quase capacidade máxima de produção de biogás com cerca de 50% de metano formado. Como pode ser observado na tabela abaixo.

Tabela 6. Resultados do Biogás

Data de experiência	Controlo de variáveis	Controlo de CH ₄ %
25/04/2023	Enchimento do biodigestor	0
01/05/2023	Registo de pouco metano	2,4
09/05/2023	Presença de incremento de CH ₄	6%
19/05/2023	Presença de biogás (CH ₄)	27%
28/05/2023	Subida do nível de Biogás	40%
02/06/2023	Registo de crescimento de Biogás	48%
08/06/2023	Biogás continua a incrementar-se	51%
10/06/2023	Biogás não alterou	51%
14/06/2023	Subida de Biogás	55%
16/06/2023	Biogás não alterou	55%
20/06/2023	Biogás não alterou	55%

Fonte: Autor

Igualmente, através de um analisador de biogás mediu-se a composição de biogás produzido e a quantidade de metano foi de 55%.

Foram feitos orçamentos para os materiais para construção do biodigestor que podem ser encontrados com facilidade nos mercados, ferragens (ver Tabela 7). Não será necessária contratação de mão-de-obra pois a JEM Bioenergia tem no seu quadro um profissional na área de canalização para realizar a ligação dos tubos e confeccionar o protótipo. Há também o auxílio de um engenheiro (tutor do projecto) que pode supervisionar a instalação, uma vez que ele é experiente no assunto, não sendo necessária a contratação de um responsável técnico para isso.

Tabela 7. Preço do material no mercado Moçambicano

Materiais	Preços (em MT)
Tambor	1800
Tubo PVC Ø 110	750
Tubo PVC Ø 75	500
2 Curvas PVC Ø 110	165*2=330
Curvas PVC Ø 75	90
Válvula "T"	45
Mangueira	200
Cola para PVC	100
Cola de Silicone	160
Bujão	10
Fita insolente	15
Tubo ¾	100
Total	4.190.00

Fonte: Autor

Capítulo 4. Conclusão e recomendações

4.1. Conclusões

De acordo com os objectivos preconizados no presente trabalho nomeadamente dimensionamento, produção de Biogás e de fertilizantes, pode-se notar nos resultados as seguintes conclusões:

Através de material reciclável de desperdícios de reservatórios “ Tambores”, desperdícios de excrementos de bovinos, suínos e juntamente com algum material de PVC adquirido no mercado local. Permitiu a construção de biodigestor conforme atestam as imagens das figuras na metodologia. Este biodigestor é de fácil construção, reciclável e sustentável.

A biomassa usada, excremento de bovinos e suínos mostrou-se ter boa qualidade, visto que, a composição do biogás é de 53% e bem aceitável para este tipo de substrato. Todavia outra parte é de monóxido de carbono, ácido sulfídrico, vapor de água e resíduos presentes no biogás.

No geral, o estágio correu muito bem, aprendi a dimensionar um Biodigestor, tratar a matéria orgânica para se usar no Biodigestor e produzir biogás, aprendi conceito de sustentabilidade, ao usar os resíduos de biodigestão para fertilizar o solo na agricultura, e no mundo nada se perde mas sim pode ser reusado e este foi o exemplo de conservar o ambiente para futuras gerações.

4.2. Recomendações

Em jeito de recomendações para outros trabalhos deve-se ter em conta:

- O estudo da produção de biogás a partir de esterco de outros animais, uma vez que outros bairros podem ser potenciais produtores de animais diversos.
- O estudo comparativo dos parâmetros termodinâmicos, principalmente do poder calorífico do gás natural e do biogás.
- Para as populações da Katembe e outras zonas rurais, recomenda-se o uso de biogás como fonte alternativa de energia domestica, é uma alternativa ao gás butano.
- O uso do biogás como substituto da lenha, pois evita o desmatamento para além da poluição da atmosfera. E pelo facto de na sua produção lhes proporcionar fertilizante, reduzindo desta forma os custos de produção agrícola.

5. Revisão Bibliográfica

- ABRANTES, C. F. (2018). MANUAL BÁSICO DE BIOGÁS. SINTRA.
- ALER. (2017). ENERGIAS RESNOVAVEIS EM MOÇAMBIQUE: RELATORIO NACIONAL DO PONTO DE SITUAÇÃO. MAPUTO: ASSOCIAÇÃO LUSOFONA DE ENERGIAS RENOVAVEIS.
- ARAÚJO, A. P. (2017). PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS UTILIZANDO BIODIGESTOR ANAERÓBICO. BRASIL.
- AUTUNES, M. Z. (5 DE DEZEMBRO DE 2019). VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJECTOS ANIMAIS. CACHOEIRA DO SUL, BRASIL.
- BITTENCOURT, P. R. (2018). PRODUÇÃO DE BIOGÁS. PARANÁ.
- BOLETIM DA REPUBLICA. (2009). ESTRATEGIA DO SECTOR ENERGETICO. MAPUTO.
- CRUIZ, A. D. (2020). PRODUÇÃO DE BIOGÁS UTILIZANDO MACRÓFITAS AQUÁTICAS. PARAIBA.
- FERREIRA, J. (2013). PRODUÇÃO DE BIOGÁS E FUNCIONAMENTO DE BIODIGESTORES NO ENSINO DE CIÊNCIAS. P. 19.
- HERMANN, F. (2020). PRODUÇÃO DE BIOGÁS. BRASIL. OBTIDO EM 30 DE MAIO DE 2020, DE [HTTPS://CETESP.SP.GOV.BR/BIOGAS/](https://cetesp.sp.gov.br/biogas/)
- KONRAD, O. (2014). MANUAL BÁSICO DE BIOGÁS. BRASIL: UNIVATES.
- KRETZER, S. G. (2016). PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM DIFERENTES RESÍDUOS ORGÂNICOS. SANTA CATARINA.
- LINS, L. P. (2019). PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS DE BOVINOCULTURA LEITEIRA POR MEIO DA CODIGESTÃO COM MACRÓFITAS DA ESPÉCIE SALVINIA. BRASIL.
- MACHADO, G. B. (13 DE JULHO DE 2016). GERAÇÃO E APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DO BIOGÁS, PROJECTO PROBIOGÁS. OBTIDO EM 5 DE FEVEREIRO DE 2021, DE [HTTPS://WWW.PORTALDOBIOGAS.COM/FORMAS-DE-USO-DO-BIOGAS/](https://www.portaldobiogas.com/formas-de-uso-do-biogas/)
- MATA, N. D. (2018). PANORAMA GERAL DA PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DO BIOGÁS NO BRAZIL. BRASIL.
- MATOS, C. (2016). PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE A PARTIR DE DEJETOS DE BOVINOS, SOB SISTEMA ORGÂNICO ECONVENCIONAL DE PRODUÇÃO. RIO DE JANEIRO.

- METZ, L. (2013). CONSTRUÇÃO DE UM BIODIGESTOR CASEIRO PARA DEMONSTRAÇÃO DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS E BIOFERTILIZANTE EM ESCOLAS SITUADAS EM MEIOS URBANOS. BRASIL.
- MICOA. (2012). MEIO AMBIENTE EM MOÇAMBIQUE. MOÇAMBIQUE.
- MONDJANE, A. (2019). POTENCIALIDADES BIOENERGETICAS EM MOÇAMBIQUE. REVISTA ELECTRONICA. MOÇAMBIQUE. OBTIDO EM 5 DE FEVEREIRO DE 2021, DE [HTTPS://BRASILESCOLA.UOL.COM.BR/QUIMICA/COMBUSTIVEIS-FOSSEIS.HTM](https://brasilescola.uol.com.br/quimica/combustiveis-fosseis.htm)
- MORAIS, F. T. (2018). BIODIGESTOR: UMA TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL. SETÚBAL.
- NUBE, J. (2016). IMPACTOS SOCIOECONOMICOS DAS PLANTAÇÕES FLORESTAIS NO NIASSA, MOÇAMBIQUE. FORESTA E AMBIENTE, 23(1), 52-60.
- OTENIO, M. H. (2018). PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE DEJETOS DA PECUÁRIA LEITEIRA. PORTUGAL.
- SILVA. (2013). PRODUÇÃO DE BIOGÁS COM DEJETOS DE VACAS. PARANÁ.
- VIEIRA, M. T. (2019). UTILIZAÇÃO DO SUBPRODUTO PROVENIENTE DA PRODUÇÃO DE BIOGÁS COMO FERTILIZANTE. PORTUGAL.