



UNILAB

**UNIVERSIDADE DA INTEGRAÇÃO INTERNACIONAL DA LUSOFONIA
AFRO-BRASILEIRA
INSTITUTO DE ENGENHARIAS E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL
ENGENHARIA DE ENERGIAS**

JORGE CARMON DIOGO BIE

**ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA CONVERSÃO DE
BIOMASSA EM ENERGIA E UTILIDADES EM ANGOLA, BRASIL E
MOÇAMBIQUE**

**REDENÇÃO-CE
2024**

JORGE CARMON DIOGO BIE

**ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA CONVERSÃO DE
BIOMASSA EM ENERGIA E UTILIDADES EM ANGOLA, BRASIL E
MOÇAMBIQUE**

Monografia a ser apresentada na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito básico para conclusão de curso de Bacharelado em Engenharia de Energias.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Maria Cristiane Martins de Sousa

REDENÇÃO-CE
2024

Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-
Brasileira Sistema de Bibliotecas da UNILAB
Catalogação de Publicação na Fonte.

Bie, Jorge Carmon

Diogo.B586a

Análise das Tecnologias Inovadoras para Conversão de Biomassa em Energia e Utilidades em Angola, Brasil e Moçambique / Jorge Carmon Diogo Bie. - Redenção, 2024.

Of: il.

Monografia - Curso de Engenharia De Energias, Instituto De Engenharias E Desenvolvimento Sustentável, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2024.

Orientadora: Profa.Dra. Maria Cristiane Martins de Sousa.

1. Biomassa. 2. Energia renovável. 3. Sustentabilidade. 4. Segurança energética. 5. Angola - Brasil e Moçambique. I. Título

CE/UF/BSCA

CDD 333.9539

JORGE CARMON DIOGO BIE

ANÁLISE DAS TECNOLOGIAS INOVADORAS PARA CONVERSÃO DE BIOMASSA
EM ENERGIA E UTILIDADES EM ANGOLA, BRASIL E MOÇAMBIQUE

Monografia a ser apresentada na Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, como requisito básico para conclusão de curso de Bacharelado em Engenharia de Energias.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maria Cristiane Martins de Sousa

Aprovada em: 12/11/2024.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Maria Cristiane Martins De SOUSA
(Orientadora) Universidade da Integração
Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira
(UNILAB)

Prof. Dr. José Cleiton Sousa dos Santos.
Universidade da Integração Internacional da
Lusofonia Afro-Brasileira (UNILAB)

Dr^a. Gisele Rocha Aguiar.
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Dedico esse sonho as três mulheres da minha vida, minha mãe Isabel, minha irmã Carmen e, minha filha Kayane. Ao meu cunhado e amigo Eder, ao meu irmão caçula Vagumar e aos meus sobrinhos. Vocês não têm a noção do quanto me ajudaram nesse processo, amo vocês...

AGRADECIMENTOS

Agradeço Primeiramente, á Deus que me deu força e sabedoria para nunca desistir nos momentos difíceis, sempre mantendo a fé.

Á minha família, minha querida mãe, Isabel Diogo, minha amada irmã, Carmen Bié, meu cunhado e grande amigo, Eder Pale, ao meu querido irmão mais novo, Vagumar de Sousa, meus adoráveis sobrinhos e filha, que me suportaram nos piores e melhores momentos do meu processo acadêmico, não permitindo que nada me abalasse, os considero o meu verdadeiro escudo.

Gratidão ao Governo Federativo Brasileiro, a Universidade da Integração Internacional Afro-Brasileira - UNILAB, pela oportunidade de expandir os meus conhecimentos, pois sem ela seria quase impossível de realizar este sonho. A minha querida e amada Orientadora Profa. Dra. Maria Cristiane Martins De Sousa. Motivadora e visionária, sempre buscando o melhor dos seus alunos, para em seguida impulsionar para a direção certa, a do sucesso. Agradecer a Professora e amiga Juliana Serpa, que sempre me auxiliou, á todos os professores/as do Instituto da Engenharia e Desenvolvimento Sustentável – IEDS, em especial a Profa. Dra. Rejane Félix Pereira, que sempre esteve presente e a disposição quando precisei.

Família e amigos que criamos e conhecemos pela universidade, vai a minha especial gratidão, em dado momento, tínhamos apenas uns aos outros e, isso tornou-nos uma verdadeira Fortaleza!

“Porque tu és a minha rocha e a minha
fortaleza; pelo que, por amor do teu nome,
guia-me e encaminha-me.”

(Salmos 31:3)

RESUMO

O presente estudo, tem como objetivo analisar as tecnologias inovadoras de conversão de biomassa em energia e utilidades no contexto de Angola, Brasil e Moçambique, considerando suas especificidades socioeconômicas e ambientais. A pesquisa explora a importância da biomassa como uma alternativa sustentável para diversificar as matrizes energéticas, especialmente em regiões rurais, onde a oferta energética é limitada. Para tanto, foi realizada uma revisão bibliográfica comparativa sobre as fontes de energia renovável, os processos bioquímicos de conversão e as configurações energéticas desses países. Também são discutidos os desafios e as oportunidades de desenvolvimento desse setor, com destaque para as tecnologias tradicionais e modernas utilizadas na conversão de biomassa. Conclui-se que o uso da biomassa representa um potencial significativo para contribuir com a mitigação de gases poluentes, promover segurança energética e fomentar o desenvolvimento socioeconômico, sendo uma solução viável para atender à crescente demanda por energia limpa.

Palavras-chave: Biomassa, energia renovável, sustentabilidade, segurança energética, Angola, Brasil, Moçambique.

ABSTRACT

The present study aims to analyze innovative technologies for converting biomass into energy and utilities in the context of Angola, Brazil and Mozambique, considering their socioeconomic and environmental specificities. The research explores the importance of biomass as a sustainable alternative to diversify energy matrices, especially in rural regions, where energy supply is limited. To this end, a comparative bibliographic review was carried out on renewable energy sources, biochemical conversion processes and energy configurations in these countries. The challenges and opportunities for development of this sector are also discussed, with emphasis on traditional and modern technologies used in biomass conversion. It is concluded that the use of biomass represents a significant potential to contribute to the mitigation of polluting gases, promote energy security and foster socioeconomic development, being a viable solution to meet the growing demand for clean energy.

Keywords: Biomass, renewable energy, sustainability, energy security, Angola, Brazil, Mozambique.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Composição Matriz Energética Mundial em 2023.	17
Figura 2: Composição da Matriz Energética Brasileira 2024.....	18
Figura 3: Composição da Matriz Energética Angolana em 2024.....	20
Figura 4: O Maior Parque Eólico da América do Sul (Brasil-Piauí).....	24
Figura 5: Hidrogenio Verde.....	26
Figura 6: Algumas Fontes da Bioenergia.	28
Figura 7: Fontes de biomassa e seus processos de conversão.	30
Figura 8: Briquetes com diâmetro entre 50–100 mm e comprimento maior que 100 mm.....	37
Figura 9: Usina de tratamento de resíduos e geração de biogás.	39
Figura 10: Açucareira de Búzi - Sofala, Moçambique.	40
Figura 11: Teste de Produção do Biodiesel.	41
Figura 12: Hidrogenio Verde em Moçambique.....	43
Figura 13: Indústria de papel e celulose utilizando o vapor.	44

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Composição da Matriz Elétrica Mundial em 2023.	16
Tabela 2: Composição da Matriz Energética Brasileira em 2024.	18
Tabela 3: Composição da Matriz Energética Angolana em 2024.	19
Tabela 4: Recursos de Biomassa Lenhosa Disponível em Moçambique.	38
Tabela 5: Propriedades Complementares Atribuídas ao Biodiesel em Comparação ao Óleo Diesel Comercial em Moçambique.	42
Tabela 6: Desafios e Oportunidades do Uso da Biomassa para Segurança Energética.	48
Tabela 7: Comparação da Eficiência das Tecnologias de Conversão de Biomassa.	55

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Recorde de produção de energia limpa no Brasil em 2023.	33
Gráfico 2: Estimativa da Matriz Energética em Angola até 2030 (Com Biomassa).	34
Gráfico 3: Estimativa da Matriz Energética em Moçambique até 2030 (Com Biomassa).	36

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
1.1. Objetivos	14
1.1.1. Objetivo Geral	14
1.1.2. Objetivos Específicos	14
1.2. Justificativa.....	15
1.3. Estrutura do Trabalho.....	15
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1. Matriz Energética Mundial	16
2.2. Matriz Energética e Biomassa no Brasil	17
2.3. Matriz Energética e Biomassa em Angola	19
2.4. Matriz Energética e Biomassa em Moçambique.....	20
2.5. Fontes Energéticas Renováveis	22
2.5.1. Energia Solar	22
2.5.2. Energia Eólica	23
2.5.3. Hidrogênio Verde	25
2.5.4. Biocombustíveis	27
3. BIOMASSA.....	29
3.1. Biomassa na Matriz Energética Brasileira	32
3.2. A Biomassa na Matriz Energética Angolana	34
3.3. A Biomassa na Matriz Energética Moçambicana	35
3.4. Processamento dos Biocombustíveis em Moçambique	36
3.4.1. Biomassa Florestal	36
3.4.2. Biomassa Lenhosa.....	37
3.4.3. Biogás: Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	39
3.4.4. Etanol: Cogeração da Indústria Açucareira	40
3.4.6. Biodiesel	41
3.4.5. Hidrogênio Verde	43
3.4.7. Cogeração da Indústria do Papel	44
4. TECNOLOGIAS PARA CONVERSÃO DA BIOMASSA EM ENERGIA.....	45
4.1. Tecnologias Tradicionais	45
4.2. Tecnologias Modernas	45
5. PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA O SETOR DE BIOMASSA	47

5.1. Promoção da Energia da Biomassa e Co-geração.....	47
5.2. Desafios de Implementação e Política Pública	47
5.3. Segurança Energética e Desenvolvimento Socioeconômico	47
5.4. Ambiente	48
5.4.1. Recursos Naturais e Ecossistema em Angola.....	49
5.4.2. Recursos Naturais e Ecossistema em Brasil.....	49
5.4.3. Recursos Naturais e Ecossistema em Moçambique.....	49
5.5. Infraestrutura e Políticas Ambientais	50
5.5.1. Angola.....	50
5.5.2. Brasil.....	50
5.5.3. Moçambique.....	50
5.6. Expectativas e Desafios para o Futuro	51
5.6.1. Angola.....	51
5.6.2. Brasil.....	51
5.6.3. Moçambique.....	51
6. METODOLOGIA	53
6.1. Tipo de Pesquisa	53
6.2. Coleta de Dados	53
6.3. Análise de Dados	53
6.4. Limitações da Pesquisa	54
7. RESULTADOS E ANÁLISES.....	55
7.1. Impacto da Biomassa na Matriz Energética.....	55
7.2. Eficiência e Custo das Tecnologias de Conversão.....	55
7.3. Impacto Socioeconômico.....	56
7.4. Desafios para a Expansão do Setor.....	56
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, Moçambique tem demonstrado um crescente interesse no desenvolvimento de fontes de energia renovável, com especial atenção à energia da biomassa. Esse interesse é motivado pela necessidade de diversificar a matriz energética do país e pela busca por soluções sustentáveis para superar desafios energéticos, especialmente em áreas rurais e remotas (Souza & Silva, 2020).

Além de Moçambique, países como Angola e Brasil também têm explorado o potencial da biomassa como fonte de energia sustentável. A biomassa apresenta benefícios significativos, como a capacidade de reduzir a pobreza energética, promover a segurança energética e gerar impactos positivos no desenvolvimento socioeconômico por meio da criação de empregos e da redução de emissões de gases de efeito estufa (Mendes; Lima, 2021).

Diante disso, este trabalho busca analisar as perspectivas futuras da energia da biomassa nesses três países, com ênfase em tecnologias inovadoras para conversão de biomassa em energia e utilidades. Ao identificar oportunidades e desafios associados ao setor, pretende-se contribuir para o desenvolvimento de estratégias mais eficazes que promovam a sustentabilidade e a eficiência energética na região, valorizando o papel das políticas públicas, iniciativas privadas e colaborações internacionais (Almeida et al., 2023).

1.1. Objetivos

1.1.1. *Objetivo Geral*

Este trabalho tem como objetivo analisar as tecnologias inovadoras para a conversão de biomassa em energia e utilidades nos contextos de Angola, Brasil e Moçambique, avaliando o potencial de desenvolvimento deste setor e seus impactos socioeconômicos e ambientais.

1.1.2. *Objetivos Específicos*

Para alcançar o objetivo geral, os seguintes objetivos específicos foram definidos:

1. Comparar as tecnologias de produção de biomassa em Angola, Brasil e Moçambique.
2. Analisar as novas tecnologias aplicadas à produção e conversão de biomassa em energia e utilidades.
3. Avaliar o impacto socioeconômico e ambiental do desenvolvimento do setor energético da biomassa nos três países.

4. Discutir os desafios e oportunidades associados à ampliação do uso de biomassa na matriz energética.
5. Identificar o papel das políticas públicas no desenvolvimento e na regulamentação do setor de biomassa.

1.2. Justificativa

A utilização da biomassa como fonte de energia renovável é um tema amplamente discutido na busca por soluções que promovam o desenvolvimento sustentável. Em países como Angola e Moçambique, onde grandes áreas rurais carecem de infraestrutura energética adequada, a biomassa pode representar uma alternativa viável para gerar eletricidade de forma descentralizada. Além disso, para o Brasil, que já possui uma participação relevante de biomassa em sua matriz energética, a inovação tecnológica no setor pode aumentar a eficiência e contribuir para atender à crescente demanda por energia limpa.

1.3. Estrutura do Trabalho

O presente trabalho está organizado em sete capítulos. No Capítulo 1, a Introdução apresenta a contextualização, os objetivos e a justificativa do estudo. No Capítulo 2, é realizada uma revisão bibliográfica sobre a matriz energética mundial e a participação da biomassa em Angola, Brasil e Moçambique.

O Capítulo 3 explora as tecnologias de conversão de biomassa, com destaque para os métodos tradicionais e modernos.

No Capítulo 4, são discutidas as perspectivas do setor, abordando as principais oportunidades e desafios para o desenvolvimento das energias de biomassa. O Capítulo 5 descreve a metodologia empregada na pesquisa.

No Capítulo 6, são apresentados os resultados e análises, seguidos das considerações finais no Capítulo 7.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A importância das energias renováveis na matriz energética mundial tem crescido substancialmente nas últimas décadas, impulsionada pela necessidade de reduzir as emissões de gases de efeito estufa e pelo compromisso com a sustentabilidade. Em 2021, as fontes renováveis representaram cerca de 29% da produção global de eletricidade, com destaque para a energia eólica, solar e a biomassa. A biomassa, em particular, representa uma solução viável para países com vastos recursos naturais, como Angola, Brasil e Moçambique, pois permite o aproveitamento de resíduos agroindustriais e florestais para a produção de energia sustentável (IEA, 2022).

2.1. Matriz Energética Mundial

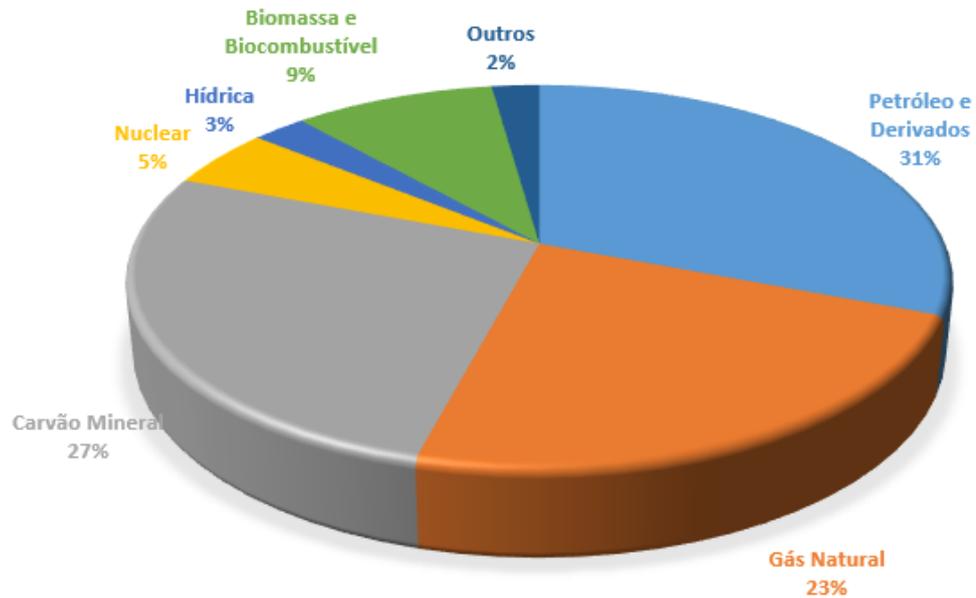
A matriz energética mundial ainda é dominada por fontes fósseis, como o petróleo, o carvão e o gás natural, que correspondem a cerca de 67% do total da energia consumida globalmente (EPE, 2023). Embora as fontes renováveis venham crescendo, a transição energética é um processo gradual e desafiador, especialmente em regiões que enfrentam limitações de infraestrutura e altos custos de implementação. A biomassa, por sua versatilidade e abundância em muitos países, apresenta-se como uma alternativa promissora, especialmente nas áreas rurais onde o acesso à eletricidade e a combustíveis limpos ainda é limitado (Biol, 2022).

Tabela 1: Composição da Matriz Elétrica Mundial em 2023.

Recursos	Participação (%)	Tipo
Petróleo e Derivados	30,90%	Não Renovável
Gás Natural	23,22%	Não Renovável
Carvão Mineral	26,78%	Não Renovável
Nuclear	5,02%	Não Renovável
Hídrica	2,51%	Renovável
Biomassa e Biocombustível	9,37%	Renovável
Outros	2,21%	Misto

Fonte: Adaptado de International Energy Agency (IEA), 2023.

Figura 1: Composição Matriz Energética Mundial em 2023.



Fonte: Adaptado de International Energy Agency (IEA), 2023.

2.2. Matriz Energética e Biomassa no Brasil

O Brasil se destaca pela diversidade de sua matriz energética, com uma predominância de fontes renováveis, das quais a biomassa representa cerca de 9% da oferta interna de energia (BEN, 2024). Historicamente, o país tem utilizado resíduos da agroindústria, como o bagaço de cana-de-açúcar, na produção de eletricidade e biocombustíveis, fomentando tanto a segurança energética quanto a geração de empregos no setor rural (ANP, 2023). Estudos apontam que, com o avanço das tecnologias de conversão, como a pirólise e a gaseificação, o Brasil poderá aumentar significativamente a eficiência no uso da biomassa, aproveitando resíduos que antes não eram utilizados de forma eficaz (Castro & Almeida, 2023).

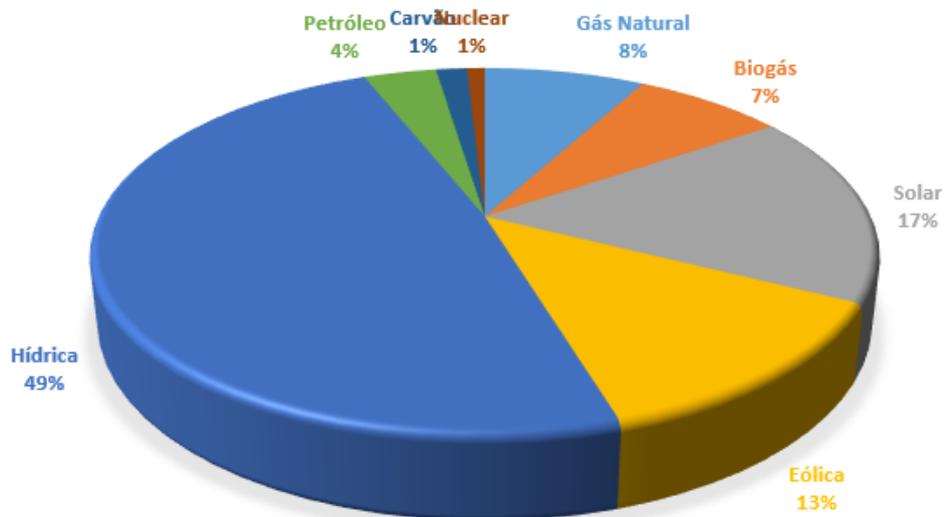
Sendo elas subdividas da seguinte maneira: O Petróleo com 8.088 MW, Carvão com 3.461 MW, a Nuclear 1.990 MW, Gás Natural com 17.953 MW, o Biogás com 16.914 MW, a Solar com 38.456 MW, a Eólica com 29.026 MW e finalizando com a energia Hídrica com 109.929 MW. Somando as energias de fontes renováveis. O que faz com que o Brasil tenha o menor índice de emissão dos gases do efeito estufa em relação a média mundial por habitante, por esse motivo é considerada a mais limpa quando comparada com a matriz mundial (ANP, 2024). Na Tabela 2, pode-se observar os dados da composição da matriz energética brasileira.

Tabela 2: Composição da Matriz Energética Brasileira em 2024.

Recursos	Participação (MW)	Tipo
Gás Natural	17,953	Renováveis
Biogás	16,914	Renováveis
Solar	38,466	Renováveis
Eólica	29,026	Renováveis
Hídrica	109,929	Renováveis
Petróleo	8,088	Não Renováveis
Carvão	3,461	Não Renováveis
Nuclear	1,99	Não Renováveis

Fonte: Adaptado de International Energy Agency (IEA), 2024.

Através das informações do gráfico, é possível observar que a matriz energética brasileira tem mais fontes renováveis em comparação com as matrizes mundial e africana. A matriz elétrica brasileira é mais renovável em comparação com a matriz energética do mesmo, a grande parcela das fontes que a compõem são renováveis, representam 83% na matriz elétrica, como pode-se observar na Figura 4. Comparando a matriz elétrica brasileira com a elétrica mundial e africana, a matriz elétrica brasileira apresenta as fontes mais renováveis (BEN, 2024).

Figura 2: Composição da Matriz Energética Brasileira 2024.

Fonte: Adaptado de International Energy Agency (IEA), 2024.

2.3. Matriz Energética e Biomassa em Angola

A matriz energética de Angola é atualmente caracterizada por um grande impulso em fontes renováveis, principalmente energia hídrica e solar. Nos últimos anos, Angola tem avançado em uma transição para uma matriz mais limpa. Desde 2015, o país passou a depender menos de energia térmica, reduzindo o uso de combustíveis fósseis como o diesel, e expandindo consideravelmente a produção de energia hídrica e solar, que hoje já representam aproximadamente 58% e 5%, respectivamente, da capacidade instalada do país. Com essa combinação, a produção renovável subiu para cerca de 62% em 2022, sendo um marco para o setor energético nacional (Ministério da Energia de Angola, 2024).

Com a implementação do Plano de Ação do Setor de Energia 2023-2027, Angola visa aumentar a participação de fontes renováveis na matriz energética para 72% até 2027, priorizando a energia hídrica e solar. Essa iniciativa também integra metas de eletrificação, visando ampliar o acesso à energia para mais da metade da população. As autoridades angolanas planejam atrair investimentos significativos para atingir essas metas, com a colaboração do setor privado e instituições financeiras internacionais (Santos et al., 2023).

Tabela 3: Composição da Matriz Energética Angolana em 2024.

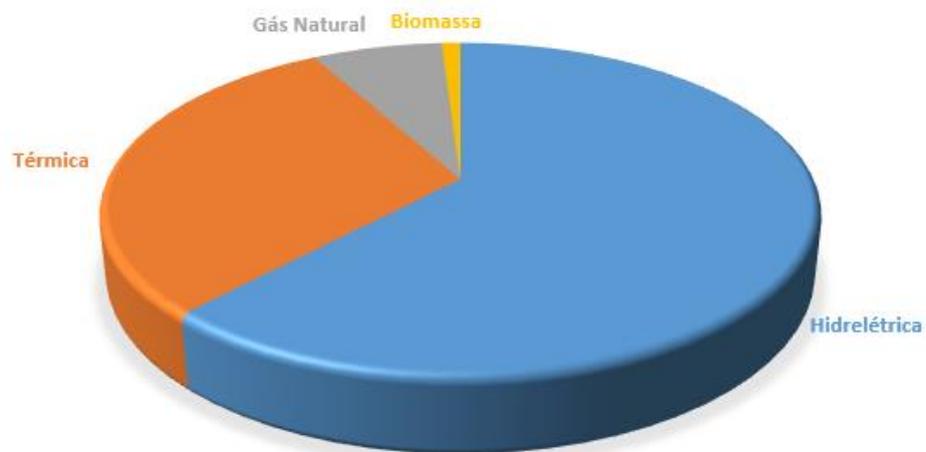
Recursos	Participação (%)	Participação (MW)	Tipo
Hidrelétrica	62%	3,005	Renováveis
Térmica	30%	1,866	Renováveis
Gás Natural	7%	375	Renováveis
Biomassa	1%	63	Renováveis

Fonte: Adaptado de Ministério de Energia de Angola (MEA), 2024.

Através do gráfico que segue, pode-se observar a divisão das fontes de energia em Angola, de salientar que o estudo feito, está no intervalo de 2015-2024.

O planejamento para alcançar 72% de fontes renováveis até 2027 também envolve o fortalecimento de parcerias com empresas privadas e agências internacionais, o que se reflete na criação de políticas favoráveis ao investimento e na alocação de subsídios governamentais. O país busca, assim, reduzir a vulnerabilidade energética, mantendo o compromisso com a sustentabilidade e fortalecendo o sistema elétrico com um perfil mais diversificado e resiliente (Santos., et al, 2024).

Figura 3: Composição da Matriz Energética Angolana em 2024.



Fonte: Adaptado de Ministério das Energias e Águas de Angola, (MEAA), 2024.

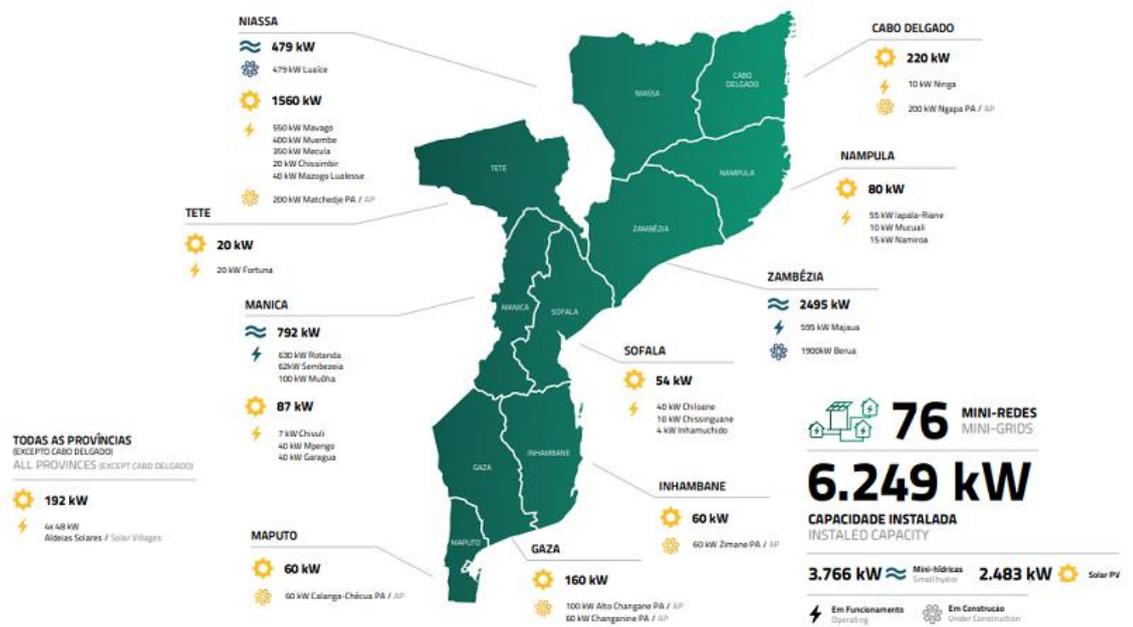
2.4. Matriz Energética e Biomassa em Moçambique

Moçambique é um país localizado no sul da África, banhado pelo oceano Índico com as latitudes 10°-27° S e longitudes 30°-41°E e fazendo fronteira com alguns países da África Austral que são: ao norte a Tanzânia, a noroeste o Malawi e a Zâmbia, a oeste o Zimbábue, e África do Sul e a Suazilândia ao sul do país (Maputo; Chaves, 2019). Moçambique ocupa uma extensão territorial com área de 799.380 km², onde 13.000 km² são águas interiores que incluem lagos, albufeiras e rios, 786.380 km² corresponde a parte terrestre do país e 2.470 km² corresponde a zona costeira banhada pelo oceano Índico (Fonseca, 2020). O país está organizado em 11 províncias, distribuídas em 3 regiões (norte, centro, sul), onde as províncias são nomeadamente: Niassa, Cabo delgado e Nampula na região norte, Zambézia, Tete, Manica e Sofala na região centro e na região sul estão as províncias de Inhambane, Gaza, Maputo Província e Maputo Cidade, tendo como a capital Maputo Cidade (Silva; Almeida, 2021).

A produção de energia de Moçambique é composta por energias renováveis que correspondem a 87,5%, tendo a biomassa e energia hídrica como principais fontes. A biomassa se apresenta como fonte majoritária no consumo doméstico em Moçambique, uma vez que 80% da população depende dessa fonte para a sua subsistência, destacando a biomassa lenhosa. Quanto ao acesso à rede elétrica nacional, apenas 34% dos cerca de 30 milhões da população têm acesso à mesma (Santos; Lima, 2018).

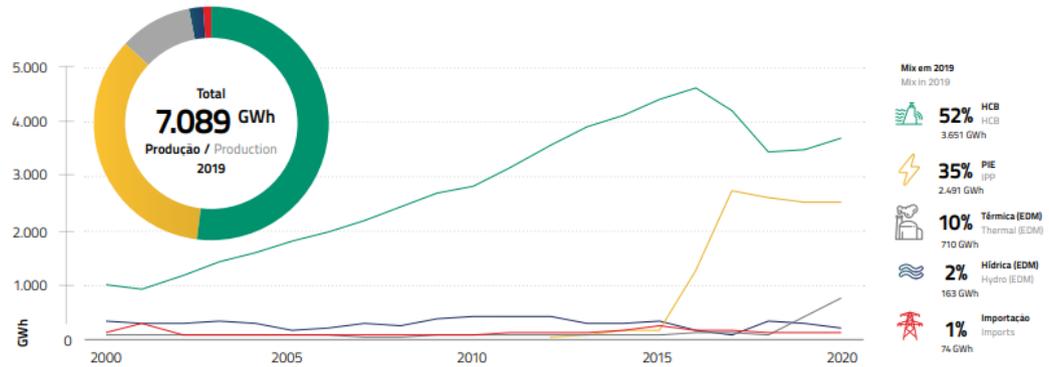
A produção anual de energia é de origem hídrica, vinda da Hidroelétrica de Cahora Bassa, assim como conta-se com produtores independentes de energia elétrica. Totalizando a produção anual de energia, atingiu-se cerca de 18,75 TWh (Terawatt hora) em 2016, mas somente tendo disponível para o consumo interno 5,22 TWh (Gomes, 2020). Apesar do consumo de eletricidade ter crescido de forma constante nos últimos dez anos, sendo atualmente de 203 kWh/per capita, ainda encontra-se abaixo do consumo em países desenvolvidos . Quanto ao potencial dos recursos renováveis disponíveis em Moçambique, o (mostra que o país apresenta um total de 23026 GW, destacando a energia solar com 23000 GW, a hídrica com 19 GW, eólica 5 GW, biomassa 2 GW e a geotérmica com 0,1 GW (Machado, 2017). . Como se pode observar na Figura 4.

Figura 4: Matriz Energética Moçambicana.



Fonte: AMER, 2024.

Em termos de recursos renováveis a energia solar o país dispõe de um total de 23.026GW tendo o maior potencial disponível, sem previsões de projetos para exploração dessa fonte de energia (Carvalho; Pinto, 2021). O FUNAE apresentou os projetos prioritários por cada fonte, que tem um total de 7,54 GW para diversas fontes de energia renováveis.

Gráfico 1: Distribuição do Consumo Energético em Moçambique (2024).

Fonte: EDM, 2024.

2.5. Fontes Energéticas Renováveis

Com o passar do tempo, devido a necessidade da transição energética para as fontes mais sustentáveis, muitas fontes da energia foram desenvolvidas, produzindo uma grande quantidade de energia, e passaram a fazer parte da matriz energética mundial, o que antes era dominada pelos combustíveis fósseis (Mendes; Pereira, 2019). As denominadas fontes renováveis, hídrica, solar, eólica, biocombustíveis e outras, ganharam e ganham protagonismo a cada dia que passa. Baseando nos estudos feitos, é bem claro que essas fontes ainda vão crescer muito e com uma velocidade considerável. Logo em seguida, a Figura 9 apresenta um gráfico do crescimento das fontes renováveis entre 2019 e 2024, com a última atualização no novembro de 2019, proveniente da IEA (Carvalho; Pinto, 2021).

2.5.1. Energia Solar

A energia solar é uma fonte alternativa, renovável e sustentável de energia proveniente da radiação eletromagnética (luz e calor) emitida diariamente pelo Sol. Ela é considerada uma fonte inesgotável. Seu aproveitamento pode ser feito de várias formas, principalmente por meio de células fotovoltaicas, que utilizam tecnologia própria para a produção de eletricidade, resultando nas populares placas solares (Ferreira; Costa, 2020).

Além das células fotovoltaicas, a energia solar pode ser aproveitada por meio da concentração de raios solares em um ponto específico, aumentando a temperatura para usos térmicos, como em fornos solares. Esse tipo de sistema permite o armazenamento e a utilização do calor solar no momento desejado (Santos; Lima, 2019).

Figura 5: Placas Solares Fotovoltaicas.



Fonte: MFRURAL, 2024.

A geração de energia solar fotovoltaica apresentou um crescimento de 22% (+131 TWh) em 2019, sendo o segundo maior aumento absoluto entre todas as tecnologias renováveis, ficando atrás apenas da eólica e à frente da hidrelétrica. Apesar de uma desaceleração no crescimento devido a mudanças políticas e incertezas na China, que é o maior mercado fotovoltaico global, o ano de 2019 foi marcado por um crescimento recorde na capacidade fotovoltaica em nível global (International Energy Agency, 2020).

Com o aumento da competitividade, a energia solar fotovoltaica segue na trajetória de atingir as metas do Cenário de Desenvolvimento Sustentável (SDS), que prevê um crescimento médio anual de 15% entre 2019 e 2030 (Biol, 2021).

2.5.2. Energia Eólica

Através da energia cinética do ar, oriunda do movimento da força do vento, é possível obter energia, que pode ser transformada em outras formas, como energia mecânica e, posteriormente, em energia elétrica. Esse processo é denominado energia eólica, ou, tradicionalmente, energia do vento (Oliveira; Santos, 2020).

A energia eólica é uma fonte abundante, renovável, limpa e disponível em todo o mundo. A utilização dessa fonte para geração de eletricidade em escala comercial teve início há pouco mais de 30 anos, impulsionada pela crise mundial do petróleo, que estimulou países desenvolvidos a buscarem alternativas para reduzir a dependência do petróleo e do carvão (Silva; Ferreira, 2019).

A primeira turbina eólica comercial ligada à rede elétrica pública foi instalada em 1976, na Dinamarca. Atualmente, existem mais de 80 mil turbinas eólicas em operação ao redor do mundo. Em 1991, a Associação Europeia de Energia Eólica estabeleceu metas para a instalação de 4.000 MW na Europa até o ano 2000 e 11.500 MW até 2005, metas essas que foram alcançadas bem antes do esperado, em 1996 e 2001, respectivamente (Associação Europeia De Energia Eólica, 2021).

As metas atuais incluem a instalação de 40.000 MW de capacidade eólica na Europa até 2010. Nos Estados Unidos, o parque eólico já contava com cerca de 4.600 MW instalados, com um crescimento anual de aproximadamente 10%. Estima-se que, em 2020, 12% da energia mundial seja gerada pelo vento, com uma capacidade instalada de 1.200 GW. No âmbito do Comitê Internacional de Mudanças Climáticas, projeta-se a instalação de 30.000 MW até 2030, com potencial de expansão por meio de créditos de carbono (Comitê Internacional De Mudanças Climáticas, 2019). A figura 8, ilustra o maior parque eólico da América do Sul.

Figura 4: O Maior Parque Eólico da América do Sul (Brasil-Piauí).



Fonte: STCP, 2024.

As previsões indicavam que as adições anuais líquidas de capacidade eólica chegariam a 65 GW em 2020, representando um aumento de 8% em relação a 2019. No entanto, as medidas de contenção da Doença Causada pelo Novo Coronavírus (COVID-19) provocaram uma desaceleração nas atividades de construção de turbinas onshore de fevereiro a abril de 2020, em função de interrupções na cadeia de abastecimento e desafios logísticos em diversos países.

Em contrapartida, o setor de energia eólica offshore foi apenas levemente afetado pelos atrasos relacionados à crise de COVID-19, devido aos longos prazos de entrega dos projetos (International Energy Agency, 2021).

Para 2021, estimou-se uma nova aceleração nas adições eólicas, alcançando 68 GW (dos quais 7,3 GW offshore), impulsionada pela finalização de projetos onshore adiados. Esse aumento ocorreu principalmente em função de regulamentos aprovados nos principais países da Europa e nos Estados Unidos, que flexibilizaram os prazos de comissionamento para os projetos de energia eólica (Smith; Lee, 2022).

Em 2022, as instalações globais de energia eólica retomaram os níveis de 2019, impactadas pela redução dos incentivos nos maiores mercados, como a República Popular da China (“China”) e os Estados Unidos. Contudo, essa queda foi parcialmente compensada por uma expansão acelerada na Europa. A capacidade offshore representou quase 15% do total das adições eólicas em 2022 — um aumento de 50% em relação a 2019 — em decorrência da aceleração em mercados emergentes, como França, Coreia e Vietnã, enquanto o mercado chinês apresentava redução. Espera-se que os Estados Unidos entrem para os principais mercados offshore após 2022 (Global Wind Energy Council, 2023).

2.5.3. *Hidrogênio Verde*

O hidrogênio é encontrado principalmente em sua forma gasosa H₂, estando presente em hidrocarbonetos e na molécula de água. O hidrogênio verde (H₂V) é produzido a partir da eletrólise da água por meio de fontes renováveis como eólica e solar, um processo de separação da molécula de água (H₂O) em hidrogênio (H₂) e oxigênio (O₂) por meio da passagem de uma corrente elétrica na solução aquosa (World Wide Fund for Nature Inc-Brasil, 2024).

Ele pode ser utilizado ainda na composição de outros combustíveis, sintetizados a partir dele, que se beneficiarão das características da cadeia 100% livre (com menor emissão de CO₂) Hoje, os países líderes na produção de H₂V são Alemanha, Japão e China (Fundo Mundial para a Natureza, 2024).

O hidrogênio pode ser utilizado não somente como combustível no setor de transportes, mas também como matéria-prima para produtos em outros setores como na indústria de aço e metais e a farmacêutica.

O hidrogênio também pode ser utilizado como fonte de energia quando combinado as células a combustível, o que irá influenciar diretamente na redução de emissões de GEE (gases de efeito estufa) se produzido a partir de fontes renováveis (Fundo Mundial para a Natureza, 2024).

Atualmente a produção de hidrogênio por meio da reforma a vapor do gás natural é responsável por 6% do uso global deste vetor que combinada à produção a partir do carvão mineral somaram juntas, em 2020, emissões equivalentes a 900 milhões de toneladas de CO₂, valor que deve ser reduzido significativamente com a produção de hidrogênio a partir das fontes renováveis (World Wide Fund for Nature Inc-Brasil, 2024).

Figura 5: Hidrogenio Verde.



Fonte: WWF-Brasil, 2024.

As células combustíveis são uma das formas de utilização do hidrogênio em veículos elétricos, nos quais a reação química entre o hidrogênio e oxigênio gera energia elétrica que alimenta a bateria proporcionando o funcionamento do motor elétrico. Essa reação pode acontecer de forma contínua, enquanto a célula estiver sendo alimentada com o combustível, o que destaca o uso da célula a combustível se comparada as tecnologias aplicadas em baterias atuais se diferindo da vida útil das baterias atuais (World Wide Fund for Nature Inc-Brasil, 2024).

Outra grande vantagem do uso do hidrogênio verde está na ausência de poluentes: a reação tem como único produto a água (H₂O), desde que aconteça na presença de hidrogênio e oxigênio puro. O hidrogênio verde também é uma opção de substituição dos combustíveis fósseis no setor de transportes coletivos, além de servir como indutor de eletrificação nos veículos em geral.

O uso dele nesse contexto reduziria o impacto na atmosfera e ajudaria gestores públicos a alcançarem os compromissos de redução de emissões GEE (Fundo Mundial para a Natureza, 2024).

Um dos desafios centrais para a ampliação do uso de hidrogênio verde reside na otimização de sua produção e armazenamento, dadas as limitações técnicas e de infraestrutura existentes. Atualmente, a eletrólise da água, a tecnologia mais comum para produção de hidrogênio verde, ainda possui uma eficiência energética limitada, o que impacta o custo final do hidrogênio (WWF-Brasil, 2024). Para tornar o hidrogênio verde economicamente competitivo, diversas abordagens estão sendo investigadas, incluindo o desenvolvimento de novos materiais para eletrolisadores e técnicas mais eficientes de armazenamento, como a compressão de hidrogênio e o uso de amônia como vetor de transporte. Esses avanços têm o potencial de posicionar o hidrogênio verde não apenas como uma solução energética para setores específicos, mas também como um componente fundamental para a criação de redes energéticas integradas, promovendo uma maior flexibilidade e estabilidade nos sistemas de energia renovável em larga escala (FMN, 2024).

2.5.4. *Biocombustíveis*

Os biocombustíveis são combustíveis de origem biológica, produzidos a partir de diversas matérias-primas vegetais, como milho, soja, cana-de-açúcar, mamona, canola, babaçu e cânhamo. Além disso, o lixo orgânico também pode ser utilizado para a fabricação de biocombustível. Esses combustíveis podem ser aplicados em veículos (carros, caminhões, tratores), de forma integral ou misturados com combustíveis fósseis. No Brasil, por exemplo, o diesel é misturado com biocombustível, assim como o etanol é adicionado à gasolina (Agência Nacional Do Petróleo, 2023).

A capacidade de bioenergia deve aumentar em 32%, de 129 GW para 171 GW até 2024. Embora isso represente apenas 3% do crescimento total da capacidade renovável, a bioenergia será responsável por 8% da geração renovável ao final do período projetado. As adições globais de bioenergia permanecem estáveis, entre 6 GW e 8 GW anuais, com a China responsável por quase 50% da nova capacidade, principalmente por meio da cogeração de biomassa sólida e de projetos de Energia a Partir de Resíduos (EFW) (International Renewable Energy Agency, 2021).

O Japão ocupa o segundo lugar em acréscimos de capacidade de bioenergia devido a projetos previamente aprovados.

A Índia e o Brasil são os próximos maiores mercados de crescimento, com destaque para a cogeração a partir do bagaço, ligada às indústrias de açúcar e etanol. Na União Europeia, 3 GW de adições foram registrados em 2018, o maior aumento desde 2011; entretanto, essa marca não foi atingida novamente. A capacidade europeia deverá expandir-se em pouco menos de 7 GW durante o período de previsão, liderada pelo Reino Unido, Holanda e Turquia, impulsionados pelo mercado emergente de biogás (Comissão Europeia, 2022). Conheça alguns tipos de biomassa através da Figura 6.

Figura 6: Algumas Fontes da Bioenergia.



Fonte: Portal Energia, 2024.

Embora seja uma das fontes com um índice de uso significativamente baixo, são diversos os benefícios do uso da biomassa como fonte de energia. Além do fato de ser um recurso renovável, a biomassa gera baixas quantidades de poluentes, favorece o reaproveitamento de recursos, o seu transporte é fácil e possui baixo custo de operação. É uma alternativa que também é muito importante para o ciclo natural, uma vez que faz uso de recursos que são, muitas vezes, inesgotáveis e que quase não alteram a temperatura do planeta (International Renewable Energy Agency, 2021).

3. BIOMASSA

Biomassa é um termo utilizado para denominar o grupo de produtos energéticos e matérias-primas renováveis, originados a partir da matéria orgânica formada por via biológica. Do ponto de vista energético, biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizado para produção de energia (Cardoso, Oliveira 2020).

A biomassa pode ser classificada em dois grandes grupos: **(1) biomassa tradicional**, composta essencialmente pela lenha e resíduos naturais e **(2) biomassa moderna**, produzida a partir de processos tecnológicos avançados e eficientes, tais como biocombustíveis líquidos, briquetes e pellets, cogeração (bagaço de cana) e os cultivos dedicados de espécies como o das florestas plantadas e o da cana-de-açúcar. A principal fonte para geração de energia da biomassa está nos resíduos, principalmente nos de origem vegetal (Vilela M. Seabra P. 2023). Por meio da biomassa é possível se obter diversas formas de energia. Os seus principais usos como insumo energético são: produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica (carvão e resíduos agrofloretais), biocombustíveis líquidos (álcool combustível e biodiesel utilizados em motores a combustão) e geração de energia elétrica (combustão direta, gaseificação, queima de gases, entre outras tecnologias). A biomassa pode ser obtida de vegetais lenhosos, não-lenhosos e/ou de resíduos orgânicos, e transformada em energia mediante diferentes processos de conversão (Vilela M. Seabra P. 2023).

O esforço de desenvolvimento tecnológico para conversão de energia primária contida na biomassa, em formas secundárias utilizáveis é distribuído entre duas rotas principais: (1) produção de calor de processo associado com a geração de energia elétrica (cogeração) e (2) produção de combustíveis líquidos (etanol e biodiesel). A demanda de energia elétrica das plantas industriais do setor sucroalcooleiro (100%) e do de papel/celulose (50%) são supridas pelo bagaço de cana e a lixívia negra/resíduos florestais (respectivamente). Para conversão energética da biomassa sólida são usados equipamentos como caldeiras e motores de combustão interna (França, 2018). Nesse processo, ocorre a combustão direta, a decomposição térmica da carga combustível e a combustão dos produtos resultantes desta decomposição, com uma quantidade de oxigênio fornecida suficiente para conseguir a combustão completa do combustível (Chandamela, 2021). A Figura 7, apresenta as fontes de biomassa e seus processos de conversão.

Para fins energéticos, a combustão direta ocorre essencialmente em fogões (cocção de alimentos), fornos (metalurgia, por exemplo) e caldeiras (geração de vapor, por exemplo). Embora muito prático e às vezes conveniente, o processo de combustão direta é normalmente muito ineficiente. Outro problema da combustão direta é a alta umidade e a baixa densidade energética do combustível (lenha, palha, resíduos etc.), o que dificulta o seu armazenamento e transporte (França, 2018).

O processo de cogeração consiste na geração simultânea de energia térmica e mecânica a partir de uma mesma fonte primária de energia. A energia mecânica pode ser utilizada na forma de trabalho, por exemplo, no acionamento das moendas em usinas sucroalcooleiras, ou transformada em energia elétrica através de turbinas de geração de energia elétrica (Chandamela, 2021). A energia térmica é utilizada neste setor como fonte de calor para processos em geral. A alta umidade e a baixa densidade da biomassa podem gerar inconvenientes como a decomposição da matéria-prima quando a mesma é estocada por longos períodos de tempo (Chandamela, 2021).

Os sistemas de cogeração de alta eficiência que utilizam biomassa como combustível são normalmente projetados para operar em faixas específicas de umidade. As caldeiras de queima em suspensão normalmente operam em faixas de umidade mais altas de até 50%, pois o sistema de alimentação já prevê que durante a queda da biomassa se dará o processo de secagem, com a queima ocorrendo ainda em suspensão ou acima da grelha basculante (Vilela M. Seabra P. 2023).

O aumento da umidade além dos limites de operação projetados causa instabilidade no sistema como um todo, devido à diminuição da temperatura da zona de combustão. Isso ocasiona não somente a perda de eficiência dos sistemas de combustão, como também aumento nas emissões ambientais e diminuição da vida útil devido à formação de depósitos de espécies químicas corrosivas em zonas não adequadas (França, 2018).

Desta forma, a remoção da umidade da biomassa, mediante secagem ao sol ou através de secadores rotativos é uma estratégia fundamental para aumentar o poder calorífico dos materiais e a eficiência energética do processo de combustão. Outra prática que melhora esta eficiência energética é o adensamento da biomassa sólida, enfardamento, briquetagem e peletização (Vilela M. Seabra P. 2023). Devido à baixa densidade de alguns tipos de biomassa utilizados para geração de energia, existe uma preocupação especial na viabilização da coleta e transporte destas matérias-primas.

O pensamento corrente é que a biomassa deve ser processada localmente e adensada (carbonização, enfardamento, conversão em briquetes e pellets) para transporte a distâncias superiores a 50 Km, de forma a atingir um nível ótimo entre a economia (e eficiência) de escala da planta de conversão e o custo variável do transporte da biomassa (Birol, 2021).

3.1. A Biomassa na Matriz Energética Brasileira

A produção de energia no século 20 foi dominada por combustíveis fósseis, que representavam ainda no início do século 21, cerca de 80% de toda a energia produzida no mundo, com percentuais de 24,59% para o carvão mineral, 35,03% para o petróleo e 20,44% para o gás natural. Além dos combustíveis fósseis, as fontes de energia hidroelétrica, nuclear, solar, eólica, geotérmica e de pequenas centrais hidroelétricas, juntas representavam 10% da produção de energia. Os outros 10% se originaram da biomassa: 8,40% sob a forma de biomassa tradicional usada de forma primitiva, não sustentável, pelas populações carentes da África, Ásia e parte da América Latina, que derrubam as árvores para aquecer ambientes e cozinhar e os 1,91% restantes eram usados como formas modernas de energia, como o carvão vegetal e o etanol combustível (Birol, 2021).

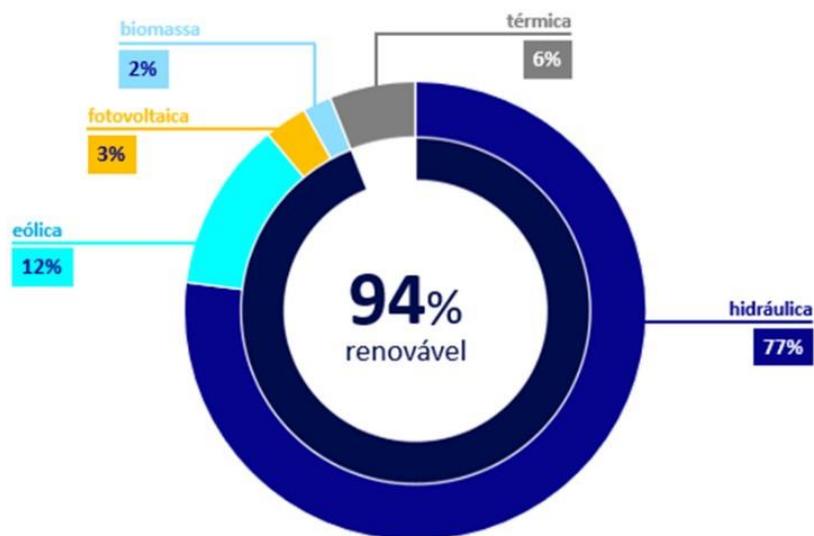
O carvão mineral é a principal fonte de energia elétrica no mundo. Sua participação está muito acima do segundo colocado, o gás natural. Juntos, representam mais de 60% da produção da eletricidade mundial. A hidroeletricidade ocupa a terceira posição, contudo, em níveis bem inferiores ao gás natural, e é seguida, de perto, pela energia nuclear (International Renewable Energy Agency, 2021).

No Brasil, esse cenário é muito diferente, visto que as energias renováveis têm participação de 41,2% da matriz energética brasileira, com produção proveniente de fontes como hídrica, biomassa e etanol, além das energias eólica e solar. Para se ter uma ideia da representatividade da bioenergia no Brasil, os derivados da cana-de-açúcar (caldo, melaço e bagaço), a lenha, o carvão, a lixívia e outras renováveis responderam, em 2014, por 29,2% da oferta interna total de energia do país (Agencia Internacional de Energia, 2021).

O Brasil reúne, como nenhum outro país, condições plenas para viabilizar a produção e o uso sustentável de biomassa, tendo em vista suas condições climáticas favoráveis, ampla área agricultável e grande disponibilidade (Birol, 2021). Dessa forma, o aproveitamento da energia contida nessa matéria prima torna-se uma das mais importantes alternativas para o enfrentamento de uma série de problemas ligados à sustentabilidade e ao suprimento energético, especialmente para os países tropicais em desenvolvimento (Ferreira; Costa, 2020).

Do consumo total de energia no Brasil, os segmentos mais representativos pertencem ao setor industrial, dentre eles: alimentos e bebidas (26,4%), ferro-gusa e aço (18,4%), papel e celulose (12%), química (7,9%) e cerâmica (6%). Atualmente, 65,2% da oferta interna de energia provêm da geração hidráulica, enquanto a biomassa responde por 7,3% do total (Silva; Ferreira, 2019).

Gráfico 1: Recorde de produção de energia limpa no Brasil em 2023.



Fonte: Adaptado da Câmara de Comercialização de Energia Elétrica – CCEE, 2024.

A geração de eletricidade a partir de biomassa ocorre principalmente nos setores sucroalcooleiro, de papel e celulose, arrozeiro, nas agroindústrias que utilizam os resíduos correspondentes (bagaço de cana-de açúcar, resíduos de madeira e licor negro, casca de arroz). O aumento da participação da biomassa na geração de energia no Brasil depende do estudo de seu potencial e disponibilidade, uma vez que o uso de resíduos como combustível em alguns setores não é algo tradicional.

A coleta e a sistematização de informações sobre disponibilidade desses recursos energéticos é, portanto, fundamental para a elaboração e execução das políticas relativas ao setor. A potência outorgada pela Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) na matriz elétrica brasileira indica que a biomassa responde por 8,83% do total nacional, com destaque para o bagaço da cana-de-açúcar (78,2%), os resíduos do setor florestal (20%) e outras fontes (11,8%) como a casca de arroz e o capim-elefante (Comitê Internacional De Mudanças Climáticas, 2019).

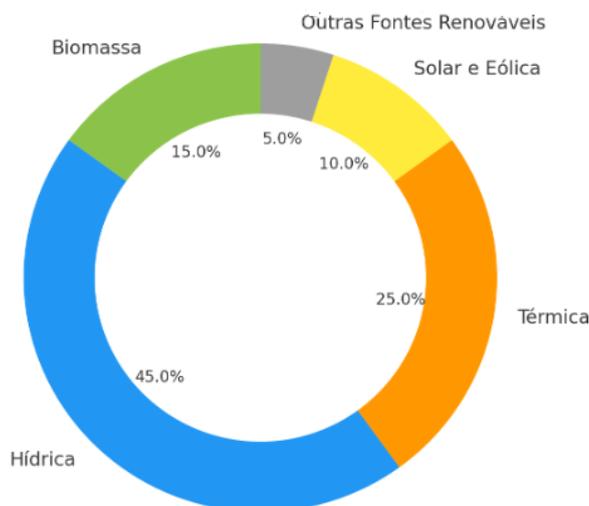
Com a perspectiva de aumento de 50% na demanda de energia elétrica do Brasil até 2030, é também de se esperar um concomitante aumento na demanda por biomassa para atender este crescimento (ANEEL, 2024). Assim sendo, o desenvolvimento e a adoção de tecnologias para o aproveitamento de resíduos agrícolas e/ou agroindustriais e o cultivo de espécies dedicadas à produção de biomassa configuram-se como opções favoráveis à diversificação e descentralização do processo de geração de energia.

3.2. A Biomassa na Matriz Energética Angolana

O uso de biomassa na matriz energética de Angola está emergindo como uma opção estratégica para diversificar a produção de energia renovável no país, especialmente nas áreas rurais, onde o acesso à eletricidade ainda é limitado. A biomassa, que inclui resíduos agrícolas, florestais e industriais, é abundante em Angola devido à sua rica produção agroflorestal e pode ser utilizada tanto para geração de energia térmica quanto elétrica (O país, 2024). Em um estudo recente, estimou-se que Angola possui um potencial de biomassa de até 7.4 milhões de toneladas por ano, com base em resíduos provenientes de setores como agricultura, madeira e processamento de alimentos (MEAA, 2024).

Este potencial poderia contribuir significativamente para reduzir a dependência da energia hídrica e térmica, fornecendo uma fonte de energia mais estável em períodos de seca e mitigando a necessidade de importação de combustíveis fósseis, que é cara e ambientalmente prejudicial (O país, 2024).

Gráfico 2: Estimativa da Matriz Energética em Angola até 2030 (Com Biomassa).



Fonte: Adaptado RMEA, 2024.

Atualmente, a contribuição da biomassa na matriz energética angolana é ainda incipiente, representando uma pequena porcentagem da produção nacional. No entanto, com a implementação de políticas de incentivo à energia renovável e ao uso sustentável de recursos naturais, o governo angolano busca aumentar a participação da biomassa na matriz energética para apoiar a eletrificação rural e reduzir as emissões de gases de efeito estufa (Recursos Minerais e Energia de Angola, 2024).

Estima-se que, com o uso adequado das tecnologias de conversão de biomassa e com a criação de infraestrutura adequada, essa fonte pode contribuir para cerca de 15-20% da produção de energia até 2030, reduzindo a pressão sobre recursos hídricos e complementando outras fontes renováveis, como solar e eólica. O avanço da biomassa também pode gerar empregos locais e estimular a economia circular, criando um ciclo de produção e consumo sustentável nas comunidades (O país, 2024).

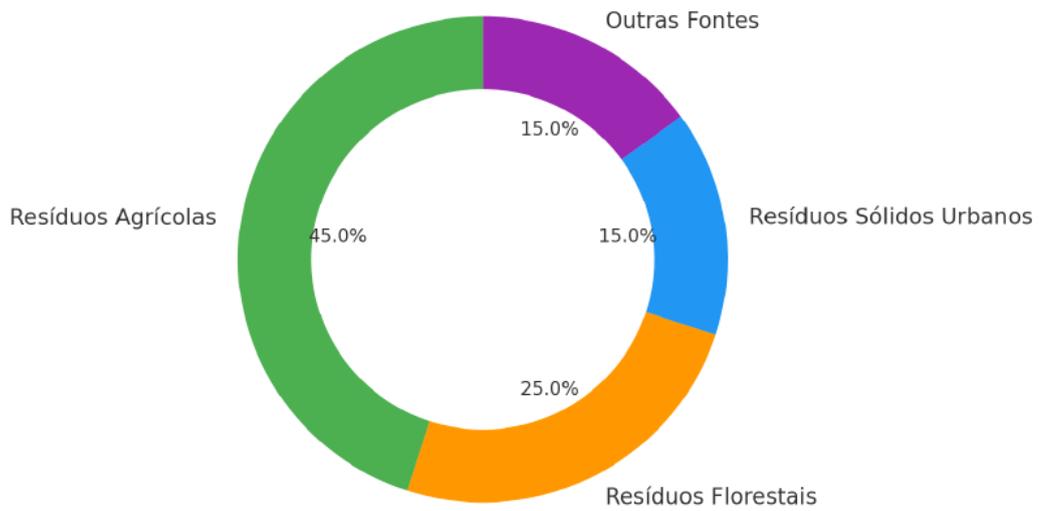
3.3. A Biomassa na Matriz Energética Moçambicana

Moçambique é um dos dez maiores produtores de carvão vegetal do mundo. Estima-se que os resíduos da atividade florestal a nível nacional poderiam gerar 750 GWh de energia (Gonsalves, Fortes, 2020). Além disso, estima-se que é possível produzir 3,1 milhões de barris equivalentes de petróleo por dia de biocombustíveis sem afetar a produção agrícola ou pôr em risco a biodiversidade (Gonsalves, Fortes, 2020).

A produção de biocombustíveis no País iniciou-se em 2007, e pela dinâmica do setor, têm ocorrido mudanças nas estruturas produtivas, concorrendo para a substituição da matriz produtiva local, alterando as produções familiares, elevando as densidades técnicas e as formas de usos e aproveitamento da terra (Langa; Souza; Hespagnol, 2013). A demanda mundial por biocombustíveis deverá crescer a taxas elevadas, motivada pela conscientização da necessidade de deter o processo de aquecimento global, bem como pela preocupação de uma possível escassez de petróleo (Machado, 2017).

A bioenergia desenvolvida com conhecimento e implementada considerando as necessidades locais, pode ajudar a aumentar a resiliência da oferta de alimentos, diminuir a poluição e preservar a biodiversidade, melhorar a saúde humana e outros seres vivos, recuperar terras degradadas, mitigar os efeitos das mudanças climáticas e propiciar oportunidades econômicas e de negócios (Santos, Lima, 2018).

Gráfico 3: Estimativa da Matriz Energética em Moçambique até 2030 (Com Biomassa).



Fonte: Adaptado da EDM, 2024.

3.4. Processamento dos biocombustíveis em Moçambique

O termo biocombustível aplica-se a todos os elementos orgânicos capazes de gerar combustão. Nesta perspetiva, abrange os combustíveis sólidos, líquidos, gasosos e gelatinosos. Na presente pesquisa, classificou-se em biomassa florestal, biomassa lenhosa, biogás, etanol e biodiesel (Gomes, 2020).

3.4.1. Biomassa Florestal

Moçambique é um dos poucos países na região da África Austral que ainda mantém uma proporção considerável da sua área coberta com florestas naturais e matas remanescentes, principalmente do tipo *miombo*, que cobre 2/3 da superfície do País (Machado, 2020).

A biomassa florestal utilizada na geração de energia elétrica ou térmica, pode ser procedente de resíduos da exploração convencional da madeira ou de árvores das plantações dedicadas à exploração florestal para fins energéticos. A utilização desta biomassa depende das características termoquímicas, como a composição química, granulção, densidade, carbono fixo, materiais voláteis e os teores de cinza, de umidade e de lignina, que definem a eficiência, o poder calorífico e o valor comercial (Gomes, 2020).

No País, a biomassa florestal é usada por combustão direta. Porém, os resíduos agroflorestais *in natura* possuem baixa eficiência energética, devido à baixa densidade, alta umidade e baixo poder calorífico (Santos, Lima, 2018).

A vantagem de uso dos briquetes e *pellets* é o aumento da densidade energética, resistência e poder calorífico (Santos, Lima, 2018). Na Figura 8, ilustra-se o briquete e o seu potencial energético.

Figura 8: Briquetes com diâmetro entre 50–100 mm e comprimento maior que 100 mm.



Fonte: <https://compostcheira.eco.br/produto/briquete-lenha-ecologica-24kg/>, 2024.

3.4.2. Biomassa lenhosa

A lenha e carvão são essenciais para suprir as necessidades energéticas das famílias, com a biomassa lenhosa representando 80% do consumo total de energia em Moçambique (Aquino et al., 2018). O inventário florestal apontou um total de 1,6 mil milhões de toneladas de biomassa lenhosa (Aler, 2017) de origem natural disponível em Moçambique, concentrada nas províncias de Zambézia e Niassa.

A causa da elevada procura por lenha e carvão está associada ao crescimento económico e populacional, falta de alternativas de energia doméstica, dúvidas nas políticas institucionais e na cadeia de transporte e distribuição (Ecuseb, 2013). Apesar dos esforços para eletrificação e disponibilização de gás de cozinha, há poucos agregados familiares que adotaram estas alternativas, sendo que, apesar destas usarem hidroeletricidade para iluminação, continuam a cozinhar com lenha e carvão (Aler, 2017) .

Existem diferenças na aquisição e consumo de combustíveis lenhosos. Na zona rural, a lenha é a forma dominante de energia. Ela é obtida principalmente de ramos e árvores secas naturalmente ou derrubados para abrir *machambas*. A intensidade de exploração de lenha para uso na zona rural é baixa e corresponde à densidade populacional baixa, típica de povoados (Aquino et al., 2018).

Nas zonas urbanas, o carvão é a forma dominante de combustível lenhoso ao nível doméstico enquanto as indústrias e as grandes cozinhas utilizam a lenha. A exploração de lenha e fabrico de carvão para consumo urbano é feita de modo intensivo e com o abate de árvores de forma pouco seletiva em relação a espécie e tamanho (Aler, 2018).

Em geral, três cenários de fornecimento de energia de biomassa lenhosa podem ocorrer no País:

- I.** Excedente, o caso atual em Cabo Delgado, Zambézia, Manica e Niassa;
- II.** Equilíbrio aproximado entre oferta e demanda, como no caso de Gaza, Inhambane, Sofala e Tete;
- III.** Escassez, como no caso de Maputo e Nampula. As soluções propostas para cada região dependerão o saldo de abastecimento (Portal do Governo de Moçambique, 2021).

Tabela 4: Recursos de Biomassa Lenhosa Disponível em Moçambique.

Região	Província	População (habitantes)	Total Biomassa Lenhosa (1000 t)
Norte	Niassa	1 865 976	308 447
	Cabo Delgado	2 333 278	178 505
	Nampula	6 102 867	169 033
Centro	Zambézia	3 110 787	248 259
	Tete	2 764 169	169 455
	Manica	1 911 237	144 755
	Sofala	2 221 803	126 496
Sul	Inhambane	1 304 820	125 461
	Gaza	1 236 284	112 708
	Maputo	1 225 489	31 464
	Maputo Cidade	1 111 638	238
Total	Moçambique	28 861 863	1.615.091,00

Fonte: (ALER, 2023).

3.4.3. Biogás: Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

O biogás pode ser obtido através de processos naturais (ação de microrganismos bacteriológicos) e em material orgânico ou artificial (em biodigestores anaeróbicos).

O biogás possui conteúdo energético semelhante ao do gás natural, sendo constituído pela mistura de hidrocarbonetos com CO₂ e gás metano (CH₄) (Agência Nacional Do Petróleo, 2023). O biogás pode ser usado para a geração de energias elétrica, térmica e mecânica. A vantagem do biogás em relação ao gás natural é o fato de ser renovável e produzido em todos locais onde haja disponibilidade de biomassa, apesar de ter um baixo poder calorífico relativo, umidade e sulfeto de hidrogênio (H₂S) na sua composição (Agência Nacional Do Petróleo, 2023).

O aproveitamento energético dos RSU é realizado através da sua queima direta para geração de energia elétrica ou através da deposição em aterros sanitários para a produção de biogás, podendo ainda ser usado diretamente ou queimado para geração de energia elétrica. No País, o potencial estimado é de 63 MWM (International Renewable Energy Agency, 2021). Existe um estudo de viabilidade realizado em 2015, pela empresa GreenLight e o Instituto Técnico Real KTH da Suécia, no Município de Quelimane, para aproveitar os RSU para gerar eletricidade e biogás de cozinha, em função das características do material orgânico nos RSU, tecnologias de conversão de energia e modelos de gestão dos RSU (International Renewable Energy Agency, 2021).

Figura 9: Usina de tratamento de resíduos e geração de biogás.



Fonte: <https://www.ebpbrasil.com.br/pt-br/projeto/usina-de-tratamento-de-residuos-e-geracao-de-biogas>, 2024.

3.4.4. Etanol: Cogeração da Indústria Açucareira

O etanol ou álcool etílico é um biocombustível produzido a partir da fermentação de amido e de outros açúcares. Pode ser produzida por culturas amiláceas (milho), cana-de-açúcar, beterraba e mapira, mas no País, há inclusão da mandioca, devido ao seu baixo custo de produção. Um dos pontos fortes para a produção do álcool etílico é a possibilidade de substituir a gasolina e conseqüentemente, redução da importação e dependência do petróleo (Agência Nacional Do Petróleo, 2023).

O etanol é considerado um combustível renovável e sustentável, pois emite baixa quantidade de gases poluentes como os Gases de Efeito Estufa (GEE), em comparação com os combustíveis fósseis. Na sua produção, grande parte do Dióxido de Carbono (CO₂) produzido e libertado na atmosfera é absorvido pelas plantas, pela fotossíntese, tornando-se um dos combustíveis mais viáveis ecologicamente (Taula, 2023).

A prensagem da cana-de-açúcar origina um produto líquido: melado, rico em açúcar e o bagaço, um resíduo sólido composto basicamente por hemicelulose e celulose. Segundo uma tonelada de cana-de-açúcar gera 280 kg de bagaço, sendo constituído por lignina (20-30%), celulose (40-45%), hemicelulose (30-35%) e cinzas (em torno de 2%) (Cardoso, Luciana, 2020).

Tradicionalmente, o bagaço é usado para produzir energia em cogeração, fornecendo vapor para o processo fabril e geração de energia elétrica. O potencial estimado desta fonte de energia no País é de 832 MW (Taula. 2023).

Há uma destilaria de etanol em operação atualmente em Moçambique na Região de Búzi, a cerca de 50 km da cidade da Beira. A destilaria produz 10,000 litros por dia, de etanol para bebidas e aplicações farmacêuticas usando melados como uma matéria prima (Açucareira do Búzi, 2023).

Figura 10: Açucareira de Búzi - Sofala, Moçambique.



3.4.5. Biodiesel

O biodiesel é uma mistura de ésteres metílicos de ácidos graxos produzidos por transesterificação de óleos vegetal ou gordura animal com álcoois de cadeia curta, geralmente o metano. Isso torna o biodiesel compatível para utilização em motores à diesel (Cardoso, 2023). As espécies oleaginosas usadas para produzir biodiesel no País são: a semente de rícino, jatropha curcas, girassol, palma africana, amendoim, gergelim, coco, algodão, sebo¹ bovino, gorduras suína e de frango, rejeitos de óleos usados nas frituras e óleos não adequados à alimentação animal (Alves, 2022).

Suas propriedades físicas são semelhantes às do diesel derivado do petróleo, porém, o biodiesel possui a grande vantagem socioambiental, por ser de fonte renovável, atóxico e biodegradável. Também pode ser utilizado como uma mistura, em qualquer proporção, com o diesel de petróleo sem que haja a necessidade de grandes ajustes no motor (Taula, 2023).

Enquanto combustível, o biodiesel necessita das seguintes características: alta pureza, a reação de transesterificação deve ser completa, sem traços de glicerina, catalisador ou de álcool excedente (Alves, 2022). Essas características técnicas podem ser observadas na Tabela 5.

Figura 11: Teste de Produção do Biodiesel.



Fonte: <https://agronoticia.com.br/noticia/22345/governo-eleva-mistura-do-biodiesel-para-14-em-marco-de-2024.html>

¹Sebo são gorduras animais que se apresentam sólidas na temperatura ambiente, dada a elevada concentração de ácidos graxos saturados, principalmente o esteárico .

Tabela 5: Propriedades Complementares Atribuídas ao Biodiesel em Comparação ao Óleo Diesel Comercial em Moçambique.

Caraterísticas	Propriedades Complementares
Caraterísticas Químicas Apropriadas	Livre de enxofre e compostos aromáticos, alto número de cetanos, ponto de combustão apropriado, excelente lubricidade, não tóxico e biodegradável.
Ambientalmente Benéfico	Nível de toxicidade compatível ao sal ordinário, com diluição tão rápida quanto a do açúcar (Departamento de Agricultura dos Estados Unidos).
Menos Poluente	Reduz sensivelmente as emissões de (i) fumaça, (ii) monóxido de carbono, (c) óxidos sulfúricos e (d) hidrocarbonetos policíclicos aromáticos.
Economicamente Competitivo	Complementa todas as novas tecnologias do diesel com desempenho similar e sem a exigência da instalação de uma infraestrutura ou política de treinamento.
Reduz o Aquecimento Global	O gás carbônico liberado é absorvido pelas oleaginosas durante o crescimento, o que equilibra o balanço negativo gerado pela emissão na atmosfera.
Economicamente Atraente	Permite a valorização de subprodutos de atividades agroindustriais, aumento na arrecadação regional de impostos, aumento da fixação do homem no campo e de investimentos complementares em atividades rurais.
Regionalização	Pequenas e médias plantas para produção de biodiesel podem ser plantadas em diferentes regiões do país, desfrutando-se da disponibilidade da matéria prima.

Fonte: Adaptado de (Carvalho, Bortolini, & Barcellos, 2014; Neto *et al.*, 2000).

3.4.6. Hidrogenio Verde

O governo moçambicano estabeleceu a meta de colocar o país como um dos principais produtores de hidrogênio no sul da África até 2030, de acordo com a Estratégia de Transição Energética, informou a Rádio Moçambique na sexta-feira (Xinhua, 2024).

Moçambique tem um grande potencial para desenvolver uma indústria de hidrogênio devido aos seus recursos abundantes. O país tem abundantes recursos hidrelétricos, gás natural, solar e eólico, que podem apoiar a produção de todos os tipos de hidrogênio, especialmente o hidrogênio verde (Xinhua, 2024).

O papel que o hidrogênio desempenhará na descarbonização da economia moçambicana será definido, dada a sua capacidade de viabilizar soluções industriais e de transporte com emissões e custos mais baixos (Portal do Governo de Moçambique, 2024).

Até 2024, Moçambique quer estabelecer objetivos para a produção e o consumo de hidrogênio, bem como as medidas necessárias para atingir essas metas, incluindo o desenvolvimento de infraestrutura de hidrogênio (MRMEM, 2024).

Moçambique trabalhará em estreita colaboração com parceiros nacionais e internacionais para concluir a fase de desenvolvimento de instalações de produção, instalações de armazenamento e redes de transporte (MRMEM, 2024).

Figura 12: Hidrogenio Verde em Moçambique.



Fonte: Xinhua, 2024.

3.4.7. Cogeração na Indústria do Papel

A cogeração de energia se traduz na geração simultânea de duas ou mais utilidades (calor e energia eletromecânica), a partir de uma mesma fonte energética. Isto pode resultar nos benefícios: (i) econômico, através da redução de custos de combustíveis, quando comparada à produção das utilidades em separado, e (ii) ambientais, com a redução de emissões de poluentes decorrentes da queima de combustíveis (Silva, 2023).

Na indústria de produção de pasta de papel e celulose são utilizados os materiais residuais do processo de cozedura da madeira designados licores negros² que são queimados em caldeiras de recuperação que produzem vapor para utilização como fonte de energia térmica para o processo (ciclo de Rankine) e geração de energia elétrica. O licor negro é formado dentro do digestor no processo de polpação e queimado na caldeira de recuperação para cogeração de energia e a recuperação do licor branco. O processo de cogeração é eficiente e competitivo. O País apresenta um potencial de cogeração de 280 MW (Gonçalves, 2023).

Figura 13: indústria de papel e celulose utilizando o vapor.



Fonte: <https://disparco.com.br/industria-de-papel-e-celulose/>, 2024.

² O licor negro é um subproduto oriundo do processo de polpação da indústria de celulose e papel, formado por 60% de matéria orgânica (lignina e ácidos carboxílicos) e de 40% de matéria inorgânica (NaOH, Na₂S, Na₂CO₃, Na₂SO₄, Na₂S₂O₃ e NaCl) em base seca.

4. TECNOLOGIAS PARA CONVERSÃO DA BIOMASSA EM ENERGIA

A conversão de biomassa em energia pode ser realizada por meio de várias tecnologias, que variam em termos de eficiência, custo e impacto ambiental. A escolha da tecnologia depende das características da biomassa disponível, da infraestrutura e do contexto econômico e social de cada país. A seguir, detalharemos algumas das tecnologias mais relevantes para Angola, Brasil e Moçambique, considerando as especificidades de cada região.

4.1. Tecnologias Tradicionais

As tecnologias tradicionais para a conversão de biomassa, como a combustão direta, têm sido amplamente utilizadas em áreas rurais e em países em desenvolvimento devido ao seu baixo custo e simplicidade operacional. No entanto, essas tecnologias apresentam limitações em termos de eficiência energética e emissões de poluentes.

- **Combustão Direta:** A combustão direta é uma das formas mais simples de conversão de biomassa e envolve a queima da biomassa para gerar calor, que pode ser usado para aquecimento ou geração de vapor. Estudos indicam que a eficiência da combustão direta pode variar entre 10% e 30%, dependendo da umidade e do tipo de biomassa utilizado (Costa & Santos, 2023).

4.2. Tecnologias Modernas

Com o avanço tecnológico, surgiram métodos mais eficientes e limpos para a conversão de biomassa em energia. Tecnologias como a **pirólise**, a **gaseificação** e a **fermentação anaeróbia** têm se destacado por suas maiores eficiências e menor impacto ambiental, o que as torna particularmente adequadas para uso em larga escala e para a geração de eletricidade e biocombustíveis.

- **Pirólise Rápida:** Esse processo ocorre em alta temperatura e na ausência de oxigênio, convertendo a biomassa em bio-óleo, carvão vegetal e gás combustível. O bio-óleo gerado pode ser utilizado em caldeiras e motores, enquanto o carvão vegetal e o gás são utilizados como combustível direto. A pirólise rápida tem sido aplicada no Brasil e em Moçambique, onde há disponibilidade de resíduos florestais e agrícolas (Silva et al., 2023).

- **Gaseificação:** Este processo termoquímico converte a biomassa em um gás combustível, conhecido como syngas, composto principalmente por monóxido de carbono, hidrogênio e metano. O syngas pode ser utilizado para gerar eletricidade ou como matéria-prima para a produção de produtos químicos e biocombustíveis líquidos. A gaseificação tem se mostrado promissora para regiões como Angola e Moçambique, onde a infraestrutura para transporte de combustíveis é limitada (Marques & Oliveira, 2024).
- **Fermentação Anaeróbia:** Utilizada principalmente para a produção de bebidas alcólicas tradicionais e na produção de biogás, esta tecnologia emprega microrganismos para decompor matéria orgânica em condições sem oxigênio. O biogás, composto principalmente de metano, pode ser utilizado para geração de eletricidade e calor. A digestão anaeróbia é particularmente vantajosa em áreas rurais com grande disponibilidade de resíduos orgânicos (Costa et al., 2023).
- **Biorrefinarias:** são instalações que integram diferentes processos para extrair uma variedade de produtos a partir da Biomassa. Incluindo a produção de biocombustíveis, produtos químicos biobaseados, materiais avançados e outros. Essa abordagem visa otimizar a utilização de toda a biomassa, minimizando o desperdício (Embrapa, 2023).
- **Conversão Termoquímica com Catálise Avançada:** Utilizando catalisadores avançados, a conversão termoquímica da biomassa pode ser aprimorada, aumentando a eficiência e a seletividade na produção de produtos desejados. Isso pode incluir a produção de biocombustíveis líquidos de alta qualidade, utilizando técnicas como a reforma de bio-óleo (Ecogen-Brasil, 2024).
- **Fotossíntese Artificial:** Embora ainda esteja em estágios iniciais de desenvolvimento, a fotossíntese artificial é uma abordagem que visa imitar o processo natural de fotossíntese para converter diretamente a luz solar em combustíveis ou produtos químicos. Isso pode oferecer uma maneira altamente eficiente de utilizar biomassa ou, até mesmo, materiais sintéticos para produzir energia renovável (Pesquisa Fapesp, 2024).

5. PERSPECTIVAS E DESAFIOS PARA O SETOR DE BIOMASSA

5.1. Promoção da Energia da Biomassa e Co-geração

A cogeração, ou seja, a geração simultânea de eletricidade e calor a partir da mesma fonte de energia, tem se mostrado uma solução eficiente para o uso da biomassa em países como o Brasil, onde há grande produção de bagaço de cana-de-açúcar. Essa tecnologia permite uma maior eficiência no uso dos recursos e a redução de custos de operação (ANEEL, 2024). Em Angola e Moçambique, onde a biomassa é abundante, a cogeração pode ser uma alternativa estratégica para promover a eletrificação rural e melhorar o acesso à energia (Mota & Carvalho, 2023).

5.2. Desafios de Implementação e Política Pública

Em países em desenvolvimento, o setor de biomassa enfrenta desafios significativos relacionados a regulamentações e políticas públicas. A implementação de políticas de incentivo fiscal e de subsídios para o desenvolvimento de tecnologias modernas é essencial para fomentar o uso da biomassa como uma fonte de energia viável. Além disso, é importante que os governos locais estabeleçam padrões de eficiência energética e controle de emissões para assegurar que o crescimento do setor ocorra de forma sustentável (Silva, 2023).

5.3. Segurança Energética e Desenvolvimento Socioeconômico

O uso da biomassa pode contribuir para a segurança energética e o desenvolvimento econômico de comunidades rurais. A criação de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva da biomassa promove a inclusão social e econômica, beneficiando principalmente as populações rurais em Angola, Brasil e Moçambique. Estudos indicam que a substituição de combustíveis fósseis pela biomassa poderia reduzir em até 30% as emissões de GEE nos setores de transporte e indústria nos próximos 20 anos (Medeiros, 2023).

Tabela 6: Desafios e Oportunidades do Uso da Biomassa para Segurança Energética.

País	Desafios	Oportunidades
Angola	Falta de infraestrutura e investimento	Potencial para eletrificação rural
Brasil	Necessidade de regulamentação e incentivos	Elevado potencial para cogeração
Moçambique	Dependência de tecnologias importadas	Redução da dependência de combustíveis fósseis

Fonte: Adaptado de Medeiros (2023).

5.4. Ambiente

Atualmente, a ONU tem trabalhado em tratados e acordos com foco em questões ambientais, como o Acordo de Paris, que visa reduzir as emissões de gases de efeito estufa para combater as mudanças climáticas. Embora não exista um tratado específico da ONU focado exclusivamente na "engenharia ambiental", várias resoluções e acordos internacionais abrangem práticas e princípios que guiam a engenharia ambiental para o desenvolvimento sustentável e a preservação ambiental (Vesilind., et al, 1994).

A engenharia ambiental é parte fundamental dos esforços globais para reduzir o impacto humano no meio ambiente. Engenheiros ambientais trabalham com o desenvolvimento de tecnologias e soluções que ajudam a mitigar a poluição, melhorar a qualidade do ar e da água, promover o uso sustentável de recursos naturais, e desenvolver métodos mais limpos e sustentáveis de produção de energia (Nazaroff., et al, 2000).

Dentre os tratados e documentos da ONU que mais influenciam a engenharia ambiental, destacam-se:

- **Acordo de Paris (2015)** – com foco em limitar o aquecimento global e em desenvolver soluções inovadoras para redução de emissões.

Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável – inclui os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), que abordam desde o uso sustentável dos recursos naturais até inovações em engenharia para cidades e comunidades sustentáveis (UNFCCC, 2015).

- **Convenção de Estocolmo sobre Poluentes Orgânicos Persistentes (2001)**
– busca proteger a saúde humana e o meio ambiente contra substâncias químicas prejudiciais, um foco de grande relevância para engenheiros ambientais.

Esses tratados e resoluções incentivam a adoção de práticas sustentáveis e soluções inovadoras na engenharia ambiental, promovendo tanto a preservação ambiental quanto a adaptação às mudanças climáticas (UNEP, 2017).

5.4.1. Recursos Naturais e Ecossistema em Angola

Angola possui ecossistemas diversificados, como savanas, florestas tropicais e áreas semiáridas, que também abrigam uma rica biodiversidade. Com a economia fortemente baseada na exploração de petróleo e minerais, o país enfrenta o desafio de equilibrar o desenvolvimento econômico com a conservação ambiental. Desmatamento, poluição de rios e a degradação da terra são problemas críticos que exigem maior atenção (Silva, 2023).

5.4.2. Recursos Naturais e Ecossistema em Brasil

O Brasil possui uma das maiores biodiversidades do mundo, abrigando a floresta amazônica, o Cerrado, a Mata Atlântica e o Pantanal. Esses biomas ricos e variados são essenciais para o clima global e para a biodiversidade. No entanto, o desmatamento ilegal e a exploração intensiva de recursos naturais ameaçam significativamente esses ecossistemas, exacerbados pela pressão por expansão agrícola, mineração e urbanização (Medeiros, 2023).

5.4.3. Recursos Naturais e Ecossistema em Moçambique

Moçambique tem ecossistemas que incluem florestas tropicais, zonas úmidas e manguezais, especialmente na costa do Oceano Índico. O país também é vulnerável a eventos climáticos extremos, como ciclones e inundações, o que intensifica os problemas de erosão costeira e degradação do solo. Assim como Angola, Moçambique depende da exploração de recursos naturais, como carvão e gás natural, e enfrenta o desafio de promover o desenvolvimento econômico sustentável (Lopes, 2023).

- **Comparação e Desafios:** Esses três países compartilham o desafio da degradação ambiental e do desmatamento, além de serem vulneráveis às mudanças climáticas. A conservação dos ecossistemas e a recuperação de áreas degradadas são questões essenciais, e a engenharia ambiental pode ajudar no desenvolvimento de tecnologias para conservação e uso sustentável dos recursos (Medeiros, 2023).

5.5. Infraestrutura e Políticas Ambientais

5.5.1. Angola

A infraestrutura ambiental em Angola ainda está em fase de desenvolvimento. O país carece de instalações para o tratamento de resíduos sólidos e esgoto e enfrenta desafios na provisão de água potável em áreas rurais. Embora existam algumas regulamentações ambientais, sua aplicação é limitada devido a falta de fiscalização e recursos financeiros. Isso representa uma oportunidade para o crescimento da engenharia ambiental, especialmente em tecnologias de tratamento e reciclagem (MEAA, 2024).

5.5.2. Brasil

O Brasil possui uma infraestrutura relativamente avançada em engenharia ambiental, com centros de pesquisa, regulamentações ambientais e tecnologias para tratamento de água e resíduos. Contudo, a aplicação das leis ambientais é muitas vezes comprometida por interesses econômicos e corrupção. As políticas ambientais são frequentemente desafiadas por pressões políticas, e o monitoramento é insuficiente em áreas remotas, principalmente na Amazônia (ANEEL, 2023).

5.5.3. Moçambique

Moçambique tem uma infraestrutura ambiental modesta, com uma dependência de tecnologias importadas para o tratamento de água e resíduos. O país possui regulamentações ambientais, mas a fiscalização é limitada. Com a intensificação de investimentos estrangeiros em mineração e petróleo, há uma necessidade crescente de uma infraestrutura ambiental robusta para minimizar os impactos dessas atividades (EDM, 2024).

- **Comparação e Desafios:** A infraestrutura ambiental varia consideravelmente entre os três países. O Brasil possui uma estrutura mais avançada, enquanto Angola e Moçambique ainda estão em fase de desenvolvimento nessa área (Carlos & Silva, 2023). A criação de políticas ambientais mais eficazes, com melhor fiscalização e monitoramento, é um desafio comum. Existe a necessidade de uma engenharia ambiental mais voltada para tecnologias acessíveis e adaptadas às condições locais, além de investimentos para fortalecer as capacidades de monitoramento ambiental (Perreira, 2024).

5.6. Expectativas e Desafios para o Futuro

5.6.1. Angola

Em Angola, as expectativas são de que a engenharia ambiental se desenvolva com o aumento da demanda por gestão sustentável dos recursos naturais. Há necessidade de maior investimento em tecnologias de tratamento de resíduos, reabilitação de áreas degradadas e preservação dos recursos hídricos. O crescimento da economia pode atrair investimentos em infraestrutura ambiental, mas o país precisará enfrentar questões de governança e capacitação (FDA, 2024).

5.6.2. Brasil

No Brasil, espera-se que a engenharia ambiental continue a crescer, focando em soluções para mitigação das mudanças climáticas, proteção da biodiversidade e desenvolvimento sustentável na Amazônia. A transição para uma economia verde é vista como uma oportunidade para o país, especialmente em energias renováveis e tecnologias para a recuperação de áreas degradadas. No entanto, o desmatamento ilegal e as dificuldades na implementação das leis ambientais continuam a ser grandes desafios (ANEEL, 2024).

5.6.3. Moçambique

Para Moçambique, as expectativas incluem o fortalecimento da capacidade de resposta a desastres naturais e o desenvolvimento de soluções de engenharia ambiental para lidar com a degradação costeira e a conservação dos recursos hídricos. O desenvolvimento de uma economia verde e a atração de investimentos em infraestrutura ambiental sustentável podem ajudar a mitigar os impactos da mineração e da exploração de gás.

No entanto, a vulnerabilidade climática e a falta de infraestrutura básica continuam sendo desafios significativos (EDM, 2023).

- **Comparação e Expectativas:** Nos três países, a engenharia ambiental é crucial para enfrentar desafios ambientais e sociais, mas a abordagem e o ritmo do desenvolvimento diferem.

No Brasil, há um grande potencial para avançar em tecnologias de ponta e energia sustentável, enquanto em Angola e Moçambique a necessidade é por soluções práticas e acessíveis, adaptadas às suas economias em desenvolvimento.

6. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi estruturada para permitir uma análise abrangente das tecnologias de conversão de biomassa em energia e suas aplicações nos contextos de Angola, Brasil e Moçambique. A pesquisa seguiu um método exploratório, baseado em revisão bibliográfica e análise comparativa de dados. Foram coletadas informações secundárias de fontes como artigos científicos, relatórios institucionais e bases de dados governamentais e internacionais.

6.1. Tipo de Pesquisa

A pesquisa caracteriza-se como descritiva e exploratória, com enfoque qualitativo, uma vez que visa entender e descrever o cenário atual das tecnologias de biomassa nos países estudados. Adicionalmente, foram analisados dados quantitativos para complementar a análise qualitativa, permitindo avaliar a participação e o impacto da biomassa nas matrizes energéticas de Angola, Brasil e Moçambique.

6.2. Coleta de Dados

Os dados utilizados neste estudo foram coletados a partir das seguintes fontes:

- **Bases de Dados Institucionais:** Relatórios do Ministério de Minas e Energia do Brasil, do Instituto Nacional de Estatística de Moçambique e do Ministério da Energia e Águas de Angola.
- **Literatura Científica:** Artigos revisados por pares que abordam tecnologias de biomassa e seu impacto energético e socioeconômico.
- **Relatórios Internacionais:** Informações de agências como a International Energy Agency (IEA) e relatórios do Banco Mundial sobre a transição energética em países em desenvolvimento.

6.3. Análise de Dados

A análise de dados foi dividida em duas etapas principais:

- **Análise Comparativa:** Foi realizada uma análise comparativa entre as tecnologias de biomassa adotadas em cada país, considerando variáveis como eficiência, custos operacionais e impactos ambientais.

- **Análise de Impacto:** Avaliou-se o impacto socioeconômico das tecnologias de biomassa, principalmente em termos de geração de empregos, promoção de segurança energética e redução de emissões de gases poluentes.

6.4. Limitações da Pesquisa

Entre as limitações deste estudo, destaca-se a dependência de dados secundários e a ausência de estudos de caso locais para algumas das tecnologias abordadas. Outro ponto de limitação foi a dificuldade de acesso a dados atualizados para Angola e Moçambique, que foram complementados com estimativas e relatórios regionais para suprir as lacunas.

7. RESULTADOS E ANÁLISES

Com base nos dados coletados e analisados, os resultados são discutidos a seguir, de modo a evidenciar as diferenças e similaridades nas aplicações de biomassa nos contextos de Angola, Brasil e Moçambique.

7.1. Impacto da Biomassa na Matriz Energética

A análise dos dados revelou que o impacto da biomassa nas matrizes energéticas dos três países varia conforme a disponibilidade de recursos e o nível de desenvolvimento tecnológico. No Brasil, a biomassa já representa uma participação relevante na matriz energética, impulsionada principalmente pelo uso do bagaço de cana-de-açúcar para cogeração. Em Angola e Moçambique, o uso de biomassa ainda é limitado a tecnologias tradicionais, como a combustão direta de lenha, mas há um potencial significativo para expansão, especialmente em áreas rurais.

7.2. Eficiência e Custo das Tecnologias de Conversão

A eficiência das tecnologias de conversão de biomassa varia de acordo com o processo adotado. Tecnologias modernas, como a pirólise e a gaseificação, apresentam maior eficiência e menor impacto ambiental, mas requerem investimentos iniciais elevados. No Brasil, políticas de incentivo fiscal têm facilitado a implementação dessas tecnologias, enquanto Angola e Moçambique ainda enfrentam desafios relacionados ao financiamento e à capacitação técnica (Medeiros & Silva, 2023).

Tabela 7: Comparação da Eficiência das Tecnologias de Conversão de Biomassa.

Tecnologia	Brasil (%)	Angola (%)	Moçambique (%)
Combustão Direta	25	30	35
Gaseificação	60	45	40
Pirólise	65	50	50
Fermentação	55	40	45

Fonte: Adaptado de Medeiros & Silva (2023).

7.3. Impacto Socioeconômico

O uso da biomassa tem gerado impactos positivos na criação de empregos e no desenvolvimento de comunidades rurais. No Brasil, o setor de biomassa é responsável pela geração de milhares de empregos diretos e indiretos na cadeia produtiva do bagaço de cana e do etanol. Em Angola e Moçambique, embora o uso de biomassa ainda seja limitado, estudos indicam que a expansão do setor poderia melhorar o acesso à energia e reduzir a dependência de combustíveis fósseis, além de promover o desenvolvimento econômico local (Santos & Mota, 2023).

7.4. Desafios para a Expansão do Setor

Para expandir o uso de biomassa como fonte de energia, é necessário superar desafios como a falta de políticas de incentivo, a infraestrutura limitada e o custo elevado das tecnologias modernas. Em Angola, o governo iniciou programas de incentivo para energias renováveis, mas a falta de regulamentação específica para biomassa limita o avanço do setor. No Brasil, o setor é beneficiado por políticas de incentivo e regulamentações que promovem o uso de biomassa para cogeração, enquanto em Moçambique, a expansão do setor depende da adaptação das tecnologias para contextos locais (Costa et al., 2023).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo demonstra que a biomassa é uma alternativa viável para diversificar as matrizes energéticas e promover o desenvolvimento socioeconômico em Angola, Brasil e Moçambique. No entanto, o sucesso dessa transição depende de políticas públicas eficazes, investimentos em infraestrutura e tecnologias adequadas ao contexto de cada país. A biomassa representa uma oportunidade para reduzir as emissões de carbono e melhorar a segurança energética, especialmente em áreas rurais. Para estudos futuros, recomenda-se a realização de análises de caso com tecnologias de biomassa adaptadas para comunidades rurais em Angola e Moçambique, bem como estudos de viabilidade econômica para políticas de incentivo que promovam a adoção de tecnologias mais eficientes e menos poluentes.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP). Boletim Mensal de Biocombustíveis. Brasília: ANP, 2023.

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (ANEEL). Relatório Anual de Expansão da Oferta de Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2024.

AMERICAN ENERGY RENEWAL (AMER). Energy Outlook: Renewable and Biomass Focus. Washington, D.C.: AMER, 2024.

BIROL, Fatih. World Energy Outlook 2022. Paris: International Energy Agency, 2022.

CASTRO, José; ALMEIDA, Fernando. O uso da biomassa na matriz energética brasileira: Potencial e desafios. Revista Brasileira de Energia Renovável, São Paulo, v. 18, n. 2, p. 121-145, 2023.

COSTA, Rafael; SANTOS, Marta. Biomassa como Fonte de Energia: Análise de Impactos e Aplicações. Estudos em Energias Renováveis, Lisboa, v. 13, n. 4, p. 98-114, 2023.

EPE - Empresa de Pesquisa Energética. Balanço Energético Nacional 2023. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2023.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY (IEA). Global Energy Review 2023. Paris: IEA, 2023.

MARQUES, Ana; OLIVEIRA, João. Tecnologias de Conversão de Biomassa e o Potencial de Geração de Energia Limpa. Revista de Sustentabilidade Energética, Porto, v. 22, n. 1, p. 67-89, 2024.

MEDEIROS, Carlos; SILVA, Juliana. Eficiência e Sustentabilidade das Tecnologias de Biomassa nos Países em Desenvolvimento. In: Conferência Internacional de Energias Renováveis. Anais [...]. Salvador: Universidade Federal da Bahia, 2023.

MINISTÉRIO DA ENERGIA DE ANGOLA. Relatório de Desenvolvimento Energético 2024. Luanda: Ministério da Energia de Angola, 2024.

MOTA, Rodrigo; CARVALHO, Beatriz. O Potencial da Biomassa na África Subsaariana: Estudo de Caso em Moçambique. *Revista Internacional de Energias Alternativas*, Lisboa, v. 19, n. 3, p. 88-105, 2023.

SANTOS, Antônio; MOTA, Elisa. Políticas Públicas e Incentivos para Energias Renováveis em Angola e Moçambique. *Estudos de Política Energética*, Maputo, v. 10, n. 4, p. 112-130, 2023.

SILVA, Paulo. Desafios da Expansão da Biomassa como Fonte Energética na América Latina. *Revista de Políticas Energéticas*, Bogotá, v. 25, n. 3, p. 45-63, 2023.

SOUZA, J. P.; SILVA, R. L. Contextualização da energia da biomassa. *Revista Brasileira de Energias*, v. 8, n. 1, p. 20-30, 2020.

CASTRO, L. P. Importância da biomassa para o desenvolvimento. *Jornal de Energia Sustentável*, v. 12, n. 2, p. 45-56, 2019.

MENDES, A. M.; LIMA, T. S. Limitações e desafios no desenvolvimento de biomassa. *Revista Moçambicana de Energias*, v. 5, n. 3, p. 100-110, 2021.

GONÇALVES, P.; ALMEIDA, F. Políticas e regulamentação em biomassa. *Energia para o Futuro*, v. 6, n. 4, p. 15-25, 2022.

FERREIRA, J.; SANTOS, A. Parcerias internacionais em energia. *Revista Internacional de Parcerias*, v. 11, n. 3, p. 80-90, 2018.

LOPES, C. A. Metodologias em pesquisas de biomassa. *Revista Científica de Pesquisa Energética*, v. 9, n. 5, p. 30-40, 2023.

SILVA, M. B.; PINTO, R. F. Estrutura de trabalhos acadêmicos. *Manual de Trabalhos Acadêmicos*, v. 2, n. 1, p. 5-15, 2023.

ALMEIDA, F. et al. Perspectivas futuras da biomassa em Moçambique. *Revista de Energias Africanas*, v. 10, n. 1, p. 35-45, 2023.

United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC). The Paris Agreement. Retrieved from: <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>.

Nazaroff, W. W., & Alvarez-Cohen, L. (2000). *Environmental Engineering Science*. John Wiley & Sons.

Vesilind, P. A., Peirce, J. J., & Weiner, R. F. (1994). *Environmental Engineering*. Butterworth-Heinemann.

United Nations. (2015). Paris Agreement to the United Nations Framework Convention on Climate Change. Retrieved from: <https://unfccc.int>

United Nations. (2015). Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. Retrieved from: <https://sdgs.un.org/goals>.

United Nations Environment Programme (UNEP). Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. Retrieved from: <http://chm.pops.int/>.

MAPUTO, A.; CHAVES, F. Caracterização geográfica de Moçambique. *Geografia Africana*, v. 5, n. 2, p. 10-22, 2019.

FONSECA, M. Distribuição territorial e organização de Moçambique. *Estudos Territoriais Africanos*, v. 3, n. 4, p. 45-52, 2020.

SILVA, L. R.; ALMEIDA, T. Estrutura administrativa e regional de Moçambique. *Revista de Administração Pública*, v. 15, n. 3, p. 25-35, 2021.

SANTOS, J.; LIMA, C. S. Energia renovável em Moçambique: análise e potencial. *Revista de Energias Renováveis*, v. 9, n. 1, p. 15-28, 2018.

GOMES, R. M. Acesso à energia e desenvolvimento. *Revista de Políticas Públicas*, v. 12, n. 4, p. 78-89, 2020.

MACHADO, V. Hidrelétrica de Cahora Bassa e a matriz energética de Moçambique. *Energia e Sociedade*, v. 6, n. 2, p. 40-50, 2017.

MENDES, F.; PEREIRA, S. Consumo de eletricidade e desenvolvimento humano. *Revista de Desenvolvimento Energético*, v. 7, n. 1, p. 33-42, 2019.

CARVALHO, E.; PINTO, M. Potencial de recursos renováveis em Moçambique. *Estudos Energéticos de África*, v. 4, n. 2, p. 60-72, 2021.

FERREIRA, J.; COSTA, M. Energia solar: princípios e aplicações. *Revista de Energias Renováveis*, v. 5, n. 2, p. 30-45, 2020.

SANTOS, A.; LIMA, C. Aplicações térmicas da energia solar. *Revista de Energia Alternativa*, v. 3, n. 4, p. 55-63, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2020*. Paris: IEA, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>. Acesso em: 3 nov. 2024.

BIROL, F. O futuro da energia solar no desenvolvimento sustentável. *Relatório Anual de Energia*, v. 11, n. 1, p. 12-24, 2021.

OLIVEIRA, J.; SANTOS, F. A energia dos ventos e suas aplicações. *Revista de Energias Alternativas*, v. 8, n. 2, p. 35-48, 2020.

ASSOCIAÇÃO EUROPEIA DE ENERGIA EÓLICA. *Relatório Anual de Energia Eólica na Europa*. Bruxelas: AEEE, 2021. Disponível em: <https://www.ewea.org/reports>. Acesso em: 3 nov. 2024.

SILVA, R.; FERREIRA, M. Energia eólica: uma solução sustentável para o futuro. Revista de Sustentabilidade Energética, v. 7, n. 1, p. 15-28, 2019.

COMITÊ INTERNACIONAL DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS. Projeções para a energia eólica e sustentabilidade. Relatório de Mudanças Climáticas, v. 12, n. 3, p. 50-70, 2019.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Outlook 2021. Paris: IEA, 2021. Disponível em: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2021>. Acesso em: 3 nov. 2024.

SMITH, J.; LEE, H. Crescimento e expansão da energia eólica: desafios e perspectivas. Revista de Energias Renováveis, v. 10, n. 2, p. 40-58, 2022.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL. Global Offshore Wind Report 2023. Bruxelas: GWEC, 2023. Disponível em: <https://gwec.net/global-offshore-wind-report-2023/>. Acesso em: 3 nov. 2024.

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Biocombustíveis e sua aplicação no Brasil. Brasília: ANP, 2023. Disponível em: <https://www.anp.gov.br/biocombustiveis>. Acesso em: 3 nov. 2024.

INTERNATIONAL RENEWABLE ENERGY AGENCY. Bioenergy Market Report 2021. Abu Dhabi: IRENA, 2021. Disponível em: <https://www.irena.org/publications/2021/bioenergy-market>. Acesso em: 3 nov. 2024.

COMISSÃO EUROPEIA. Relatório sobre Bioenergia e Renováveis na Europa. Bruxelas: CE, 2022. Disponível em: <https://ec.europa.eu/renewableenergy>. Acesso em: 3 nov. 2024.

PORTAL SOLAR. O que é energia solar. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/o-que-e-energia-solar.html>. Acesso em: 22 maio 2024.

VALOR ECONÔMICO. Transição energética pode gerar 26 milhões de empregos na África. Disponível em: <https://valor.globo.com/um-so-planeta/noticia/2022/01/25/transicao-energetica-pode-gerar-26-milhoes-de-empregos-na-africa.ghtml>. Acesso em: 20 maio 2024.

MF RURAL. Placas solares fotovoltaicas. Disponível em: <https://www.mfrural.com.br/detalhe/381362/placas-solares-fotovoltaicas>. Acesso em: 17 maio 2024.

SUA PESQUISA. O que são biocombustíveis? Disponível em: https://www.suapesquisa.com/o_que_e/biocombustiveis.htm. Acesso em: 25 maio 2024.

TECNOLOGIA E FLORESTA. Tipos de biomassa que são utilizados como fonte energética. Disponível em: <http://www.tecnologiaefloresta.com.br/2017/03/08/tipos-de-biomassa-que-sao-utilizados-como-fonte-energetica/>. Acesso em: 22 jun. 2024.

BIOLOGIA NET. Enzimas. Disponível em: <https://www.biologianet.com/biologia-celular/enzimas.htm>. Acesso em: 13 abr. 2024.

ESCOLA POLITÉCNICA DE SAÚDE JOAQUIM VENÂNCIO – EPSJV/FIOCRUZ. [Documento PDF]. Disponível em: <https://www.epsjv.fiocruz.br/sites/default/files/l227.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2024.

EDT ENZYMES. How enzymes are produced. Disponível em: <https://www.edt-enzymes.com/how-enzymes-are-produced#:~:text=Ultimately%2C%20industrial%20enzymes%20are%20produced,both%20intracellular%20or%20extracellular%20expression>. Acesso em: 25 jun. 2024.

AIM NEWS. Moçambique: Companhia do Búzi em reestruturação. Disponível em: <https://aimnews.org/2023/09/05/mocambique-companhia-do-buzi-em-reestruturacao/>. Acesso em: 9 jul. 2024.

EBP BRASIL. Usina de tratamento de resíduos e geração de biogás. Disponível em: <https://www.ebpbrasil.com.br/pt-br/projeto/usina-de-tratamento-de-residuos-e-geracao-de-biogas>. Acesso em: 8 jun. 2024.

COMPOSTCHEIRA. Brique de lenha ecológica 24kg. Disponível em: <https://compostcheira.eco.br/produto/brique-de-lenha-ecologica-24kg/>. Acesso em: 10 jul. 2024.

AGRO NOTÍCIA. Governo eleva mistura do biodiesel para 14% em março de 2024. Disponível em: <https://agronoticia.com.br/noticia/22345/governo-eleva-mistura-do-biodiesel-para-14-em-marco-de-2024.html>. Acesso em: 23 jun. 2024.

DISPARCO. Indústria de papel e celulose. Disponível em: <https://disparco.com.br/industria-de-papel-e-celulose/>. Acesso em: 30 jun. 2024.

WWF BRASIL. Disponível em: <https://www.wwf.org.br/>. Acesso em: 1 nov. 2024.