



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DOUTORAMENTO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ENERGIA

ESTUDO DAS ENERGIAS RENOVAVEIS OCEÂNICAS NA ZONA COSTEIRA DE MOÇAMBIQUE

Doutorando: Alberto Filimão Siteo

Supervisor: Professor Doutor António Mubango Hogueane

Maputo

2024

UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE
FACULDADE DE CIÊNCIAS
DOUTORAMENTO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIA DE ENERGIA

ESTUDO DAS ENERGIAS RENOVAVEIS OCEÂNICAS NO CANAL DE MOÇAMBIQUE

Doutorando: Alberto Filimão Siteo

Supervisor: Professor Doutor António Mubango Hogueane

Maputo

2024

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, Alberto Filimão Siteo, declaro por minha honra que esta tese nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau ou num outro âmbito e que ele constitui o resultado do meu labor individual. Esta tese é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos para a obtenção do grau de Doutor em Ciências e Tecnologia de Energia, no Departamento de Física na Faculdade de Ciências da Universidade Eduardo Mondlane.



Alberto Filimão Siteo

AGRADECIMENTOS

Um agradecimento especial vai ao meu supervisor, Professor Doutor António Mubango Hogueane, da Universidade Eduardo Mondlane, pela sábia orientação no decurso das actividades para concretização do presente trabalho. Os agradecimentos se estendem ao Prof.Doutor Rogério José Uthui, ao Professor Doutor Boaventura Cuamba ambos da Universidade Eduardo Mondlane a ao Doutor Pascal Derycke, de Copernicus Marine Analyst pela paciência e excelente instrução para a obtenção de dados quer meteorológicos quer oceanográficos usados na presente Tese, sem ficar de lado o Dr. Billy, também de Copernicus Marine Analyst pela ajuda na obtenção de dados. São igualmente agradecidas as Universidades Eduardo Mondlane tanto pela formação académica como pelo financiamento do trabalho de campo e a Universidade Save pelo pagamento de propinas.

É agradecida a família Siteo Siteo pelo apoio imensurável e em especial a minha esposa Henriqueta Adelino Cumbane Siteo, os meus filhos José Silvano Alberto Siteo, Maria Adeliqeta Alberto Siteo, Dilson António Alberto Siteo, Mário Damião Alberto Siteo e Argentina Adriana Alberto Siteo. Agradece-se ainda aos sobrinhos José Mateus Chigumane e Henriques Mateus Chigumane pela colaboração na parte de informática.

Agradecimento se estende ao docente da UniSave, Sérgio Cumbucane Estefaneo Witmisse pelo apoio na formatação e ajuste de figuras. Por fim agradeço a todos os que directa ou indirectamente contribuíram para o sucesso neste trabalho.

RESUMO

O trabalho com o tema “Estudo das Energias Renováveis Oceânicas no Canal de Moçambique” visa conhecer naquele local o nível energético das ondas. Toma-se esta acção como um passo importante rumo à exploração de energia oceânica. Para o efeito, inicialmente fez-se o levantamento das fontes, potencialidades, sustentabilidade e desafios da energia renovável na África Subsaariana donde constatou-se que, no contexto das energias renováveis oceânicas, os países da África Subsaariana são mais utilizadores do que os promotores de tecnologia e espera-se que isso continue por algum tempo no futuro sendo assim, a capacitação humana deve ser orientada no sentido de, garantir competências técnicas internas capazes de monitorizar, avaliar e prever tendências tecnológicas, e orientar a aquisição, adopção e assimilação de tecnologia através da inovação. Em seguida, foram feitos outros artigos que norteiam o estudo das ondas que, entre outras acções, foram colectados e analisados dados de altura significativa, bem como do período referentes ao período que vai de Junho de 2019 a 2022. Trata-se de dados de campos médios diários da análise física do oceano global e previsão actualizada diariamente, a fonte de dados é: <https://marine.copernicus.eu> (<https://marine.copernicus.eu>) - id: 014_003. Os dados foram fornecidos pela Marine Analysty. Da avaliação dos dados concluiu-se que o sul do Canal de Moçambique tem o potencial de energia das ondas a partir do qual poder-se-á minimizar o efeito do défice energético que actualmente se observa, sendo necessária, a localização recomendada para a implantação de conversores de energia de ondas em electricidade.

Palavras chave: energias renováveis oceânicas, onda, gradiente de salinidade, bombeamento de água, electricidade.

ABSTRACT

The work with the theme “Study of Ocean Renewable Energy in the Mozambique Channel” aims to know at that location the energetic level of the waves. This is an important step towards the exploitation of ocean energy. For this purpose initially a survey of sources, potentials, sustainability and challenges of renewable energy in sub-Saharan Africa was done and it was found that in the context of ocean renewable energy, sub-Saharan African countries are more users than developers of technology and it is expected that this will continue for some time in the future so that human capacity building should be directed towards ensuring internal technical skills able to monitor, evaluate and predict technology trends, and guide the acquisition, adoption and assimilation of technology through innovation. This is followed by other papers that guide the study of waves that, among other actions, collected and analyzed significant height and period data for the period from June 2019 to 2022. This is daily mean field data from the global ocean physical analysis and daily updated forecast the data source is: <https://marine.copernicus.eu> (<https://marine.copernicus.eu>) - id: 014_003. The data was provided by Marine Analysty. From the evaluation of the data it was concluded that the south of the Mozambique Channel has the potential of wave energy from which we can minimize the effect of the energy deficit that is currently observed, being necessary, the recommended location for the implementation of converters of wave energy into electricity.

Keywords: Ocean renewable energies, wave, salinity gradient, water pumping, electricity

LISTA DE PUBLICAÇÕES PRODUZIDAS

A presente tese tem base em três artigos principais, que abordam o objecto de estudo e no canal de Moçambique, local de estudo e dois artigos complementares, produzidos no decurso deste estudo, sendo que um aborda energia de ondas na costa Atlântica e o outro aborda energia de gradiente de salinidade, mencionando aqui por complementaridade.

Artigos principais da tese

- I **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023) The ocean as a source of renewable energy in sub-Saharan Africa: sources, potential, sustainability and challenges, *International Journal of Sustainable Energy*, 42:1, 436-460. DOI: DOI: [10.1080/14786451.2023.2204378](https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2204378).
<https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2204378>
- II **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023) Preliminary assessment of near-shore wave energy potential in the Mozambique Channel. *Journal of Water and Climate Change* 14 (1): 330–349. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.475>
- III **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023). Some Considerations on the Application of Ocean Wave Energy for Water Pumping in Near Shore Areas in Mozambique Channel. In: Haddout, S., Krishnamoorthy Lakshmi, P., Hogueane, A.M. (eds) *Climate Change and Ocean Renewable Energy*. CCORE 2022. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. CCORE 2022: Climate Change and Ocean Renewable Energy. pp 171–178. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26967-7_14.

Artigos complementares

- IV **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023) Salinity gradient energy potential of Mozambique estuaries. *Marine Georesources & Geotechnology*. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2023.2248976>
- V Haddout, S.; Hogueane, A.M.; **Sitoe, A.F.**; Priya, K.L. (2023): Wave energy potential analysis in the Kenitra-Atlantic coastal area (Morocco): First results, *Marine Georesources & Geotechnology*, DOI: 10.1080/1064119X.2023.2209785. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2023.2209785>

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

g:	Aceleração de Gravidade
H:	Altura da onda
H _s :	Altura Significativa
AB:	Aqua Buoy
AWS:	Archimedes Wave Swing
CCUS:	Captura, Utilização e Sequestro de Carbono
CV:	Coeficiente de Variação
CAO:	Coluna de Água Oscilante
OTEC:	Conversão de Energia Termica Oceânica
AC:	Corrente Alternada
DC:	Corrente Contínua
ρ :	Densidade da água
RED:	Diálise Electrónica Inversa
CO ₂ :	Dióxido de Carbono
EDL:	Eléctrico de dupla camada
GW:	Gigawatt
SV:	Índice de Variabilidade Sazonal
IEA:	International Energy Agency
LIMPET:	Land Installed Marine Power Energy Transmitter
LG:	Linear Generator
OET:	Ocean Energy Technology
OWC:	Oscillating Water Column
PRO:	Osmose de Pressão Rectardada
T _e :	Peíodo de energia
P _w :	Potência da onda
PB:	Power Buoy
h:	Profundidade
km:	Quilómetro
kW:	Quilowatt
Mtep:	Toneladas métricas de equivalente de petróleo
C _g :	Velocidade do grupo

ÍNDICE

	Página
DECLARAÇÃO DE HONRA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	vi
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	viii
ÍNDICE	ix
LISTA DE TABELAS	xii
CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO	13
1.1. Motivação	15
1.2. Objectivos de pesquisa	16
1.3. Contribuição do Presente Estudo	17
1.4. Definição do Problema	18
1.5. Questões de pesquisa	19
CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1. Importância Socioeconómica de Energia	21
2.2. Consumo de Energia na África Subsaariana	23
2.3. Produção e distribuição de Energia na Africa Subsaariana	25
2.4. Assimetrias na Distribuição de Energia na África Subsaariana	26
2.5. Energia de Ondas Oceânicas	28
2.5.1 Potencial de Energia de Ondas Oceânicas na Africa Subsaariana	28
2.5.2 Aproveitamento de energia de ondas na Africa Subsaariana	29
2.6. Energia de marés	30
2.7. Energia de Correntes Marinhas	32
2.8. Estimativa de Energia de Gradiente de Salinidade	34
2.8.1 Potencial de Energia de Gradiente de Salinidade	34
2.8.2 Aproveitamento de Energia de Gradiente de Salinidade	35
2.9. Conversão de Energia Térmica Oceânica (OTEC)	35
CAPÍTULO III – ENQUADRAMENTO TEÓRICO	37
3.1 Energia de Ondas Oceânicas	38
3.2 Energia de Gradiente de Salinidade	40
3.3 Sistemas de Conversão de Energias do Mar	41
	ix

3.3.1. Tecnologias de Conversão de Energia de Ondas em Electricidade (WEC)	41
3.3.2. Tecnologias de Conversão de Energia de Marés em Electricidade	45
3.3.3. Tecnologias de Conversão de Energia de Gradiente de Salinidade em Electricidade	47
CAPÍTULO IV - METODOLOGIA	51
4.1 Descrição do local de Estudo- Canal de Moçambique	51
4.2 Dados usados e métodos de processamento aplicados	53
4.3 Breves considerações sobre os artigos publicados no âmbito desta tese	55
4.4 Localização Geográfica dos Estuários Avaliados	57
4.5 Limitações do Estudo	58
CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5.1 Fontes, potencialidades, sustentabilidade das Energias Renováveis oceânicas na África Subsaariana	60
5.1.1 Principais fontes de energias oceânicas na África Subsaariana	60
5.2 Potencial de Energia de Ondas Perto das Zonas Costeiras no Canal de Moçambique	65
5.2.1 Aplicação de energia de ondas na zona costeira do Canal de Moçambique	72
5.2.2 Aplicação de energia de onda para dessalinização de água do mar	73
5.3 Considerações Sobre Energia de Ondas no Bombeamento de Água do Mar nas Zonas Costeiras no Canal de Moçambique	74
5.3.1 Viabilidade Técnica de Aplicação de Energia de Ondas no Bombeamento de Água na Zona Costeira do Canal de Moçambique	74
5.3.2 Aplicação de água do mar bombeada para Maricultura	75
5.3.3 Aplicação de energia de água do mar bombeada em mini-hídricas	76
5.4 Potencial Energético do Gradiente de Salinidade dos Estuários de Moçambique	76
5.4.1 Determinação da Energia de Gradiente de Salinidade	78
5.4.2 Energia de Gradiente de Salinidade nos Estuários de Moçambique	79
5.5 Potencial de Energia de Ondas na Praia de Xai-Xai	80
5.6 Soluções Adequadas de Energias Renováveis Oceânicas para África Subsaariana	81
CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	83
6.1 Principais resultados do estudo específicos para cada pergunta de pesquisa	83
6.2 Conclusões	85
6.3 Recomendações	86
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87
GLOSSÁRIO	112
ANEXOS	113

LISTA DE FIGURAS

Página

Figura 1: Desenho esquemático do Pelamis. Fonte: http://www.pelamiswave.com . https://www.sciencephoto.com/media/154076/view/pelamis-wave-power-artwork . Retrieved in 17th July 2022.....	44
Figura 2: Usina-piloto de geração de energia por ondas do mar de Pecém (Castello. et al, 2017).	45
Figura 3: Usina piloto de Kislaya Guba – localização e fotografia. Fonte: Charlier e Justus, 1993.....	46
Figura 4: Motor Osmótico: Fonte: Osmotic engine converting energy from salinity difference to a hydraulic accumulator by utilizing polyelectrolyte hydrogels. 2021.....	50
Figura 5: Canal de Moçambique – Local de estudo. (Fonte: Siteo <i>et al.</i> (2023) artigo II.	52
Figura 6: Localização da Praia de Xai-Xai, local de estudo.	57
Figura 7: Localização da área de estudo – Estuários de Moçambique.	58
Figura 8: Locais potenciais e adequados para energia renovável oceânica na África subsaariana. Fonte: Siteo <i>et al.</i> (2023), Artigo I.	61
Figura 9: Gráficos de séries temporais de altura significativa de onda, período de onda e fluxo de energia de onda, perto da costa, no lado ocidental do Canal de Moçambique.	69
Figura 10: Gráficos de séries temporais de altura significativa de onda, período de onda e fluxo de energia de onda, perto da costa, no lado ocidental do Canal de Moçambique.	70

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1: PIB <i>per capita</i> e estatísticas de consumo de energia e cobertura da rede eléctrica em alguns países costeiros da África Subsaariana, obtidos da base de dados do Banco Mundial (https://databank.worldbank.org/home.aspx).....	24
Tabela 2: Produção, oferta e balanço de energia em quilotons equivalentes de petróleo (ktep), por fonte, na África: situação em 2018 e projecção para 2040. Fonte: https://www.iea.org/reports/africa-energy-perspectivas-2019	25
Tabela 3: Fornecimento de energia em quilotons equivalentes de petróleo (ktoe), por fonte, para 2018, em alguns países costeiros da África Subsaariana, obtido do Africa Energy Outlook 2019. [https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019].....	27
Tabela 4: Produção de electricidade em quilotons equivalentes de petróleo (ktep) por fonte de energia na África, para 2018. Source: https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity	27
Tabela 5: Coordenadas dos quadrados onde os dados de onda foram recuperados.....	52
Tabela 6: Coordenadas de localização dos estuários.	58
Tabela 7: Resumo das estatísticas de altura significativa de onda perto da costa do Canal de Moçambique.	71
Tabela 8: Resumo das estatísticas do fluxo de energia das ondas perto da costa do Canal de Moçambique.	71
Tabela 9: Estimativa do fluxo de energia das ondas, taxa de bombeamento de água salgada e taxas de produção de água doce perto da costa do Canal de Moçambique.....	73
Tabela 10: Dados resumidos de salinidade e descarga superficial dos rios utilizados na estimativa da potência do gradiente de salinidade nos três estuários estudados	78
Tabela 11: Potencial de energia do gradiente de salinidade estimado para os três estuários estudados.	79
Tabela 12: Adequação da energia oceânica na África Subsaariana.....	82

CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

Este trabalho refere-se ao estudo das energias renováveis no canal de Moçambique com enfoque para a costa moçambicana. De referir que o título original do trabalho era “Estudo do Potencial Energético das Ondas na Praia de Xai-Xai”; no desenvolvimento de estudo achou-se relevante abordar-se outras energias do mar para se realçar a importância que estas têm no desenvolvimento socioeconómico do País e da Região. Portanto, na prática notou-se que a considerar somente a Praia de Xai-Xai o estudo seria limitado e pouco relevante; daí que para complementaridade e efeitos de comparação com outras zonas, o estudo sofreu uma extensão espacial.

A escassez de água doce e o saneamento insuficiente são problemas globais urgentes, afectando milhares de milhões de pessoas. São vários os países em situação de escassez de água doce, com uma costa apta para a energia das ondas.

O potencial dos recursos do Oceano Global é significativo quando se consideram as combinações possíveis entre grandes superfícies de água e a diversidade de recursos naturais marinhos. Há uma grande variedade de opções de extracção de energia, incluindo ondas, correntes marítimas e oceânicas, energia térmica oceânica, gradientes de salinidade, biomassa marinha e energia geotérmica submarina (Shi & Liu, 2021).

O desenvolvimento da energia verde e a expansão do novo suprimento de energia tornou-se um objectivo compartilhado do mundo, a fim de aliviar a poluição ambiental, o aquecimento global e as preocupações com o esgotamento de energia causadas pelo uso de energia fóssil tradicional. Fazer pleno uso da energia marinha renovável pode ajudar a resolver não apenas a poluição ambiental e outros problemas, mas também promover o desenvolvimento do mar profundo, das forças de defesa nacional e a criação de um forte estado marinho (Zhao & Zhou, 2013).

A energia das ondas, entre as várias fontes de energia renováveis marinhas, tornou-se um foco de estudo e de desenvolvimento devido às suas grandes reservas, alta densidade de energia, baixo efeito ambiental, alta qualidade e ampla distribuição (Zheng *et al.*, 2014).

Vários factores, como o crescimento do consumo global de energia, a demanda por uma economia de baixo carbono, o combate às mudanças climáticas mundiais, o esgotamento dos combustíveis fósseis e a geopolítica da economia do petróleo aumentaram o interesse em encontrar fontes alternativas de energia para a geração de energia. Nesse sentido, as fontes

renováveis de energia (FERs), amplamente disponíveis no mundo, têm-se mostrado uma solução promissora para a crise global da demanda energética.

É evidente que as fontes de energia disponíveis, incluindo combustíveis fósseis, em particular, não podem garantir o suprimento da demanda de energia pelo menos até 2040 (Exxon Mobil, 2016; EIA, 2013). Portanto, encontrar fontes de energia alternativas e confiáveis para fechar essa lacuna tem sido um processo contínuo no contexto energético global. Por outro lado, a energia das ondas oceânicas, menos aproveitada até hoje, é uma das mais confiáveis (ou seja, alta precisão na previsão de energia e pouca perda de energia porque a onda se propaga por longas distâncias), poderosa (ou seja, maior densidade de água do mar em comparação com o ar/vento) e fontes de energia renováveis muito atraentes (ou seja, disponibilidade e capacidade de previsão) (Bahaj, 2011; Mørk, 2008). A energia das ondas possui uma intensidade de energia muito maior ($2\text{--}3 \text{ kW/m}^2$) em comparação com a energia solar ($0,1\text{--}0,2 \text{ kW/m}^2$) e eólica ($0,4\text{--}0,6 \text{ kW/m}^2$) (Drew *et al.*, 2009; Xu *et al.*, 2022).

É de realçar que os estudos de variação temporal e espacial dos recursos de energia das ondas são considerados altamente imperativos para identificar locais potenciais com elevada captação de energia das ondas (Uihlein & Magagna, 2016). Além disso, esse conhecimento fornece uma pista sobre os recursos de projecto e a capacidade dos WECs que podem ser implantados adequadamente em determinados locais marítimos. No entanto, o desenvolvimento tecnológico nesta área continua a aumentar e alguns investigadores apostaram recentemente na descoberta do potencial de energia das ondas nas suas regiões (Xu *et al.*, 2022).

Segundo Gielen e seus colegas (Gielen *et al.*, 2020), o potencial teórico das energias dos oceanos varia de 20.000 TWh até 80.000 TWh para gerar electricidade por ano, representando 100% a 400% da demanda global por electricidade. As tecnologias das energias das marés e energia das ondas são as mais desenvolvidas em alguns países costeiros. Já as outras tecnologias energéticas (solar e eólica) estão ganhando importância ao longo dos anos. Para identificar a extensão e o potencial energético deste grande recurso inexplorado de energia do oceano, há uma necessidade de uma compreensão profunda de uma estrutura de energia marinha integrada e dos desafios enfrentados pelo desenvolvimento da tecnologia de energias renováveis oceânicas.

No cenário recente, o desempenho da energia das marés ou do sistema de energia oceânica é aprimorado com o uso de algumas tecnologias avançadas, como inteligência artificial, análise de dados e aprendizado de máquina. Esse tipo de tecnologia avançada é usada para previsão,

modelagem e também cria a relação entre diferentes parâmetros do sistema de energia oceânica por meio de diferentes tipos de abordagem de mineração de dados.

A tecnologia de energia oceânica (OET) tem vários aspectos benéficos como, o progresso económico, a segurança de abastecimento e a redução de emissões de CO₂. A tecnologia de energia oceânica deve ser endossada e dada a devida importância para aumentar a adopção que, em última análise, leva aos mercados globais de energia oceânica (Badcock-Broe *et al.*, 2014).

Constitui estrutura do trabalho, além da parte pré-textual, seis (6) capítulos como se segue: Capítulo I, referente à introdução, na qual é descrita a motivação, o problema e os objectivos, bem como a contribuição do trabalho sob vários domínios; o Capítulo II, revisão da literatura abordando os estudos do género ou relacionados levados a cabo na região de estudo; o Capítulo III onde se faz o enquadramento teórico de energia e energias do mar; o Capítulo IV onde se descreve a metodologia aplicada; o Capítulo V no qual se apresentam e se discutem os resultados principais deste estudo; e finalmente o Capítulo VI em que se apresentam as principais conclusões e recomendações obtidas do presente estudo.

1.1. Motivação

Obras como de Waters (2008) e de Cruz (2007), inerentes à energia de ondas oceânicas, despertaram a atenção de optar por fazer uma pesquisa sobre energia oceânica como forma contribuir na busca de alternativas energéticas que causem menos impactos negativos ao meio-ambiente.

Um outro caso marcante é o facto de até então, embora o país tenha uma costa de cerca de 2.700km (Hoguane, 2007), não serem notórias as actividades que visam o aproveitamento da energia que o oceano possui. Aliado a isto o país, segundo a sua localização geográfica, apresenta também boas condições para o aproveitamento de diversos tipos de energias renováveis, quer de ondas oceânicas, de marés, de gradiente de salinidade entre outros. Com uma costa extensa e uma ondulação marítima razoável, o aproveitamento da energia das ondas e de marés apresenta-se como algo a que se deve dedicar também uma boa atenção, pois poderá dar um contributo precioso para a produção de energia verde.

Uma outra motivação é saber que existem outros Países costeiros que já se beneficiam do uso da energia de ondas, das marés, gradiente de salinidade, partindo disto com o presente trabalho pretende-se alinhar o País junto aos outros que actualmente desenvolvem pesquisas para a

geração de electricidade a partir da energia oceânica, ou seja, pretende-se também que o País faça parte do grupo de nações com capacidade desenvolvida de pesquisa para exportação e competição no mercado das energias renováveis.

Segundo Cruz (2007), actualmente o fornecimento de electricidade produzida através da energia das ondas, apresenta-se como demonstração comercial em alguns países, como é o caso da Holanda com o dispositivo Archimedes Wave Swing, Portugal com o dispositivo da Ilha do Pico e Escócia com o dispositivo Pelamis. Reino Unido, Estados Unidos, Canadá, Austrália, Nova Zelândia, Índia, China e Japão são exemplos de países que também vem realizando pesquisas nesta área (Clemente *et al.*, 2002). Estudos desenvolvidos no Reino Unido sobre o potencial energético disponível nos oceanos indicam valores da ordem de 1 TW o que significa a possibilidade de suprir grande parte da demanda energética mundial (Thorpe, 1999).

O oceano, sendo o maior de todos os recursos naturais, alberga um potencial energético enorme, que pode contribuir de forma significativa para as necessidades crescentes de energia a um nível global (Cruz & Sarmento, 2004).

Segundo Guerreiro & Silva (2012) a matriz energética mundial está fortemente sustentada por fontes não renováveis como carvão e petróleo que representam, segundo o relatório da Agência Internacional de Energia de 2011, cerca de 60%. Não só a sua finitude, mas os impactos ambientais dessas alternativas são problemas a serem enfrentados pelo sector energético. Para reduzir a pegada ecológica produzida pelo consumo exagerado, muitos países têm criado medidas que conduzem à procura de fontes energéticas alternativas que minimizem o impacto da actividade humana nos ecossistemas e que não conduzam ao esgotamento dos recursos naturais (Onofrei *et al.*, 2022). Este é um dos motivos visto que, Moçambique sendo um país com uma vasta extensão costeira aproveitando esta potencialidade como fazem outros países já mencionados com as mesmas condições geográficas, ao investir cada vez mais na energia oceânica poder-se-á reduzir de facto os males causados pelos combustíveis fósseis.

Problemas ambientais, tais como aquecimento global, chuva ácida e resíduos radioactivos são decorrentes do uso de energias não sustentáveis (Hinrichs *et al.*, 2010), isto motiva a busca de energia que não tem impacto ambiental negativo.

1.2. Objectivos de pesquisa

Objectivo Geral

Estudar as energias oceânicas com foco em energia de ondas no Canal de Moçambique.

Objectivos Específicos

- i. Aferir as Fontes, potencialidades, sustentabilidade e desafios da energia Renovável na África Subsaariana;
- ii. Avaliar o potencial energético das ondas oceânicas perto da costa no Canal de Moçambique;
- iii. Analisar a aplicação da energia das ondas do mar para bombeamento de água em áreas próximas à costa no Canal de Moçambique;
- iv. Avaliar a conversão da energia oceânica de gradiente de salinidade em electricidade na costa moçambicana.

1.3. Contribuição do Presente Estudo

O conhecimento do potencial da energia oceânica na costa moçambicana é extremamente importante para o desenvolvimento do país em todos os domínios, na Educação, no Turismo, no Comércio, na agricultura, na indústria, no ambiente, na economia, entre outros.

Na educação, além servir como instrumento de consulta, este trabalho vai despertar a atenção dos estudantes, docentes ou pesquisadores sobre a importância do aproveitamento dos recursos energéticos que o mar dispõe.

No Turismo e no Comércio, a exploração de fontes alternativas de energia na costa, pode suprir a demanda na costa ou até em comunidades isoladas da costa.

Na indústria, o conhecimento do potencial energético das ondas, marés, gradiente de salinidade e outras formas da energia oceânica irá facilitar aos técnicos/profissionais a construção e instalação das centrais tendo em conta os níveis energéticos de cada recurso, quer de ondas, quer de marés ou gradiente de salinidade. O conhecimento do potencial energético irá também facilitar o desenvolvimento de projectos para instalação das centrais de conversão de diversas formas de energia oceânica em electricidade.

O conhecimento do potencial energético do oceano perto da costa moçambicana vai permitir que as empresas participem desde cedo no desenvolvimento industrial e na comercialização das tecnologias de conversão de energia oceânica em electricidade à escala mundial.

Na economia, de acordo com Manasseh *et al.* (2017) , para além da produção de energia renovável, espera-se que o aproveitamento da energia das ondas possa dar uma importante contribuição para o desenvolvimento da economia moçambicana, através da criação de novos

postos de trabalho, do desenvolvimento de uma indústria e serviços de base tecnológica com grande potencial de exportação e com aplicação na exploração de outros recursos oceânicos que o futuro venha a identificar como de interesse. Contudo, para atingir estes objectivos, o país necessita de desenvolver uma estratégia adequada. Essa estratégia deve reconhecer a necessidade de atrair parceiros estrangeiros com capacidade tecnológica e financeira, de criar condições para permitir as empresas nacionais posicionarem-se como fornecedoras credíveis de serviços e equipamentos.

Além do potencial energético das ondas é feita neste trabalho uma análise das possibilidades do uso de energia maremotriz, de gradiente de salinidade, a aplicação de energia de ondas para o bombeamento de água, das formas de implementação e tecnologias empregadas, das informações obtidas nas plantas já em funcionamento, podendo assim avaliar oportunidades de desenvolvimento dessas formas de geração de energia em Moçambique visto que, segundo Gerreiro & Silva (2012) a Agência Internacional de Energia acredita que este tipo de fonte de energia deverá ter considerável representatividade no mix da matriz energética mundial até 2030.

1.4. Definição do Problema

A população mundial está a crescer a um ritmo sem precedentes e isso tem exigido um aumento dramático da procura de energia a nível mundial. A adequação da oferta a esta procura crescente é um desafio principal e crítico para os países de todo o mundo. Actualmente, esta procura está a ser satisfeita através do aumento da utilização de combustíveis fósseis.

A maior parte da energia mundial é gerada a partir da utilização de carvão, petróleo e gás. Estes chamados combustíveis fósseis, quando queimados, libertam a energia térmica que é depois convertida em electricidade libertando para a atmosfera muito dióxido de carbono (CO_2), um gás com efeito de estufa que contribui para a questão do aquecimento global. Um fornecimento de energia renovável oferece uma solução para ambos os desafios. Para o crescimento económico e o progresso humano, a energia sempre foi universalmente considerada uma das medidas mais cruciais (Rawat & Sauni, 2015; Seetharaman *et al.*, 2019).

Mais ainda, as actividades de construção de edifícios para as residências, as instâncias turísticas ou para outros serviços estão a se intensificar demasiadamente, esta situação dita a necessidade acentuada de energia. A rede eléctrica que actualmente se toma como Nacional (em Moçambique) está sendo sufocada em diversas vertentes (consumo doméstico e industrial

devido a expansão demográfica e de indústrias e também da exportação). Face a esta necessidade, como forma de minimizar esta situação surge a ideia de diversificar as formas de energia em particular a energia de ondas oceânicas.

Por outro lado, de acordo com Estefen (2006) sabe-se que o mar é um dos maiores recursos energéticos, donde pode-se explorar a energia das ondas, das marés, das correntes e de gradiente de salinidade. De acordo com Lewis *et al.* (2011) e Kabir *et al.* (2022), a energia do mar está estimada em 10 TW, o que significa que a energia provinda do oceano é suficiente para atender à necessidade mundial ou incluir uma capacidade ilimitada de energia no sistema de energia do mundo. No entanto, a falta de conhecimento e compreensão do público no geral, formuladores de políticas, investidores e mídia em particular, sobre as potencialidades, benefícios, custos, riscos e oportunidades das energias renováveis oceânicas é tida como a principal barreira para a adopção dessas tecnologias de acordo com muitos autores (Trivedi *et al.*, 2023; Trivedi *et al.*, 2015; Seetharaman, 2019), para além das questões de tecnologia e investimentos.

Portanto, com o presente trabalho realça-se o potencial e as possíveis aplicações das energias oceânicas em Moçambique, com o objectivo de elevar a consciência dos tomadores de decisão, investidores e o público em geral sobre estas fontes de energias renováveis de que o país dispõe. Neste trabalho procura-se observar as condições para o aproveitamento da energia oceânica, ou seja, é preocupante observar que o país dispõe de recursos energéticos marinhos não explorados, e estar dependente simplesmente da rede nacional, e, com o aumento da densidade populacional, esta não é suficiente para suprir as necessidades da comunidade local em termos de energia. Mais ainda, só o facto de o país dispor de recursos energéticos que não estão sendo explorados, contra a demanda crescente de energia, já constitui problema.

Do exposto acima, este trabalho se resume às questões de pesquisa que abaixo são mencionadas.

1.5. Questões de pesquisa

Para condução do presente estudo foram formuladas as seguintes questões de pesquisa:

1. Quais as principais fontes de energias oceânicas que potencialmente podem ser explorados no canal de Moçambique, com enfoque na zona costeira de Moçambique?
2. Que nível de viabilidade do aproveitamento das fontes de energia renováveis oceânicas no contexto moçambicano?

3. Será que o potencial energético das ondas oceânicas perto da costa no Canal de Moçambique é favorável para poder satisfazer a demanda em termos de energia?
4. Que aplicações de energia das ondas do mar são viáveis para as zonas costeiras moçambicanas?
5. Que nível de viabilidade do aproveitamento de energia oceânica de gradiente de salinidade para a geração de electricidade na zona costeira de Moçambique?

CAPÍTULO II – REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo faz-se a apresentação de resultados de trabalhos feitos por outros pesquisadores com mais realce no contexto das energias de ondas e Gradiente de Salinidade. São citados para o efeito deste trabalho: Monografias de Licenciatura, Dissertações de Mestrado, Teses de Doutoramento e Artigos científicos, entre outros. O foco de análise dos trabalhos realizados são os seus objectivos principais, os resultados encontrados, bem como as conclusões. A revisão centrou-se nas teorias e métodos, na determinação do potencial, das tecnologias de conversão e aplicações. A ênfase foi posta nas tecnologias existentes de conversão de energia de ondas em electricidade, tecnologias de Energia de Gradiente de salinidade, bem como tecnologias de conversão de energia de marés em electricidade. Outros conteúdos tratados neste capítulo são a teoria linear das ondas e a demanda energética. São, igualmente, apresentados os desafios para o aproveitamento das energias renováveis em especial a oceânica.

De realçar que existem poucos estudos publicados sobre energias renováveis do mar. Neste capítulo foram incluídos resultados de estudos publicados no contexto da presente tese: Ormaza (2012), o potencial estimado de energia oceânica é 100.000 Twh/ano; sendo 45.000 TWh/ano o potencial de energia de ondas oceânicas, 2.200 Twh/ano o potencial de energia de marés, 20.000 Twh/ano para energias provenientes de gradiente de salinidade e 33.000 Twh/ano para energia térmica oceânica.

2.1. Importância Socioeconómica de Energia

A energia é vital para o desenvolvimento social e económico. Muitos autores argumentaram que o aumento da disponibilidade de serviços de energia estimula o desenvolvimento económico (Carbonnier *et al.*, 2011; Toman *et al.*, 2003); World Economic Forum, 2012) e outros demonstraram que o consumo de energia está positivamente correlacionado com o desenvolvimento (Toman *et al.*, 2003); Eggoh *et al.*, 2011), mesmo nos países desenvolvidos onde as iniciativas de eficiência energética tendem a reduzir o consumo de energia, esta contribui para impulsionar o desenvolvimento socioeconómico de várias maneiras, inclusive alimentando a indústria, aumentando a produção e a produtividade, criando empregos e melhorando a educação (Daka & Ballet, 2011; Mushtaq *et al.*, 2009).

A electrificação, por exemplo, possibilita o aumento da jornada de trabalho e das aulas nocturnas e permite que os alunos façam os deveres de casa à noite, o que é particularmente benéfico para as mulheres (Dinkelman, 2011). Embora seja geralmente reconhecido que o

acesso à electricidade aumenta o crescimento económico, ainda não há evidências científicas robustas disponíveis sobre tais efeitos na África Subsaariana. A maioria dos estudos publicados foi baseada em séries de dados de curto prazo.

Um estudo de Gungor & Simon (2017) sobre o desenvolvimento financeiro, consumo de energia e desenvolvimento económico, usando o teste de cointegração de Johanson, na África do Sul, para o período de 1970-2015, mostrou que o consumo de energia foi positivamente correlacionado com o desenvolvimento financeiro, bem como com a urbanização e a industrialização a longo prazo. Além disso, Dinkelman (2011) usando abordagens empíricas para identificar o impacto da electrificação rural em Kwazulu Natal, na África do Sul, estimou as taxas de crescimento do emprego em nível comunitário devido à electrificação rural no período 1996-2001; seus resultados mostraram um aumento no emprego feminino da ordem de 9-9,5%, o que representou um acréscimo de 15.000 mulheres participando da força de trabalho. Além disso, seu estudo revelou que a electrificação rural contribuiu para um aumento da mão-de-obra feminina em cerca de 8,9 horas a mais por semana, o que representou um aumento de 3,5% nas horas de trabalho.

Winklmaier *et al.* (2020) conduziram um estudo de viabilidade da rede de energia descentralizada na agricultura rural em Gana e descobriram que os sistemas de energia fora da rede compreendendo apenas um gerador a diesel geram um lucro negativo, enquanto os sistemas combinados com diesel e solar fotovoltaico e com biodiesel geram lucro de USD2.764,00 e US D14.052,00, respectivamente, produzindo 263 toneladas de milho.

Estudos na Nigéria, sobre a relação entre o desenvolvimento financeiro, consumo de energia e crescimento económico para o período 1971-2014, usando uma abordagem de cointegração, mostraram que, o aumento de 1% no desenvolvimento financeiro estava associado a um aumento de cerca de 0,01% no consumo de energia (Odusanya *et al.* 2016). Resultado semelhante foi obtido por Salami *et al.* (2016) usando o método generalizado de um modelo de equação única na Nigéria. Kiburi *et al.* (2009) estimou que a electrificação das zonas rurais no Quênia contribuiu para uma melhoria da produtividade da ordem dos 100-200%, por trabalhador, o que correspondeu a um aumento dos rendimentos da ordem dos 20-70%.

Em conclusão, a maior parte da literatura mostrou evidências convincentes de uma correlação positiva entre o uso e o acesso à electricidade e o crescimento económico na África subsaariana, implicando que a expansão da electricidade impulsiona o desenvolvimento social e económico, conforme argumentado por muitos autores (Nkalu *et al.*, 2020; Blimpo & Cosgrove-Davies,

2019; Lee & Miguel, 2020), na medida em que contribui para o aumento do horário de trabalho, a industrialização, o reforço das sinergias entre o sector agrícola e não agrícola e o aumento da produção.

2.2. Consumo de Energia na África Subsaariana

Segundo Avila *et al.* (2017), a África Subsaariana, onde vivem mais de 950 milhões de pessoas, é a região com as maiores taxas de pobreza eléctrica do mundo. A Tabela 1 apresenta o PIB *per capita* e as estatísticas de consumo de energia e cobertura da rede eléctrica em alguns países costeiros da África Subsaariana, obtidos da base de dados do Banco Mundial (The World Bank Group, 2021).

Em 2014, o uso médio de energia nos países da África Subsaariana, excluindo os países de alta renda, foi de 687 kg de equivalente de petróleo *per capita*, enquanto no mesmo ano o consumo médio global de energia foi de 1.922,13 kg de equivalente de petróleo *per capita*. Gana e Camarões, com consumo de energia de 332 kg e 335 kg de equivalente de petróleo *per capita*, respectivamente, tiveram uma classificação baixa no uso de energia nos países costeiros da África Subsaariana (The World Bank Group, 2021).

A maioria dos países costeiros subsaarianos apresentados na tabela tiveram consumo de energia inferior a 800 kg de óleo equivalente *per capita*, com excepção das Ilhas Maurício que ultrapassou 1.000 kg de óleo equivalente *per capita*, Gabão e África do Sul o consumo superou 2.000 kg de óleo equivalente *per capita*. Deve-se mencionar, no entanto, que a maior parte da energia consumida na maioria dos países da África subsaariana é proveniente de biomassa, uma vez que o consumo de electricidade e a cobertura da rede eléctrica nesses países são baixos, conforme discutido abaixo (The World Bank Group, 2021).

O consumo de energia eléctrica nos países da África Subsaariana, excluindo países de alta renda, em 2014, foi de 487 kWh *per capita*, em comparação com o consumo médio mundial de electricidade de 3.132 kWh *per capita* observado no mesmo ano. Baixos níveis de consumo de electricidade (<200 kWh *per capita*) foram registrados em Benin, Nigéria, Quênia e Tanzânia. Altos consumos de electricidade foram observados no Gabão (1.1168 kWh *per capita*), Namíbia (1.653 kWh *per capita*), Maurício (2.188 kWh *per capita*) e África do Sul (4.198 kWh *per capita*).

Os dados relativos ao ano de 2019 referentes ao acesso à electricidade indicam que apenas 46,7% da população dos países da África Subsaariana teve acesso à electricidade. Madagáscar,

Moçambique e Tanzânia ocupam posições baixas no fornecimento de energia eléctrica, com valores que variam entre 27% e 38% de cobertura. A África do Sul, o Gabão e as Maurícias, com mais de 80% de cobertura, ocuparam os primeiros lugares no fornecimento de electricidade.

A maioria dos países costeiros subsaarianos listados forneceu electricidade a 50-70% da população. Em relação à electrificação rural, apenas 28,1% da população rural tinha acesso à electricidade em toda a África subsaariana. Moçambique e Angola tiveram as taxas de electrificação rural mais baixas (<10% da população rural). Altas taxas de electrificação rural foram observadas nas Ilhas Maurício (100%), África do Sul (79%), Gana (70%) e Quênia (61,7%). A maioria dos países costeiros subsaarianos tinha taxas de electrificação rural na faixa de 20-45%.

Examinando brevemente os dados da Tabela 1, é possível notar que o consumo de energia, o consumo de electricidade e o acesso à electricidade estão todos positivamente correlacionados com a população e o PIB, suportando o argumento de que a população é o principal impulsionador do consumo de electricidade e que a disponibilidade de energia impulsiona produtividade económica mais ampla. No entanto, alguns países, como a Nigéria, têm alto PIB *per capita* (US\$ 3.099,00), mas baixo consumo de energia eléctrica (145 kWh per capita), padrão que pode ser semelhante a alguns outros países em desenvolvimento; isso pode ser devido a outros factores, como as desigualdades na distribuição da riqueza ou a aplicação da riqueza em iniciativas de desenvolvimento para o bem-estar das pessoas (AIE, 2019).

Tabela 1: PIB *per capita* e estatísticas de consumo de energia e cobertura da rede eléctrica em alguns países costeiros da África Subsaariana, obtidos da base de dados do Banco Mundial (<https://databank.worldbank.org/home.aspx>).

Region	Country	Population (2021)	GDP per capita (US\$) (2014)	Energy use (kg of oil equivalent per capita) (2014)	Electric power consumption (kWh per capita) (2014)	Access to electricity (% of population) (2019)	Access to electricity in rural areas (% of rural population) (2019)
West Africa	Angola	34.503.774	5.408,40	545	312	45,7	7,3
	Benin	12.996.895	1.291,40	417	100	40,3	17,4
	Cameroun	27.198.628	1.542,60	335	275	63,5	24,0
	Congo, Republic	5.835.806	3.776,50	555	203	48,3	12,7
	Cote d'Ivoire	27.478.249	1.561,50	613	275	68,6	41,9
	Gabon	2.341.179	9.663,40	2.694	1.168	90,7	24,2
	Ghana	32.833.031	1.899,70	332	351	83,5	70,0
	Nigeria	213.401.323	3.099,00	764	145	55,4	25,2
	Senegal	16.876.720	1.396,70	279	229	70,4	47,8
Southern Africa	Madagascar	28.915.653	530,90	-	-	26,9	7,7
	Mauritius	1.266.060	10.153,90	1.111	2.183	100,0	100,0
	Mozambique	32.077.072	674,00	443	479	29,6	4,9
	Namibia	2.530.151	5.469,90	794	1.653	55,2	35,0
	South Africa	59.392.255	6.433,40	2.696	4.198	85,0	79,2
East Africa	Kenya	53.005.614	1.315,80	506	164	69,7	61,7
	Tanzania	63.588.334	1.030,10	497	104	37,7	19,0

Fonte: Siteo *et al.* (2023), Artigo I.

2.3. Produção e distribuição de Energia na África Subsaariana

A Tabela 2 apresenta a produção e o fornecimento de energia para o ano de 2018 e o fornecimento de energia projectado para o ano de 2040, por fonte, para os países africanos, obtidos da base de dados da Agência Internacional de Energia (AIE, 2019). A África possui recursos energéticos abundantes, incluindo fontes renováveis e fósseis. Em 2018, a produção total de energia na África foi de 1.168 Mtep (toneladas métricas equivalentes de petróleo) e o fornecimento foi de 836 Mtep. O petróleo forneceu 403,9 Mtep e a biomassa 378,9 Mtep, correspondendo a 34% e 32% da produção total, respectivamente, seguindo-se o gás natural 207 Mtep (17,7%) e o carvão 157 Mtep (13,5%).

As energias renováveis e mais limpas contribuíram com menos de 2%, sendo que estas incluíram a hídrica 11Mtep (1%) e a eólica e solar 6,8 Mtep (0,6%). No comércio internacional de energia, a África é um exportador líquido de energia. Em 2018 o total de energia exportada foi de 493,4 Mtep, o que correspondeu a cerca de 42,2% da produção de energia, contra uma importação total de 173,8 Mtep, que correspondeu a cerca de 14,9% da produção total de energia. Ao todo, a exportação superou a importação em 319,7 Mtep. As principais fontes de energia comercializadas foram petróleo, carvão e gás (AIE, 2019).

Tabela 2: Produção, oferta e balanço de energia em quilotons equivalentes de petróleo (ktep), por fonte, na África: situação em 2018 e projecção para 2040. Fonte: <https://www.iea.org/reports/africa-energy-perspectivas-2019>

Energy type	Energy status in 2018				Projected energy use for 2040
	Production	Supply	Import	Export	
Crude oil	403.909		32.678	315.299	
Oil	-	189.512	118.170	37.520	362.000
Coal	157.479	113.511	12.336	55.922	100.000
Natural gas	207.147	133.336	10.581	84.393	290.000
Nuclear	3.017	3.017			19.000
Hydro	11.278	11.278			
Wind, solar, etc.	6.836	6.836			
Biofuel & waste	378.928	378.639	2	291	212.000
Sub-Total	1.168.594	836.129	173.767	493.425	983.000
Total Renewable Energy		18.000			223.000
Total					1,206.000

Fonte: Siteo *et al.* (2023), Artigo I.

Analisando a Tabela 1 pode se constatar que a procura de energia na África Subsariana é impulsionada pela necessidade de satisfazer as necessidades básicas de vida da população e de desenvolvimento económico, principalmente ao nível da produção e transformação alimentar, habitação, educação e cuidados de saúde, produção industrial, refrigeração e mobilidade (IEA, 2019). Assim, os principais forçantes da demanda de energia podem ser definidos da seguinte

forma: população, renda, grau de urbanização e estrutura económica (IEA, 2019; Kolawole *et al.*, 2017).

De acordo com Kolawole *et al.* (2017) a população é o primeiro principal impulsionador do consumo de energia na África subsaariana. Com base nas estatísticas de dados mundiais, a população total na África subsaariana foi estimada em 1.103,96 milhões de habitantes em 2019 (Statista, 2020), aumentou para 1.181.162.740 em 2021 e espera-se que cresça à taxa de 0,81 até 2040 (IEA, 2019). Embora actualmente a maioria das pessoas viva em áreas rurais, a população urbana está crescendo a taxas elevadas, de 22,1% em 1980 para 38% em 2015 (World Bank, 2015).

O aumento observado na população urbana implicaria um aumento substancial na demanda de energia. Assim, a Agência Internacional de Energia projectou um aumento na demanda de energia para a África de cerca de 17,6%, de 836 Mtep em 2018 para 983 Mtep em 2040 (Tabela 1). Mudanças notáveis previstas no fornecimento de energia incluem redução de 44% na biomassa, de 379 Mtep em 2018 para 212 Mtep em 2040 e um aumento substancial, cerca de doze vezes, no consumo de energia renovável, de 18 Mtep em 2018 para 223 Mtep em 2040. Além disso, em 2040, o uso de energia nuclear deverá aumentar por um factor de 5 em relação ao consumo de 2018, e no mesmo período, o consumo de petróleo e gás deverá aumentar moderadamente enquanto o consumo de carvão deverá reduzir ligeiramente. As mudanças esperadas podem resultar das descobertas de petróleo e gás e da política energética africana visando reduzir o desmatamento por meio da redução de biomassa e promoção de energia mais limpa (IEA, 2019).

2.4. Assimetrias na Distribuição de Energia na África Subsaariana

Embora a produção e o fornecimento global de energia na África possam sugerir que há energia suficiente para atender a demanda, esses recursos não são distribuídos uniformemente entre os países do continente, e dentro de um país existem grandes assimetrias entre áreas urbanas e rurais, que colocam desafios adicionais para alcançar o desenvolvimento sustentável equitativo (Tucho & Kumsa, 2020). A Tabela 3 apresenta a oferta de energia por fonte em alguns países costeiros da África Subsaariana, para 2018. Nigéria e África do Sul, com 159,9 Mtep e 134,2 Mtep, respectivamente, foram os principais consumidores de energia no continente. A Nigéria foi o maior consumidor de biomassa (~120 Mtep), petróleo (23,5 Mtep) e gás natural (15,8 Mtep), enquanto a África do Sul usou uma ampla gama de fontes de energia, incluindo carvão (98,3 Mtep), petróleo (20,1 Mtep), biomassa (7,9 Mtep) gás natural (~4 Mtep) e nuclear (3

Mtep). Moçambique liderou a produção hídrica (~1,2 Mtep). O Quênia e a África do Sul lideraram a produção de energia renovável de origem eólica e solar, com cerca de 4,5 Mtep e 1,2 Mtep, respectivamente.

Tabela 3: Fornecimento de energia em quilotons equivalentes de petróleo (ktoe), por fonte, para 2018, em alguns países costeiros da África Subsaariana, obtido do Africa Energy Outlook 2019. [\[https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019\]](https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019)

Region	Country	Oil	Coal	Natural gas	Nuclear	Hydro	Wind, solar, plus	Biofuel & waste	Total
West Africa	Angola	7.559		702		751		6.369	15.381
	Benin	2.409		16				2.705	5.242
	Cameron	1.853		649		432	2	6.719	9.657
	Congo, R.	709		517		107		1.638	2.970
	Cote d'Ivoire	2.251		1.716		255		6.257	10.389
	Gabon	720		384		78		3.707	4.918
	Ghana	4.209		1.313		517	3	3.881	9.872
	Nigeria	23.490	29	15.822		555	2	119.983	159.882
	Senegal	2.449	430	11		31	7	3.707	4.566
Southern Africa	Madagascar								
	Mauritius	799	448			11	6	193	1.456
	Mozambique	1.572	33	719		1.197		6.955	10.429
	Namibia	1.327	7			98	6	327	2.053
	South Africa	20.129	98.284	3.985	3.017	95	1.228	7.907	134.242
East Africa	Kenya	4.998	262			343	4.491	17.581	27.677
	Tanzania	2.439	387	622		192	8	17.271	20.929

Fonte: Siteo *et al.* (2023), Artigo I.

No que diz respeito ao fornecimento de electricidade, a África Subsaariana tem a menor capacidade de geração de electricidade e a menor taxa de acesso à electricidade do mundo, com dois terços da população da região sem acesso. Isso é crítico, considerando o facto de que a electricidade oferece vantagens sobre outras fontes de energia, permitindo uma implantação tecnológica muito mais eficiente na indústria, nos negócios e no desenvolvimento social, como educação e saúde, (Burke *et al.*, 2018).

A Tabela 4 fornece números para a produção de electricidade por fonte para a África, para 2018, obtidos do banco de dados da Agência Internacional de Energia. No total, a produção de electricidade foi de cerca de 72 Mtep, sendo a maior parte da energia eléctrica gerada a partir do gás natural (~28,8 Mtep) e do carvão (~22,4 Mtep), seguido da hídrica (11,7 Mtep). A electricidade gerada a partir de fontes de energia renováveis (eólica e solar) foi de apenas cerca de 1,6 Mtep.

Tabela 4: Produção de electricidade em quilotons equivalentes de petróleo (ktep) por fonte de energia na África, para 2018. Source: <https://www.iea.org/fuels-and-technologies/electricity>

Source	Energy (ktep)
Oil	5.737
Coal	22.373

Natural gas	28.759
Nuclear	996
Hydro	11.700
Wind	1.218
Solar PV	454
Biofuel & waste	178
Geothermal	446
Other sources	114
Total	72.006
Total from renewable (only wind and solar)	1.672

Fonte: Sitoe *et al.* (2023), Artigo I.

Considerando o facto de que as principais razões para o baixo acesso à electricidade na África Subsaariana incluem a falta de capacidade de geração, infra-estrutura de rede eléctrica deficiente e uma população rural amplamente espalhada (IRENA, 2015), a solução óbvia para enfrentar esses desafios é dupla: primeiro, a capacidade eléctrica de geração instalada deve ser expandida e, em segundo lugar, a rede eléctrica deve ser actualizada. Além disso, deve-se levar em consideração que sistemas renováveis descentralizados fora da rede e mini-rede são económicos e, portanto, soluções ideais para a electrificação de áreas rurais (Ugwoke *et al.*, 2020). Isso pode justificar os investimentos maciços em energia renovável, principalmente eólica e solar, na África Subsaariana (Klagge & Nweke-Eze, 2020). Assim, estamos aqui a defender que a energia renovável do oceano, para além de ser uma fonte de energia mais limpa e sustentável, pode ser uma solução viável para o abastecimento de energia em zonas costeiras remotas de África, complementando o esforço que está a ser feito no aproveitamento das energias eólica e solar, contribuindo significativamente para o aumento da segurança energética.

2.5. Energia de Ondas Oceânicas

2.5.1 Potencial de Energia de Ondas Oceânicas na Africa Subsaariana

A África Subsaariana tem um potencial de energia de ondas estimado de 5-10 kWh/m de energia das ondas, em média. As melhores perspectivas de desenvolvimento da energia das ondas são na África Austral, em torno da costa da África do Sul e desde o sul de Moçambique até à Namíbia, onde as ondas têm 1,7-2,7 m de altura média significativa e período de ondas na ordem dos 5-11 segundos, com potencial estimado de produção de energia das ondas de cerca de 15-45 kW/m (Banks & Schäffler, 2005). De facto, a África do Sul tem algumas das maiores ondas do mundo para a produção de energia (Fourie & Johnson, 2017). Houve iniciativas para implantar uma central de energia das ondas de 500MW na África do Sul (ESI Africa, 2015).

As outras regiões da África Subsaariana com considerável potência energética são a África Oriental, desde a costa da Somália até Moçambique (Hammar *et al.*, 2012) e a África Ocidental, desde o Senegal até Camarões, onde a altura significativa das ondas é de 0,53-1,52 m e períodos de 3,06-9,23 segundos, com um potencial de energia das ondas estimado em 5-20kW/m (Sadio *et al.*, 2017). O resto da África Subsaariana tem um potencial de energia das ondas em média de 5-10 kW/m (Fourie & Johnson, 2017). Em Madagáscar, na África Oriental, o potencial de energia das ondas foi estimado em 12,86 kW/m (Contestabile & Vicinanza, 2017). A avaliação do potencial de utilização da energia das ondas para produzir água doce a partir de um sistema de dessalinização por osmose inversa, em combinação com a defesa costeira do quebra-mar, foi realizada no nordeste de Madagáscar com resultados encorajadores.

A densidade média da energia perto da costa foi estimada em 3,3 -9,95 kW/m, com valores baixos em Maio e valores mais altos em Janeiro (Contestabile & Vicinanza, 2018). Na África Ocidental, estudos realizados no Gana indicaram que a utilização das ondas oceânicas pode ser desenvolvida para satisfazer as necessidades energéticas do Gana, se aproveitada utilizando tecnologia que seja rentável e fiável (Aboagye *et al.*, 2021), embora alguns estudos tenham avaliado que o potencial da energia das ondas na África Ocidental é baixo (<1kW/m), ligeiramente acima do recorde de energia das ondas mais pobre (UNEP, 1983).

2.5.2 Aproveitamento de energia de ondas na Africa Subsaariana

Os estudos sobre aproveitamento de energia de ondas do mar ainda se encontram em fase bastante incipiente, agravados por obstáculos significativos ao seu desenvolvimento como a ausência de dados sobre o potencial energético do mar na costa de Africa Subsaariana, incluindo Moçambicana, dificuldade de atracção de investidores e a ausência de mecanismos institucionais que incluam projectos de investimentos nesse tipo de geração de energia em programas de incentivos ao desenvolvimento de energias alternativas.

A energia de ondas do mar é extraída por dispositivos que convertem a energia potencial das ondas em energia cinética que gira turbinas ou arrasta geradores lineares (Brekken *et al.*, 2009), e é frequentemente utilizada para gerar electricidade. Energia de ondas oceânicas pode ser obtida tanto em águas profundas quanto em águas rasas (Silva, 2014). Em águas profundas aproximadamente 95% do fluxo de energia ocorre entre superfície e a uma profundidade de $L/2$ e em águas rasas a energia é disponível em toda a coluna de água.

A extracção da Energia de Ondas do Mar vem sendo pesquisada há algumas décadas. Actualmente, já se inicia como demonstração comercial, o fornecimento de electricidade produzida através da energia das ondas do mar. Como exemplos, a Holanda com o projecto AWS (Archimedes Wave Swing) com 2 MW de potência, Portugal com o projecto OWC (Oscillating Water Column), com 400 kW de potência, e o Reino Unido com o projecto Limpet com 500 kW de potência.

Recentemente, foi lançado ao mar o projecto Pelamis com 750 kW de potência, também pelo Reino Unido. A Dinamarca também instalou recentemente no mar o projecto Wave Dragon, gerando 20 kW numa primeira fase, tendo, porém, capacidade para maiores potências. Estados Unidos, Canadá, Austrália, Irlanda, Noruega, Espanha, Nova Zelândia, Suécia, Grécia, Índia, China, Coreia e Japão são exemplos de países que também vêm desenvolvendo pesquisas nesta área.

2.6. Energia de marés

As marés são ondas muito longas moduladas por efeitos de transformação de ondas sobre batimetria complexa. Como tal, elas podem exibir uma densidade de energia que é significativamente variável espacialmente. À medida que as elevações ou velocidades das marés aumentam acima de certos limites, elas podem ser percebidas como uma fonte de energia atraente, principalmente devido à sua previsibilidade. Os desenvolvimentos de energia marinha, portanto, podem contribuir significativamente para um sistema de energia líquida zero (Konstantinos *et al.* 2023).

As marés nos oceanos possuem um enorme potencial de energia e podem ser uma importante fonte de energia eléctrica. As barragens de marés foram pesquisadas, juntamente com outras tecnologias, para entender como capturar a energia oceânica de forma eficaz. No entanto, a energia das marés ainda não é uma fonte de energia comercial convencional, mas tem potencial para ser explorada como uma fonte de energia renovável comercial. Além disso, a energia das marés é menos poluente e pode produzir energia massiva em comparação com outras fontes renováveis.

Acredita-se que a fonte mais eficaz seja a energia das marés. Com isso, a energia das marés pode ser utilizada para atender nossas demandas anuais. No entanto, desde a sua criação, não foi amplamente utilizado. Mas com mais estudos e desenvolvimento, pode servir como um substituto confiável para nossas necessidades de energia (Budiyanto, 2019). O sistema de

energia das marés depende principalmente das marés oceânicas e das subidas e descidas naturais das correntes. O aumento das águas do oceano durante a flutuação das marés é usado para gerar energia através do sistema de energia das marés (Elbatran, 2015).

A energia das marés é uma fonte de energia não convencional que, em comparação com outras fontes de energia renováveis, oferece benefícios significativos no mercado de energia iminente devido à sua alta densidade de potência e excelente previsibilidade (Etemadi, 2011).

A energia das marés é produzida como resultado dos campos gravitacionais tanto do sol como da lua, que juntamente com a rotação da terra em torno do seu eixo levam a marés altas e baixas. A energia gerada pode ser aproveitada através de dois métodos básicos: (i) barragens de maré que fazem uso da amplitude da maré, onde durante a maré cheia a bacia atrás da barragem é cheia e durante a maré baixa a água é libertada através de turbinas que criam energia eléctrica através da utilização de geradores, e (ii) geradores de corrente de maré que fazem uso directo da energia cinética da deslocação da água para turbinas de energia, trabalhando de forma semelhante às turbinas eólicas (Fourie & Johnson, 2017. Bryden, 2004).

As marés apresentam vantagens em comparação com as ondas, a energia eólica e solar porque são previsíveis tanto em termos de tempo como de magnitude, e por isso são uma fonte de energia muito fiável (Neill & Hashemi, 2018). A energia das marés é frequentemente colhida para a produção de electricidade (Chowdhury *et al.*, 2021; Etemadi *et al.*, 2011) e as novas aplicações incluem a dessalinização. Para a dessalinização, a pressão aumenta devido às ondas, que são depois canalizadas para terra para conduzir um sistema de dessalinização por osmose inversa (Babu *et al.*, 2017, Franzitta *et al.*, 2016).

As marés variam de forma bastante significativa ao longo da costa africana. Na África Oriental, as marés são baixas, com amplitude de maré entre 1,2-1,6, na maioria dos locais ao longo da costa (Aboagye *et al.*, 2021; Senegal, 2010). No entanto, nos estuários e nas entradas das marés, devido à co-oscilação, a amplitude da maré pode atingir valores elevados. Por exemplo, no estuário de Geba, na costa norte da Guiné-Bissau, a amplitude média da maré é de 5,1 m, aumentando para 6,4 m em Port Gole, enquanto o resto da costa tem uma amplitude de maré de 2,8 m (Diop, 2010).

A costa da Nigéria apresenta marés moderadas, com amplitude de maré de 2,6 m e 3,0 m nos estuários e 1,9 m nas áreas circundantes (Usoro, 2010). Na África Oriental as marés variam entre micro-marés (0,3-1 m) observadas nas Ilhas Maurícias e Reunião, mesotida (1-2 m)

observadas principalmente nas Seicheles, na costa oriental de Madagáscar e Rodríguez até macro-marés (acima de 3 m) encontradas principalmente na costa continental, nas Comores e na costa ocidental de Madagáscar (Magori, 2008).

Em Moçambique, em particular, a amplitude média da maré da Primavera situa-se entre 3,5 e 4,5 m, aumentando para 5,6 m no centro de Moçambique (Albergaria, 2010; Canhangá & Dias, 2005; Orme, 2010). No Quênia, a amplitude média da maré da Primavera varia entre 2,5 m e 3,6 m, com um máximo de 4,0 m registados por Ojany (2010). Na África do Sul, as marés variam tipicamente entre 2-2,5 m (Searson, 1994).

Teoricamente, uma estação de maré é considerada economicamente viável em 20-40 m de profundidade de água com um alcance de maré não inferior a 5 m para uma barragem de maré (Neill *et al.*, 2018) e velocidades de correntes não inferiores a 2 m/s, para uma turbina de maré (Jackson & Persoons, 2012; Roberts, 2016). No entanto, existem centrais eléctricas com um intervalo de maré inferior a 5 m, por exemplo, Coreia do Sul (a 4,5-4,7 m) (Neill *et al.*, 2018) e turbinas de corrente de maré com menos de 2 m/s, por exemplo, Marrocos (a 0,9-1,8 m/s) (Alaoui, 2019). Estas funcionam porque a água tem uma alta densidade, 1000 vezes superior à do ar, o que faz com que as turbinas de maré produzam electricidade a velocidades tão baixas como 1m/s (Jackson *et al.*, 2012).

Os locais com elevado potencial de produção de energia das marés na África Subsaariana são o Quênia, Tanzânia, Moçambique e Madagáscar, na África Oriental Gana e Guiné Bissau, na África Ocidental (Kempener, 2014). Esperava-se que o Gana encomendasse o seu primeiro gerador de energia submarina até Dezembro de 2016 no Estuário de Ada, na Região da Grande Accra. Gale-Zoyiku (2015) reportou que em Março de 2015 foi realizada com sucesso uma geração de teste de 14 MW. E, afirmou que quando estiver totalmente operacional, a central produzirá até 1.000 MW. Para a África Ocidental, Onundo & Mwema (2016) estimaram a potência da maré no Quênia em 1,9GW (16,5 TW/h/ano).

2.7. Energia de Correntes Marinhas

A energia das correntes de maré tem atraído muita atenção nos últimos 10 anos por parte de académicos e empresas. A previsibilidade e a estabilidade são duas vantagens significativas da energia das correntes das marés em relação a outras fontes de energia renováveis, como o sistema de energia solar, eólica e de biomassa. Essas características simplificam o gerenciamento da rede, reduzem o preço do armazenamento de energia e restringem o uso de

geradores de combustível fóssil quando as fontes de energia renováveis disponíveis não podem atender à demanda de electricidade.

As correntes marinhas podem transportar grandes quantidades de água, impulsionadas pelas marés, diferenças espaciais de temperatura, salinidade e vento, e modificadas pela topografia e pela rotação da terra (Quirapas & Taeihagh, 2021). As correntes mais fortes estão associadas às marés e ondas, realçadas pelo estreitamento da topografia, frequentemente encontradas em estreitos entre as ilhas e o continente ou em águas pouco profundas em torno das cabeceiras, e em canais de marés (Quirapas *et al.*, 2013).

As correntes de marés e ondas podem atingir velocidades de 1,5 m/s a mais de 3 m/s (Dodet *et al.*, 2013; Gourlay, 2011), o que pode fornecer uma quantidade apreciável de energia, considerando que o limiar para uma central eléctrica de corrente oceânica economicamente viável está fixado em 2 m/s. Além disso, tal como as marés, as correntes são mais previsíveis e, juntamente com a maior densidade da água, tornam a energia da corrente oceânica mais fiável em comparação com a energia eólica (Jackson & Persoons, 2012).

A energia cinética resultante do movimento da água é colhida e convertida em electricidade por turbinas de corrente de água, que funcionam da mesma forma que uma turbina eólica extrai energia do vento, utilizando hélices de eixo horizontal de fluxo axial ou rotores Darrieus de fluxo cruzado, atracados numa estrutura fixa a partir do fundo do mar ou flutuando na coluna de água (Ponta & Jacovkis, 2008).

A África Subsaariana tem seis correntes principais de fronteira oceânica, nomeadamente, a Corrente da Somália, Corrente da África Oriental, Corrente de Moçambique e Correntes de Agulhas no Oceano Índico Ocidental e Correntes de Benguela e Canárias na África Ocidental, onde a velocidade da corrente no núcleo varia de 1 m/s a mais de 2 m/s, pelo que se espera que o potencial de energia da corrente oceânica seja elevado (Fourie & Johnson, 2017). Tais correntes, contudo, encontram-se em mar aberto, mais longe da costa, o que pode representar desafios adicionais para a sua exploração.

Na região ocidental do oceano Índico, os locais mais notáveis para a energia das correntes oceânicas encontram-se ao longo da costa do Quênia, onde as velocidades máximas de correntes registadas foram de 1,2-1,9 m/s; no Norte de Moçambique, onde a velocidade média da corrente se situa entre 1-1.5 m/s e velocidades máximas acima de 2 m/s (DiMarco, 2002; Ullgren *et al.*; 2002), no estreito Tanzânia-Zanzibar, onde as velocidades de correntes

observadas foram de 0,7-1,5 m/s; ao longo da Corrente das Agulhas, no sul de Moçambique e na costa oriental da África do Sul, onde as velocidades de corrente atingem 1,1-1,7 m/s (Lamont *et al.*, 2016). Além disso, os locais com potencial para a energia das correntes oceânicas incluem aqueles com elevado potencial para a energia das marés, discutido na secção anterior.

Dubi (2006) estimou uma potência de corrente de maré de 133 kW/m para canais com velocidade de 0,5-1,5 m/s, na costa da Tanzânia. Em baías semi-encerradas, tais como as estabelecidas por recifes ao longo da costa, as ondas podem empilhar água na baía durante a subida das marés e estabelecer um gradiente de pressão que pode causar uma corrente rápida e contínua, independentemente das marés (Lamont *et al.*, 2016; Taskjelle, 2014).

2.8. Estimativa de Energia de Gradiente de Salinidade

2.8.1 Potencial de Energia de Gradiente de Salinidade

A energia do gradiente de salinidade é proporcional ao volume e ao gradiente de salinidade entre a água salgada do mar e água doce de rios, tal que quando 1000 L de água doce se misturam com a água do mar, gera-se até 750 Wh de energia (Post *et al.*, 2009). Os estudos experimentais de Jagur-Grodzinski e Kramer (1986) mostram que a quantidade de energia obtida (líquida) poderia ser de 0,25-0,6 MJ por m³ de água do rio que é dependente da densidade de potência escolhida. Avaliações recentes do potencial teórico máximo na foz dos sistemas estuarinos varia de ~1.724 para ~3.158 TW (Kuleszo *et al.*, 2010; Stenzel & Wagner, 2010), que está na mesma ordem de grandeza do consumo mundial de electricidade em 2011 de 2.0407 TWh (IEA, 2013).

Existem poucos estudos publicados sobre o potencial da energia do gradiente de salinidade na África subsaariana. Estimativas da IRENA (2014a) produziram 2.690 TWh para o potencial teórico e 503 TWh por ano para o potencial técnico da energia do gradiente de salinidade em África, Pawlowski *et al.* (2016) indicaram que a África tem 391 rios com descarga média estimada de 170.294 m³/s, e um potencial bruto teórico e técnico estimado de energia do gradiente de salinidade de 311 GW e 190 GW, respectivamente. De acordo com Kuleszo *et al.* (2016), a África tem três rios, dois na África subsaariana, classificados entre os 10 principais rios globais com elevado potencial técnico de salinidade, e estes são o Zaire (57 GW), Nilo (21 GW) e Zambeze (15 GW), e também vários rios com potencial técnico superior a 1 GW. Haddout *et al.* (2016a, 2016b) analisaram o potencial bem como as implicações ambientais de extracção de energia de gradiente de salinidade (SGE) no estuário de Sebou (Marrocos).

2.8.2 Aproveitamento de Energia de Gradiente de Salinidade

Existem dois sistemas de aproveitamento de energia de gradiente de salinidade, ambos baseados em membranas de osmose selectiva: a Electrodialise Inversa (RED) (Lacey, 1980; Pattle, 1954) e Osmose de Pressão Retardada (PRO) (Post *et al.*, 2007); Murphy, 1956); Weinstein & Leitz, 1976). Estudos de Loeb (1998, 2002) mostram que a produção de energia a partir de 3.000.000 m³/d (caudal "moderado") de água do rio por interacção com a água do mar no sistema PRO é de 22.300 KW.

A electrodialise invertida (RED) tornou-se mais proeminente entre as metodologias convencionais de separação por membranas devido à sua maior eficiência energética e menor susceptibilidade à incrustação por membranas do que a osmose retardada por pressão (PRO). Contudo, as membranas de troca iónica utilizadas nos sistemas RED encontram frequentemente limitações enquanto se adaptam a um sistema do mundo real devido ao seu tamanho limitado de poros e resistência interna (Hsu *et al.*, 2021).

Recentemente, o SGE está a tornar-se mais popular por estar prontamente disponível (24 h por dia) e viável em comparação com fontes de energia convencionais instáveis, tais como vento, solar, e ondas, que exibem uma elevada variabilidade diária (Vendas *et al.*, 2010).

2.9. Conversão de Energia Térmica Oceânica (OTEC)

A Conversão de Energia Térmica Oceânica (OTEC) é um processo que pode produzir electricidade utilizando a diferença de temperatura entre a água fria profunda do oceano e as águas quentes superficiais tropicais. As centrais OTEC bombeiam grandes quantidades de água do mar fria profunda e de superfície e geram diferenças de pressão que accionam turbinas acopladas a geradores e produzem electricidade (Etemadi, 2011; Veja, 2012). As plantas OTEC podem ser de ciclo fechado ou de ciclo aberto.

Num sistema OTEC de ciclo fechado, a água do mar quente vaporiza um fluido de trabalho, como o amoníaco, fluindo através de um evaporador (Hasan & Dincer, 2020). O fluido de trabalho expande-se e acciona uma turbina. O vapor é então condensado por meio de água fria profunda e bombeado de volta para o evaporador, e o ciclo repete-se. Num sistema OTEC de ciclo aberto, a água do mar quente é utilizada como fluido de trabalho. A pressão acima da água quente é suficientemente reduzida para que a água ferva e vaporize à temperatura ambiente de cerca de 25°C, conduzindo a turbina no processo.

O vapor é então condensado e a água doce produzida. Assim, o sistema aberto produz água doce como subproduto (Liu, 2018). Embora o sistema seja concebido para produzir electricidade, estudos recentes demonstraram o seu potencial para contribuir para o desenvolvimento da maricultura em grande escala em mar aberto, uma vez que requer bombear água mais profunda, fria e rica em nutrientes para a zona fótica, caso possa desencadear a produção primária (Liu, 2018).

CAPÍTULO III – ENQUADRAMENTO TEÓRICO

Neste capítulo apresentam-se de forma resumida as pesquisas anteriores sobre energia oceânica e é fundamentada a finalidade da pesquisa feita, são apontadas também as acções estratégicas traçadas na Estratégia de Desenvolvimento de Energias Novas e Renováveis (EDENR) para o período de 2011 – 2025. Faz-se referência a dois tipos de energias renováveis oceânicas, nomeadamente energia de ondas oceânicas e de gradiente de salinidade, por serem as energias com maior potencial de serem explorados em Moçambique.

O presente estudo trata de energias renováveis do mar. A energia é definida como a capacidade de realizar trabalho. Existem diversas formas de energia intercambiáveis entre si, ou seja, que podem transformar-se umas nas outras.

Energia é uma grandeza física relacionada com movimento e com propriedades conservadoras, podendo ser transformada, conservada, mediante a aplicação de uma força. No processo de transformação, porém, pode sofrer degradações por entropia. No Sistema internacional, a unidade de medida da energia é joule (J). Por definição, 1 joule é a quantidade de energia que precisa ser transferida para que um objecto mova-se um metro contra a acção de uma força externa de 1 Newton. Além do joule, existem outras unidades de medida de energia, como a caloria. Sendo que uma caloria é a energia necessária para que, em condições normais de pressão (1 atm), 1 g de água sofra um aquecimento de 1 °C. A relação quantitativa entre as unidades joule e caloria é tal que 1 joule equivale a 4,1 cal.

A energia é um recurso em si, e provém de recursos naturais, podendo estes serem renováveis ou não-renováveis. Fontes de recursos energéticos não renováveis são aquelas que a natureza os detém, no entanto, uma vez consumidos não podem ser repostos, tais como combustíveis fósseis, o que inclui petróleo, gás e carvão mineral fossilizados. Fontes de recursos energéticos renováveis são aquelas que no decurso de seu uso são naturalmente reabastecidos, como sol, vento, chuva, marés e energia geotérmica.

A energia é útil para o Homem pois possibilita a produção e transformação de bens e serviços necessários, e até indispensáveis para a vida do homem tais como produção agrícola, iluminação, confecção de alimentos, transportes, operação de máquinas hospitalares entre outros. No mundo de hoje existe maior interdependência entre a economia e a energia dos países.

Desenvolveram-se máquinas de realização de trabalho útil para o homem, sendo que essas máquinas aplicam uma determinada forma de energia ou outra. Daí a necessidade de transformação de energia natural obtida das fontes naturais, para energia aplicada nos dispositivos de realização de trabalho como sendo automóveis, tractores, geradores, entre outros.

A energia eléctrica é uma das formas de energia com inúmeras utilidades. Muitas máquinas de realização de trabalho, incluindo máquinas industriais, máquinas hospitalares, veículos, electrodomésticos, entre outros, são accionados por energia eléctrica. Ela é facilmente convertida, através de dispositivos apropriados, em outras formas de energia como a cinética, potencial, térmica entre outras. Para além disso, possui grande eficiência tanto na geração como no uso.

O presente trabalho estuda as energias renováveis do mar, com enfoque nas energias de ondas oceânicas, caracterizadas por movimento mecânico de partículas de água no oceano, pelo que a natureza desta energia é cinética e potencial, e, energia de gradiente de salinidades, caracterizada por iões, daí que esta energia é de natureza química. O estudo determina o potencial destas energias e discute as possíveis aplicações directas e indirectas, através de aplicação nos sistemas de conversão de energia mecânica e química em energia eléctrica.

3.1 Energia de Ondas Oceânicas

As ondas são caracterizadas por oscilações de partículas de água na vertical, resultando na oscilação do nível de água do vale a crista da onda, o que resulta em energia potencial e por oscilações de partículas de água na horizontal, resultando em energia cinética. A energia de ondas oceânicas é extraída por dispositivos que convertem a energia potencial das ondas em energia cinética que gira turbinas ou arrasta geradores lineares (Brekken *et al.*, 2009), e é frequentemente utilizada para gerar electricidade. Outras aplicações tem sido de accionamento de bombas de água ou bombeamento de água através de membranas osmose para dessalinização de água.

A energia mecânica total de ondas oceânicas por unidade de área (E_s), contida numa onda é dada por:

$$E_s = E_c + E_p = \rho g \frac{H^2}{16} + \rho g \frac{H^2}{16} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad [1]$$

Sendo (ρ) a densidade da água do mar (kg/m^3), H a altura da onda e g a aceleração da gravidade (m/s^2). A potência da onda representa a combinação da energia potencial e cinética de ondas a deslocarem-se com velocidade igual à velocidade de grupo (C_g) perpendicularmente à frente de onda. Tipicamente, a potência transportada pelas ondas do mar, é medida em W por metro de frente de onda e é calculada pela seguinte fórmula:

$$P_w = E_s \cdot C_g \quad [2]$$

O valor da velocidade de grupo (C_g), varia conforme a profundidade pelo que, para ondas regulares, a potência (W) por unidade de comprimento (m) de frente de onda em águas profundas, é dada por Magagna (2011).

$$P_w = E_s \cdot C_g = \frac{\rho g^2 T H^2}{32\pi} \quad [3]$$

Onde T representa o período da onda e H a altura. Em ondas regulares e para águas pouco profundas, a potência (W) por unidade de comprimento (m) de frente de onda é dada por:

$$P_w \approx \frac{\rho g H^2 \sqrt{gh}}{8} \quad [4]$$

Para ondas irregulares e em águas profundas, a potência (W) por unidade de comprimento (m) de onda, é dada por Magagna (2011)

$$P_w = \frac{\rho g^2 T_e H_s^2}{64\pi} \quad [5]$$

Onde T_e representa o período de energia e H_s a altura significativa. A teoria das ondas lineares é largamente usada como primeira análise, para descrever o comportamento das ondas do mar pois fornece uma boa aproximação para a descrição de vários fenómenos costeiros, onde H_s é a altura significativa de onda (média de altura de 1/3 das ondas mais altas) e o resultado é dado em W/m. Substituindo ρ por 1.025 kg/m^3 e g por $9,81 \text{ m/s}^2$ na equação (5), a energia de onda foi estimada em Estefen *et al.* (2003):

$$P(kw/m) \approx 0,49 H_s^2 T_e \quad [6]$$

Observando-se esta equação fica evidente a importância da altura da onda em seu potencial energético, já que este parâmetro se encontra elevado ao quadrado, onde pequenas variações na altura podem impor variações significativas em sua energia.

3.2 Energia de Gradiente de Salinidade

A Energia de Gradiente de salinidade (EGE) é a energia criada a partir da diferença na concentração de sal, geralmente entre água salgada oceânica e água doce proveniente de rios (Haddout *et al.*, 2020). Pelo que é um tipo de energia química cujo potencial máximo se localiza nos estuários. Esta energia baseia-se nas diferenças de pressão osmótica que ocorrem na interface entre duas massas de água com salinidades diferentes (Schaetzle & Buisman, 2015). O potencial máximo do poder do gradiente de salinidade é esperado em estuários, onde a água de um rio, com baixa salinidade, encontra a água salgada de um oceano, com alta salinidade (Haddout *et al.*, 2020; Jones & Finley, 2003). Estimativas aproximadas indicam que em circunstâncias em que a água do rio tem salinidade zero e a água do oceano tem salinidade 35, pode ser gerada energia equivalente à de uma barragem de 140-240 m de altura (Schaetzle & Buisman, 2015).

Existem dois métodos principais para aproveitamento de energia do gradiente de salinidade. Estes são a Electrodialise Inversa (RED) e Osmose de Pressão Retardada (PRO) (Govindarsu *et al.*, 2020; Zoungrana & Çakmakci, 2020) e a Osmose de Pressão Retardada (PRO) (Altaee & Cipolina, 2019; Ghaffour, 2019). Ambos os processos dependem da osmose com membranas, gerando electricidade, e produzindo água salobra como subproduto (Jalili, 2019; Zhum, 2017). A electricidade produzida pode ser utilizada para muitas aplicações benéficas (Dubrawski *et al.*, 2020).

A energia do gradiente de salinidade depende da energia de mistura livre de Gibbs. Para melhor compreender o SGE, é necessário examinar a definição da energia livre de Gibbs de mistura. Para uma solução diluída ideal $\Delta_{mix}H = 0$, a energia livre de Gibbs de mistura pode ser expressa como:

$$\Delta_{mix}G = \Delta G_b - (\Delta G_c + \Delta G_d) \quad [7]$$

onde o subscrito c representa a solução concentrada. o subscrito d representa a solução diluída. e o subscrito b representa a solução salobra que resulta da mistura.

A ligação com a entropia da mistura $\Delta_{mix}S$ pode ser obtida através da expressão Equação

$$\Delta_{mix}G = -(n_c + n_d)T\Delta_{mix}S_b - (-n_cT\Delta_{mix}S_c - n_dT\Delta_{mix}GS_d) \quad [8]$$

onde n é a quantidade de partículas (mol). T é a temperatura (K). e $\Delta_{mix}S$ é a entropia molar da mistura $J/mol.K$ que pode ser expressa como:

$$\Delta_{mix}S = -R \sum_i x_i \ln x_i \quad [9]$$

onde R é a constante universal do gás $8,314 \frac{J}{mol.K}$ ($8.314 J/mol.k$), x_i é a fracção molar do componente i (no caso do oceano e da água doce, i é principalmente Na, Cl, e H_2O).

3.3 Sistemas de Conversão de Energias do Mar

3.3.1. Tecnologias de Conversão de Energia de Ondas em Electricidade (WEC)

Nesta secção pretende-se mencionar algumas tecnologias de conversão de energia de ondas em electricidade desenvolvidas até ao momento, neste âmbito é focalizada a classificação dos conversores de energia de ondas quanto a localização do dispositivo e condições de operação. Entre diversas tecnologias como, o Pelamis, Archimedes Wave Swing (AWS), Pelamis, Salter Duck, Wave Dragon, Penguin, *Central LIMPET*, etc, apresenta-se o Pelamis e usina de geração de ondas instalada em Pecen pelo facto de estas tecnologias serem as mais comuns e com o principio de funcionamento mais detalhado.

3.3.1.1 Classificações dos WEC's

Os conversores de energia de ondas podem ser classificados com base na Localização do Dispositivo e com base nas condições de operação.

Quanto a localização, os sistemas de conversão de energia de ondas podem ser:

- Dispositivos Shoreline - Trata-se de dispositivos montados na costa. As vantagens desses dispositivos são a facilidade de instalação e manutenção. Estes devem ser instalados nos hot-spots para melhor geração de energia. As implementações desses dispositivos são restritas pela geologia costeira, amplitude das marés, conservação da paisagem costeira, etc. Exemplos são, Coluna de Água Oscilante, Limpet, Vizhinjam harbour WEC, etc.
- Dispositivos Perto da Costa - Esses dispositivos são montados em profundidades de água de até 20m da costa, dentro de 1 km da costa. A energia desenvolvida é transferida

para a rede em terra através de cabos eléctricos. Alguns exemplos são, Oscillating Water Surge, Osprey, Wave star, etc.

- Dispositivos off-shore - Esses dispositivos experimentam regimes de ondas mais poderosos e estão presentes a uma profundidade superior a 40m em águas profundas. Alguns exemplos são, Archimedes Wave Swing (AWS), Pelamis, Salter Duck, Wave Dragon, Penguin, etc.

Quanto a condições de operação, os sistemas de conversão de energia de ondas podem ser:

- Dispositivos flutuantes: Esses dispositivos flutuam no mar e utilizam as ondas da superfície. O sistema conversor e o gerador devem ser alojados nos mesmos dispositivos. A estrela Wave é um exemplo clássico disso.
- Dispositivos parcialmente submersos: esses dispositivos estão meio submersos na água e utilizam as correntes de ondas superficiais e subaquáticas. A electricidade produzida pode ser transferida para a estação presente na costa. Oscillating Water Surge é um exemplo para este tipo.
- Dispositivos totalmente submersos: como o nome sugere, os dispositivos estão debaixo d'água e utilizam as correntes das ondas subaquáticas e a diferença de pressão. O Wave Swing de Arquimedes é um exemplo.

3.3.1.2 Alguns WECs Mais Populares

Existem diferentes tipos de WEC presentes. alguns deles são discutidos abaixo.

i. Pelamis

O Pelamis tem seu eixo paralelo à direcção da onda, conforme mostrado na Figura 1 . Estes são divididos em segmentos que são articulados entre si. Quando esses segmentos oscilam devido ao movimento das ondas, o movimento oscilatório é utilizado para bombear óleo e consequentemente um sistema hidráulico é utilizado para converter este movimento.

Segundo Cruz (2007) o *Pelamis* é um dispositivo de conversão de energia das ondas do tipo progressivo. Os dispositivos progressivos são sistemas alongados com uma dimensão longitudinal da ordem de grandeza do comprimento de onda e estão dispostos no sentido de propagação da onda, de modo a gerarem um efeito de bombeamento progressivo, associado à passagem da onda. Cada dispositivo é composto de quatro tubos circulares e três módulos de conversão de energia, perfazendo uma capacidade unitária de aproximadamente 750 kW, sendo o seu comprimento de 120m e o diâmetro externo igual a 3.5 m. O movimento de propagação

das ondas provoca a oscilação dos cilindros em relação às juntas que os unem e, dessa forma, a pressurização de óleo interno que passa por motores hidráulicos, responsáveis pela geração da energia eléctrica. Uma das componentes importantes do Pelamis é o seu sistema de fixação ao fundo do mar, que, dadas as características do dispositivo, assume uma relevância fundamental (Cruz, 2007). O Pelamis é uma tecnologia desenvolvida pela Pelamis Wave Power Ltd. (anteriormente conhecida por Ocean Power Delivery Ltd) e é um conversor de energia de ondas semi-submerso constituído por várias secções flutuantes de aço (normalmente quatro) que se encontram ligadas por junções articuladas (Cruz, 2007). A estrutura total encontra-se atracada com folga ao fundo do mar e é alinhada longitudinalmente com a direcção de propagação das ondas sendo, por esta razão, considerada também como um dispositivo atenuador. A ondulação da água induz um momento flector em cada junta da estrutura que é absorvido por cilindros hidráulicos. Estes fornecem óleo a alta pressão a um acumulador que suaviza a potência transmitida no circuito hidráulico.

O óleo pressurizado flui do acumulador para um motor hidráulico que, por sua vez, acciona um gerador eléctrico para a produção de electricidade (Cruz & Sarmento, 2004). A energia fornecida em cada junta é fornecida à rede por um único cabo, podendo vários dispositivos partilhar esta mesma ligação.

O modelo Pelamis P-750 possui uma potência nominal de 750 kW dividida em três módulos independentes de conversão de energia (250 kW cada), tendo a estrutura um comprimento total de 150 m e 3.5m de diâmetro. Trata-se de um dispositivo destinado a funcionar afastado da costa (offshore) a 5-10 Km de distância em zonas com 50-70 m de profundidade. No ano de 2004 foi instalado um protótipo comercial com 120 m de comprimento e uma secção circular com 3.5 m de diâmetro. No ano de 2006 foram instalados 3 dispositivos Pelamis a 5 Km da costa portuguesa na freguesia de Aguçadoura (Cruz & Sarmento, 2004).

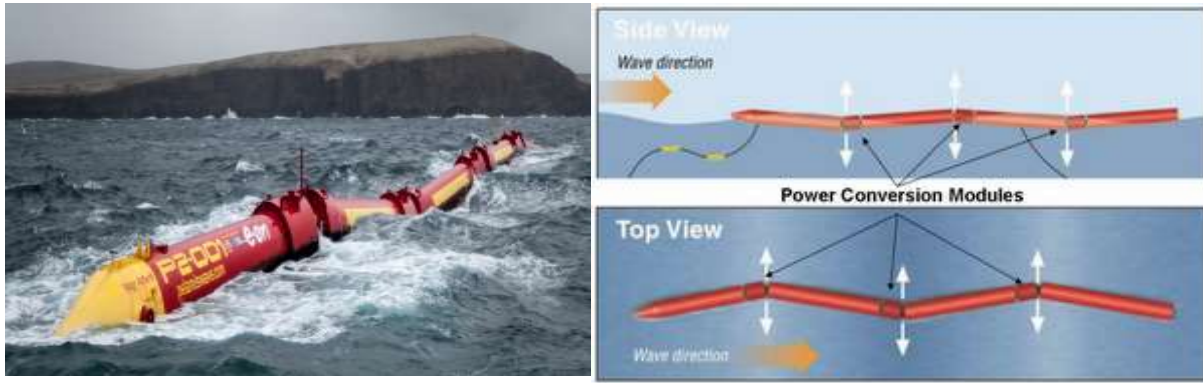


Figura 1: Desenho esquemático do Pelamis. Fonte: <http://www.pelamiswave.com>. <https://www.sciencephoto.com/media/154076/view/pelamis-wave-power-artwork>. Retrieved in 17th July 2022.

O Pelamis é uma estrutura semi-submersa composta por quatro cilindros ligados por articulações. Cada uma destas estruturas mede 150m de comprimento, 3,5m de diâmetro e pesa 700 toneladas. Portugal é um dos países pioneiros na exploração da energia das ondas e o primeiro a ter um parque de ondas de produção de energia. As estruturas instaladas encontram-se no parque da Aguçadoura (Póvoa de Varzim) e são todas elas Pelamis. O movimento oscilante das ondas faz mover as diferentes partes da estrutura relativamente umas às outras nas zonas das articulações. No seu interior, encontra-se um óleo em circuito fechado, que vai sendo comprimido por macacos hidráulicos à medida que a estrutura oscila. Este, por sua vez, acciona um gerador que converte a energia cinética em electricidade (Cruz, 2007).

ii. Usina-piloto de geração de energia por ondas do mar

Uma avaliação da distribuição de energia de ondas no litoral verificou que o Nordeste brasileiro apresenta boa distribuição ao longo do ano (com altura relativamente constante), embora não apresente grandes alturas de ondas. O porto do Pecém, no Ceará, foi escolhido para receber uma usina-piloto de geração de energia por ondas do mar (Figura 2). O projecto foi elaborado no Laboratório de Tecnologia Submarina (LTS/COPPE/UFRJ) e passou por testes no tanque oceânico do LabOceano (também na COPPE) para calibrar os modelos matemáticos e desenvolver o equipamento em escala real. O princípio de funcionamento do sistema baseia-se no movimento vertical de corpo flutuante, com parte da estrutura fixada ao quebra-mar do porto. O movimento vertical da bóia, pressuriza água usando uma bomba acoplada ao braço 5 que liga a bóia ao quebra-mar. A água que circula em circuito fechado no sistema é bombeada sob alta pressão para um acumulador, que por sua vez estabiliza a pressão e proporciona um jacto para uso de uma turbina hidroelétrica.

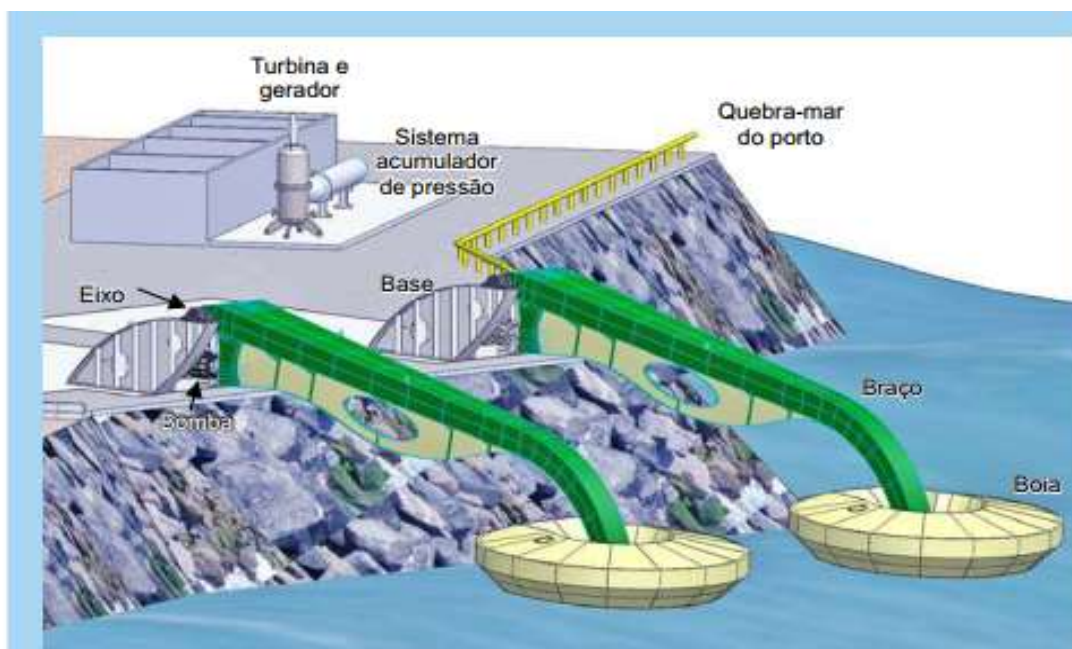


Figura 2: Usina-piloto de geração de energia por ondas do mar de Pecém (Castello. et al, 2017).

3.3.2. Tecnologias de Conversão de Energia de Marés em Electricidade

Nesta secção pretende-se mencionar algumas tecnologias de conversão de energia de marés em electricidade, entre elas, mencionam-se a central de energia das marés de La Rance, Kislaya Guba-Rússia (Figura 3), Annapolis Royal-Canadá e Usina Maremotriz do Lago Sihwa. Onde destas apresenta-se Kislaya Guba, Rússia, visto que, é uma central com grande potencial até aqui identificado.

Central Maremotriz Kislaya Guba, Rússia

No litoral da antiga União Soviética, devido ao grande potencial maremotriz, estimado em 210 milhões de GWh/ano (Charlier e Justus, 1993), sempre houve iniciativas para projectos de usinas para aproveitar este potencial. O primeiro projecto neste sentido, remonta à década de 1940, e consistia na instalação de uma central maremotriz de 1,3 MW em Kislaya Guba, perto de Murmansk, no mar de Barents. Entretanto, somente na década de 1960, após o crescimento da demanda por energia na União Soviética europeia, decidiu-se implantar uma usina piloto com vista a futuros aproveitamentos desta fonte (Figura 3).

O projecto da usina piloto foi desenvolvido pela equipe de Bernshtein para a baía de Kislaya, empregando turbinas bulbo de eixo horizontal instaladas em caixões de concreto armado. A escolha do local foi condicionada à pequena largura da baía, entre 30 e 50 m, com o propósito de reduzir as obras civis, uma vez que se tratava de uma usina piloto. A altura de marés neste

local varia entre 1,1 e 3,9 m e a área do reservatório formado é de 1,1 km², possuindo profundidade média de 3 m e duas grandes depressões de 36 m, que permitem um razoável volume de armazenamento.

Na construção da usina, foram usados caixões flutuantes de concreto armado, nos quais os equipamentos electromecânicos são instalados, previamente, em áreas de montagem e, posteriormente, transportados para o local de sua utilização. Embora o potencial teórico da baía de Kislaya tenha sido estimado em 2 MW para a maré média de 2,3 m, das 5 unidades de 400 kW previstas, somente uma foi instalada, pois os engenheiros russos consideravam suficiente para fins experimentais da usina piloto.

A usina possui 18 m de largura, 36 m de comprimento e 15 m de altura. As alturas de maré são de 9 a 13 m e a altura de queda é de somente 1,52 m. A turbina bulbo é reversível e possui 400 kW de potência com diâmetro do rotor de 3,3 m. O principal objectivo da implantação da usina maremotriz de Kislaya era que esta possibilitasse o desenvolvimento dos estudos sobre o aproveitamento da energia das marés, propiciando conhecimento para as futuras aplicações. Para tanto, a usina, após a sua construção, prosseguiu sendo monitorada através de medições e controle nos diversos equipamentos que a compunham. Desde a implantação da usina de Kislaya, os soviéticos e seus sucessores actuais vislumbram novas pesquisas sobre o aproveitamento energético das marés. Projectos de pesquisa para usinas comerciais no golfo de Kola e na baía de Mezen foram desenvolvidos, como também nas baías de Penzhinsk e Gizhiga, com o propósito de fomentar a industrialização da Sibéria Ocidental (Charlier & Justus, 1993).



Figura 3: Usina piloto de Kislaya Guba – localização e fotografia. Fonte: Charlier e Justus, 1993.

3.3.3. Tecnologias de Conversão de Energia de Gradiente de Salinidade em Electricidade

Nesta secção pretende-se apresentar tecnologias de aproveitamento de energia de gradiente de salinidade. Das tecnologias de aproveitamento de energia de gradiente de salinidade, como a electrodiálise (ED), Osmose Retardada por Pressurização (PRO), entre outras, apresenta-se com detalhes a Osmose Retardada por Pressurização (PRO) e é referenciado nesta secção o princípio de funcionamento do motor osmótico.

3.3.3.1 Osmose retardada por pressão

Esta tecnologia baseia-se em membranas semipermeáveis que permitem a passagem apenas de moléculas de água. Nesta abordagem, a água flui da solução diluída para a solução concentrada, a fim de trazer os potenciais químicos de ambos os lados da membrana para o equilíbrio. Este movimento da água pode ser utilizado para alimentar turbinas que transformam a energia mecânica em electricidade. Uma vez que esta abordagem é semelhante à tecnologia hidroeléctrica, foi desenvolvida e pilotada por uma empresa energética norueguesa com experiência na operação de turbinas. A primeira central de energia osmótica baseada em PRO foi inaugurada em 2009.

No entanto, a abordagem PRO é muito sensível à incrustação de membranas, que é a acumulação de matéria (incrustação de minerais, crescimento de organismos, etc.) sobre as membranas. Por este motivo, é necessária água muito limpa para o funcionamento do sistema. A empresa que desenvolveu este sistema interrompeu o projecto devido aos custos elevados de seu funcionamento que não lhe permitia ser competitiva.

O princípio da pressão osmótica é mostrado claramente na Figura 4. Na parte superior da mesma figura, ao efeito termodinâmico da mistura, duas soluções diferentes são indicadas. Na primeira vez (secção superior esquerda) ambos os líquidos são separados por um painel estanque à água. O sistema evolui espontaneamente para uma mistura perfeita ao remover esta barreira física (canto superior direito). Para atingir o valor máximo de entropia do sistema as soluções de sal tendem a dispersar-se de forma homogénea sobre o volume total da solução. Seguidamente substitui-se no painel por uma membrana semipermeável que apenas permite a passagem das moléculas de água (ver secção de elevador inferior da Figura 4), o sistema tende a obter a situação de equilíbrio e também tende a evoluir para uma mistura perfeita não há diferença termodinâmica entre a parte superior esquerda e a inferior posição inicial esquerda. Como resultado da difusão de moléculas de água da solução diluída (A) em solução de

concentração (B), o volume total da B aumentará e o nível aumentará até que uma solução específica é alcançada de pressão que contraria a difusão das moléculas de água de A para B.

A cabeça de pressão de equilíbrio é chamada pressão osmótica da solução B. De acordo com as experiências, a cabeça de pressão equivalente entre 0,5 molar de água do mar e água doce (água do rio) é cerca de 24 atm (Bromley, 1971; Yunus Emami *et al.*, 2013). Esta pressão é equivalente a energia potencial de água de uma altura de 240 m (Wick, 1971; Yunus Emami *et al.*, 2013). Portanto, este efeito é muito poderoso e faz um forte fluxo de permeado capaz de accionar turbinas hidráulicas e geradores para produzir electricidade do efeito osmótico.

Na natureza, o transporte maciço de água através de troncos de árvores, que pode ter dezenas de metros de altura é também baseada em osmose (Brauns, 2008). Ao aplicar a pressão da concentração da solução em água salgada maior que a sua pressão osmótica é possível inverter o processo de forma que as moléculas de água sejam forçadas a difundir-se através da membrana semipermeável em solução diluída. Isto é chamada osmose inversa e é o princípio principal da produção de água potável a partir da água do mar (Amjad, 1003).

Na PRO, a água sem ou com baixo gradiente de sal é introduzida na planta e filtrada antes de entrar no processo módulos de membrana. A ilustração da Figura 4 mostra água salgada bombeada do mar e filtrada antes é pressurizado e alimentado no módulo de membrana (Skilhagen, 2008). O estudo mostra que a produção de energia a partir de 3.000.000 m³/d (caudal "moderado") de água do rio por interacção com a água do mar em osmose de pré-restauro (PRO) é de 22.300 kW (Loeb, 2002).

De acordo com Lee *et al.* (1981) este poder potencial não poderia ser produzido economicamente pelo PRO. Os dados sobre os custos das plantas PRO eram largamente baseadas nas da fábrica RO em Yuma (Wilson, 1960). Na fábrica de Yuma, o custo específico era de 1000 dólares por metro cúbico diário de permeado.

3.3.3.1.1 Princípio de funcionamento do motor osmótico

A água doce e salgada é bombeada a uma taxa de 100 ml/min e 40 ml/min, respectivamente, para o cilindro de hidrogel a partir dos orifícios no fundo do cilindro (Figura 4). O pistão no topo do hidrogel tem orifícios através dos quais o excesso de água pode escapar. O excesso de água é retirado do cilindro a partir do topo. É colocado um peso de 10 kg no topo da haste do pistão, a fim de empurrar o pistão para baixo durante a contracção do hidrogel.

O pistão é ligado ao cilindro de óleo hidráulico por uma alavanca com um fulcro ajustável,

para maximizar a energia extraída da expansão do hidrogel. O cilindro hidráulico de 25 mm de diâmetro converte o movimento linear em energia fluida. Para maximizar o deslocamento do fluido no cilindro hidráulico, a distância perpendicular ao pivô é mais próxima do cilindro de hidrogel (20 cm) do que do cilindro hidráulico (22 cm).

O acumulador hidráulico armazena os fluidos sob alta pressão. A pressão na bexiga de ar do acumulador hidráulico aumenta à medida que maiores quantidades de fluidos fluem para dentro. A pressão do fluido tanto no cilindro hidráulico como no acumulador é detectada por um sensor de pressão e um manómetro. Uma bomba de óleo é utilizada para produzir a pressão inicial para o acumulador, e funciona como uma fonte de fluido de baixa pressão para substituir o óleo que é pressionado para dentro do acumulador.

O hidrogel seco (50 g) é intumescido até ao equilíbrio em água destilada, antes de ser inserido no cilindro. O princípio de funcionamento do motor é mostrado na Figura 4. No início, a válvula 1 é aberta e a válvula 2 fechada. A bomba de óleo é utilizada para elevar a pressão do sistema até ser igual à pressão de azoto comprimido no acumulador. Depois, a válvula 1 é fechada para evitar fugas de volta para a bomba de óleo.

Uma solução tipo água do mar (35 g/L NaCl) é bombeada através do cilindro de hidrogel, o que provoca a contracção do hidrogel e o pistão acima do hidrogel a mover-se para baixo. Isto levanta o pistão no cilindro de óleo hidráulico, permitindo que o óleo de baixa pressão se encha na parte inferior do cilindro de óleo hidráulico (válvula 3 aberta, válvula 2 fechada). Ao mesmo tempo, o óleo na parte superior do cilindro de óleo hidráulico é conduzido de volta para a bomba de óleo. Quando o hidrogel está próximo da sua altura mínima, o pistão no cilindro de óleo hidráulico está na posição 0 (Figura 4). Neste ponto, o sistema muda para bombear água doce através do cilindro de hidrogel. Depois disto, o hidrogel continua a encolher ao longo do tempo que leva a expelir a água salgada para fora do sistema. Uma vez que o fecho da válvula 3 durante o encolhimento do hidrogel pode dar origem ao ar no cilindro hidráulico, a válvula 3 é mantida aberta durante 10-20 min antes de ser fechada.

Quando a água doce tiver deslocado a água salgada, o hidrogel aumenta do volume. O hidrogel empurra o pistão acima dele para cima, fazendo com que o pistão do cilindro hidráulico se desloque para baixo. Isto aumenta a pressão do óleo hidráulico. A válvula 2 é aberta quando a pressão na parte inferior do cilindro hidráulico se torna mais alta do que a pressão no acumulador. Neste ponto, o pistão hidráulico atingiu a posição 1 com uma altura de deslocamento comprimida de h_c .

Depois da válvula 2 ser aberta, o óleo hidráulico é pressionado para dentro do acumulador através de uma expansão adicional do hidrogel. Na expansão máxima do hidrogel, o pistão hidráulico encontra-se na posição 2, com uma altura de deslocamento total de h_t . A distância em que o pistão hidráulico se move da posição 1 para a posição 2 é a altura de deslocamento armazenada (h). Neste ponto, a válvula 2 é fechada e a válvula 3 é aberta para o ciclo seguinte. O tempo total do ciclo é ajustado de acordo com a relação de inchaço e a capacidade de elevação do hidrogel, assegurando assim que a altura de deslocamento (h_t) seja superior à altura de deslocamento comprimida (h_c).

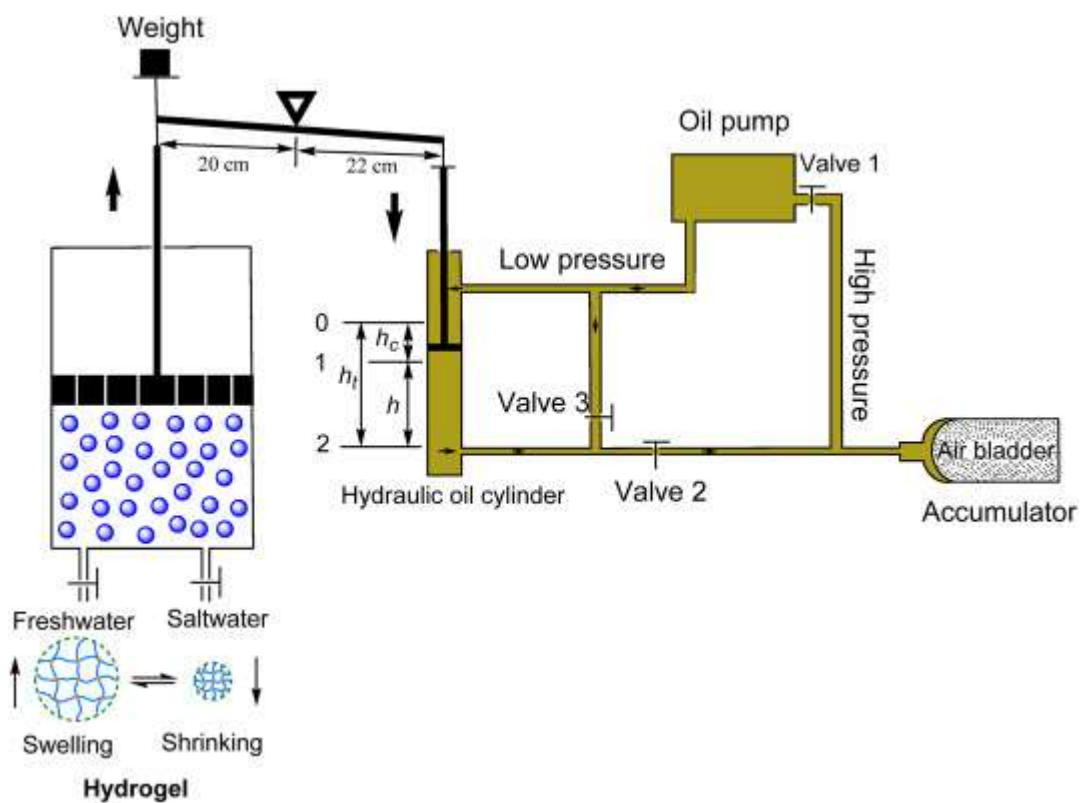


Figura 4: Motor Osmótico: Fonte: Osmotic engine converting energy from salinity difference to a hydraulic accumulator by utilizing polyelectrolyte hydrogels. 2021.

CAPÍTULO IV - METODOLOGIA

Neste capítulo descrevem-se as características gerais da área de estudo, nas vertentes da sua localização geográfica, clima e batimetria, breve caracterização da ondulação e marés, geologia, tipo da praia quanto ao solo, as técnicas e instrumentos de colecta de dados, forma de colecta de dados e o seu tratamento.

Para alcançar os objectivos traçados para o estudo, a metodologia de pesquisa aplicada combinou revisão da literatura, aquisição e uso de dados de ondas disponíveis através de literatura, medições de ondas na Praia de Xai-Xai numa saída de campo, e aquisição de dados históricos de salinidade referentes aos estuários estudados e dados de escoamento de água dos rios Zambeze, Limpopo, Incomáti e Bons Sinais fornecidos pela Direcção Nacional de Gestão de Recursos Hídricos.

4.1 Descrição do local de Estudo- Canal de Moçambique

A costa moçambicana localiza-se na zona ocidental do Canal de Moçambique (Figura 5). O canal de Moçambique é um canal aberto localizado na sub-região do Oceano Índico Ocidental (WIO), orientado no sentido Norte-Sul. Os limites geográficos do Canal de Moçambique são descritos pela Organização Hidrográfica Internacional (IHO, 1953). O Canal estende-se de cerca de 10°N a 26°S.

No norte, o Canal é limitado pela linha que une o estuário do rio Rovuma, no extremo norte de Moçambique, passando pela Ras Habu Ile Grande Comore, no arquipélago de Comoro, até ao extremo norte da ilha de Madagáscar. O limite sul é uma linha que une o Cabo Sainte-Marie, no extremo sul da Ilha de Madagáscar a foz do Limpopo, na zona sul de Moçambique.

O limite oriental é a costa ocidental de Madagáscar, enquanto o limite ocidental é a costa moçambicana. A topografia é bem descrita por Breitzke *et al.* (2017). A sua largura varia de 400 km a 950 km e tem uma profundidade máxima de 3.292 m. Há duas estações distintas, nomeadamente, a estação seca e fria de inverno entre Março e Agosto, e a estação húmida e quente de Setembro a Fevereiro (Barimalala *et al.*, 2020). A circulação é dominada por redemoinhos anticiclone e ciclone à escala meso, que transportam água quente da Corrente Equatorial Sul para a Corrente das Agulhas no Sul (Lutjeharms *et al.*, 2012).

A região é influenciada pelos ventos alísios, no entanto, a parte Norte é também influenciada pelos ventos sazonais das monções do Nordeste (Semedo *et al.*, 2011). A climatologia das

ondas é altamente dominada por ondas geradas na parte Sul do oceano e que se propagam para Norte através do canal, enquanto ondas significativas geradas pelos ventos do Norte, penetram no canal a partir do limite Norte e propagam-se para Sul (Semedo *et al.*, 2011).

Os dados de ondas foram medidos em quadrículas cuja localização geográfica é apresentada na Figura 5, e as respectivas coordenadas são na Tabela 5.

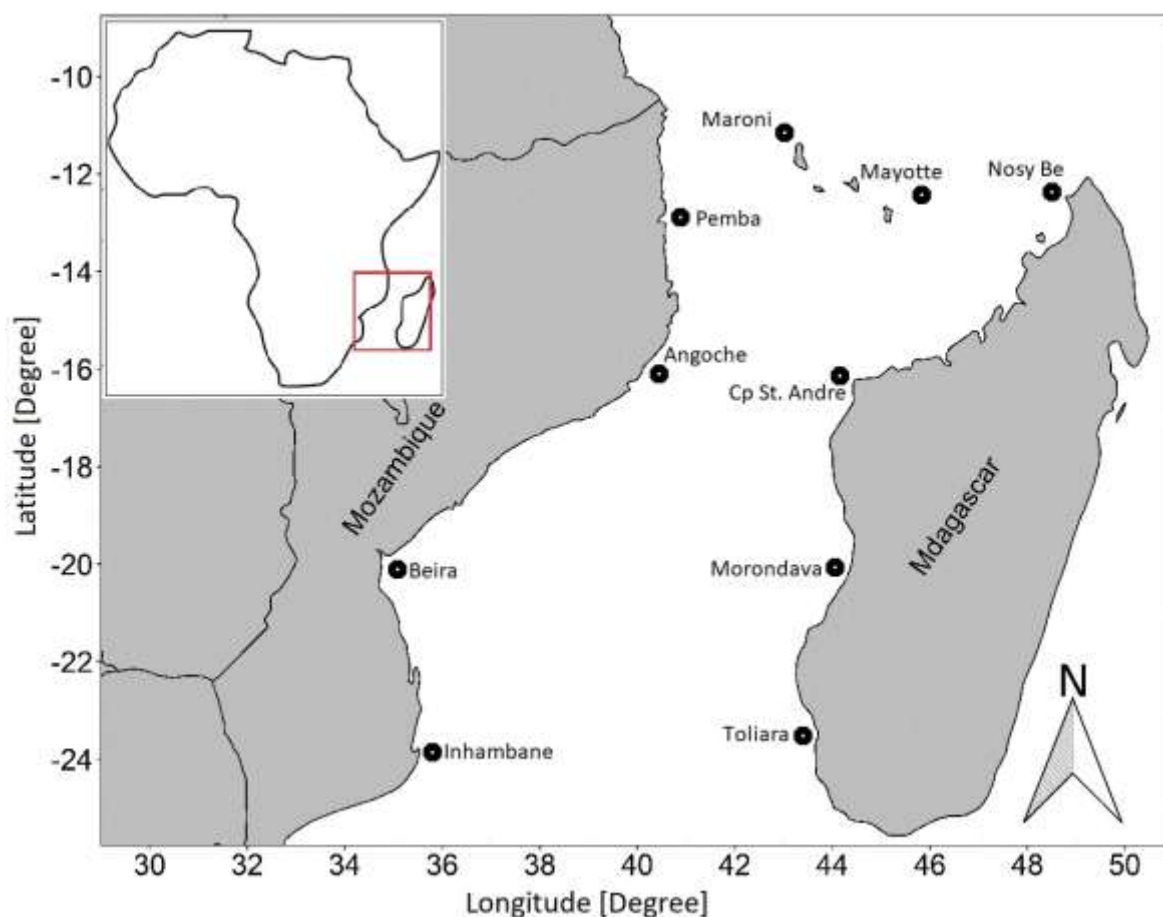


Figura 5: Canal de Moçambique – Local de estudo. (Fonte: Siteo *et al.* (2023) artigo II.

Tabela 5: Coordenadas dos quadrados onde os dados de onda foram recuperados.

Região	Local	Latitude °S		Longitude °E	
		Initial	Final	Initial	Final
Região Ocidental do Canal	Moroni	11,37	12,01	42,85	43,24
	Pemba	10,92	13,28	40,25	42,45
	Angoche	16,09	16,09	39,86	40,25
	Beira	18,96	20,92	34,61	37,24
	Inhambane	21,23	23,50	35,11	37,57
Região Oriental do Canal	Mayotte	11,32	11,97	43,45	43,85
	Nosy Be	12,96	13,61	47,80	48,19
	Cape St. Andre	15,80	16,44	44,42	44,81
	Morondava	19,95	20,60	43,87	44,26
	Toliara	23,33	23,66	43,51	43,65

Fonte: Siteo *et al.* (2023), Artigo II.

4.2 Dados usados e métodos de processamento aplicados

i. Dados usados

Neste estudo, foram utilizados dados semanais de altura significativa média diária das ondas e período das ondas, medidos a partir de altímetros de satélite, fornecidos pela Marine Analyst (<http://www.marine-analyst.eu>). Os dados cobrem o período de 29 de Junho de 2019 a 31 de Dezembro de 2021. De referir que métodos modernos de avaliação de ondas oceânicas são baseados em altimetria, com altura e período de ondas determinados a partir de observações de sensoriamento remoto e calibrados usando medições de bóias oceanográficas (Hammar *et al.*, 2012). De facto, os dados de altimetria com maior resolução espacial e temporal foram concebidos para gerar as estimativas mais conservadoras para a costa ocidental do Oceano Índico (Hammar *et al.*, 2012). Apesar dessas vantagens, existem duas grandes desvantagens dos métodos de sensoriamento remoto, a saber, imprecisão em águas próximas à costa (Krogstad & Barstow, 1999; Cornett, 2008) e dificuldades em contabilizar totalmente a energia nas ondas do oceano (Krogstad & Barstow, 1999).

Para aceder aos dados precisa-se de entrar no painel do Analista Marítimo. Definir a área de interesse. No caso deste trabalho a área de interesse situa-se no canal de Moçambique. Depois de seleccionar a área de interesse são disponibilizados vários parâmetros, a seguir selecciona-se o intervalo temporal de interesse, bem como os parâmetros de interesse. Os dados são processados e analisados na plataforma e enviados para o e-mail do requerente.

Mais ainda, foram usados dados históricos medidos *in situ* de ondas na Praia de Xai-Xai e de salinidade, para aferir o potencial de energia de gradiente de salinidade nos estuários de Incomáti, Limpopo, Zambeze e Bons Sinais.

ii. Processamento de dados

Neste trabalho desenvolveu-se um algoritmo que permite analisar de forma automática o conjunto de dados e, a partir destes, obteve-se graficamente a variação dos parâmetros pretendidos bem como a variação de determinadas relações entre os mesmos. Este tipo de análise permite uma caracterização do clima de agitação através do estudo da distribuição de alturas de ondas, períodos, direcções e da forma como alguns destes parâmetros estão relacionados. Pretendia-se também comparar a variação de algumas alturas de onda com os valores preconizados na literatura, nomeadamente a estimativa teórica para a altura máxima sugerida por Pita & Abecassis em 1998 e as relações entre alturas máximas e significativas estabelecidas por Goda em 1985 (Pita & Abecassis, 1998).

Com o recurso à plataforma de Copernicus, foi feito:

- O levantamento de dados sobre as fontes, potencial, sustentabilidade e desafios na África Subsaariana tendo em conta o Oceano como Fonte de Energia Renovável. O objectivo deste levantamento visou saber a situação actual e prever o futuro no contexto da demanda de energia.
- A avaliação preliminar do potencial energético das ondas oceânicas perto da costa do Canal de Moçambique, para o efeito foram usados dados de altura significativa e período de ondas Oceânicas *in-situ* da plataforma do analista marítimo, estes dados foram usados para a elaboração de um artigo. A partir deste foi possível avaliar o nível energético das ondas na parte Este e Oeste do canal. As estações de medição foram Inhambane, Beira, Angoche e Pemba do lado Este, Toliara, Morondava, Cp St André e Nosy Be do lado Oeste e um pouco ao norte do canal as estações foram Moroni e Mayotte.
- A colecta de dados de salinidade que serviram para avaliar o potencial energético do gradiente de salinidade nos estuários de Moçambique foi nas estações de medições localizados nos estuários de Incomáti, Limpopo, Zambeze e Bons Sinais.
- Algumas considerações sobre a aplicação da energia das ondas oceânicas para a bombeamento de água em zonas costeiras próximas da costa no Canal de Moçambique, a partir da média semanal da altura e período de onda significativos diários, foram medidos a partir de altimetria de satélite, fornecidos pelo analista marinho (<http://www.marine-analyst.eu>), em 10 locais seleccionados no Canal de Moçambique, nomeadamente: Moroni, Pemba, Angoche, Beira, Inhambane, Mayotte e Nosy Be, Cape St. André, Morondava e Toliara.
- Para avaliação preliminar do potencial energético das ondas oceânicas na costa Atlântica de Kenitra_Marrocos foram usados dados de altura significativa e período de ondas Oceânicas *in-situ* da plataforma do analista marítimo. Estes dados foram usados para a elaboração de um artigo científico. A partir deste foi possível avaliar o nível energético das ondas no estuário do rio Sebou_Kenitra em Marrocos em relação ao nível energético de ondas na costa moçambicana.

4.3 Breves considerações sobre os artigos publicados no âmbito desta tese

Detalhadamente tem se a afirmar que nesta tese foram publicados cinco artigos científicos, sendo quatro referentes ao canal de Moçambique e da costa Atlântica com revisão de pares.

O primeiro artigo com o tema “oceano como fonte de energia renovável na África Subsariana: fontes, potencial, sustentabilidade e desafios” baseou-se na informação publicada em artigos científicos e usou dados de África Energy Outlook 2019 para determinar as fontes de energias renováveis e locais com elevado potencial destas energias na África Subsaariana. Posteriormente, foram utilizados três indicadores para aferir a viabilidade técnica e adequação das fontes de energias oceânicas identificadas, nomeadamente: a quantidade de energia que pode ser gerada, disponibilidade e facilidade de implantação da tecnologia na África Subsaariana e proximidade da costa do local para implantação das infraestruturas de captação de energia. Cada indicador foi pontuado, com base no julgamento de especialistas, em uma escala de 1 a 3, onde 1 = Baixo, 2 = Médio e 3 = Alto. A pontuação geral de adequação de cada fonte de energia foi obtida pela soma da pontuação atribuída a cada indicador.

No segundo artigo referente à avaliação preliminar do potencial de energia das ondas perto da costa no Canal de Moçambique foram usados dados semanais de altura significativa e período das ondas, médias diárias, medidos a partir de altímetros de satélite, fornecidos pela Marine Analyst (<http://www.marine-analyst.eu>), e se referem ao período de 29 de Junho de 2019 a 31 de Dezembro de 2021.

O terceiro artigo intitulado “ Algumas Considerações sobre a Aplicação da Energia das Ondas Oceânicas para Bombeamento de Água em Áreas Próximas da Costa no Canal de Moçambique” foi realizado com base nos resultados de energia de ondas nas regiões costeiras do canal de Moçambique. A viabilidade técnica da energia de ondas para o bombeamento de água do mar foi consideranda uma vazão moderada de bombeamento de água até 10 m de altura, de 180 litros por hora e por quilowatt de energia da onda, conforme indicado por Lee *et al.*, (2020), e taxa de produção de água doce no sistema de dessalinização por osmose reversa de 330 litros por hora e por quilowatt, conforme indicado por Viola *et al.* (2016). A eficiência global de absorção de energia de onda dos sistemas de conversão foi fixada em um valor médio de 25% com base nas estimativas de Aderinto & Li (2019). Assim, a vazão bruta de bombeamento de água salgada a 10 m de altura, alimentada pela energia de onda, foi dada pela seguinte equação:

$$\dot{Q}_{10m}[L/hr] = 0.25 \times 180[L/hr/kW] \times P_w[kW/m] \quad [10]$$

Onde $\dot{Q}$ é a taxa de produção de água doce em um sistema de dessalinização por osmose inversa, dada em litros por hora, por metro de largura de onda.

No quarto artigo com o tema “Potencial energético do gradiente de salinidade dos estuários de Moçambique”, o fluxo de energia devido ao gradiente de salinidade foi estimado, com base nos dados de salinidade e descarga dos rios apresentados na Tabela 10, e com base nas seguintes equações, que aplicam a abordagem de análise de energia:

$$P = \rho \times Q \times a_f \quad [11]$$

onde, P [kJ/s] é a potência da energia do sistema, $\rho=1000 \text{ kg m}^{-3}$ é a densidade da água doce do rio, Q [m³/s] é a vazão do rio e a_f [kJ/kg] é a energia do fluxo de água salina, que representa a energia termomecânica e a energia química gerada pelo gradiente de pressão devido a diferenças de temperatura e devido a diferenças nas concentrações de íons no fluxo de água estuarina, respectivamente, conforme descrito por Moran (1989) e Bejan (2006) e aplicado por Haddout *et al.* (2020). A energia do fluxo de água estuarina é dada por Haddout *et al.* (2020) da seguinte forma:

$$a_f = [h - h^*] - T_0[s - s^*] + \sum_{i=1}^n w_i(\mu_i^* - \mu_i) \quad [12]$$

onde h , s , μ e w são a entalpia específica, entropia específica, potencial químico e fração de massa, respectivamente. Assim, os dois primeiros termos da Equação [12] representam a energia termomecânica e o último termo é a energia química. Os subscritos '*' representam as propriedades determinadas à temperatura e pressão ambientais (T_0 , P_0).

O quinto artigo com o tema “Análise do Potencial de Energia das Ondas na Zona Costeira de Kenitra-Atlântico (Marrocos), que serve como anexo, foi feito para se saber o nível energético das ondas no Atlântico. De referir que com este artigo o pesquisador é co-autor. Os dados neste artigo, foram obtidos pela plataforma “Marine Analyst (<http://www.marine-analyst.eu>)”.

4.3.1 Pesquisa Referente à Praia de Xai-Xai

No que se refere à pesquisa referente a Praia de Xai-Xai tem se a afirmar que esta praia situa-se na Latitude 25° 07'S e Longitude 33° 44'E (Figura 6) tem se a dizer que é uma praia de areia,

cercada por um recife. A lagoa interior tem cerca de 2 km de comprimento, 200 m de largura e 3 m de profundidade média (Figura 6). O recife tem cerca de 20m de largura e eleva-se 0,70m acima do nível médio do mar, com lacunas ao longo de sua extensão. As amplitudes das marés variam de 0,5m a 1,5m entre a maré morta e a maré viva (Taskjelle *et al.*, 2014). A altura significativa das ondas do mar está entre 0,75m e 1,5m, dependendo das condições do vento. As ondas na lagoa têm uma altura média de 0,4m e um período de cerca de 12-16 segundos (Christensen *et al.*, 2013). As ondas batem e quebram no recife e derramam água sobre a lagoa da praia, criando uma forte força de gradiente de pressão longitudinal, causando fortes correntes litorâneas em direcção ao norte (Christensen *et al.*, 2013). A maior parte da energia das ondas, cerca de 97%, é dissipada no recife (Hoguane *et al.*, 2019).



Figura 6: Localização da Praia de Xai-Xai, local de estudo.

Neste estudo, foram utilizados dados semanais de média diária de altura significativa e período de onda, medidos a partir de altímetros de satélite, da zona oceânica da Praia de Xai-Xai (Figura 10). Os dados se referem a um período de 2 anos, de Junho de 2019 a Junho a 2021, fornecidos pelo analista marinho (<http://www.marine-analyst.eu>). Estes dados foram calibrados por medições *in situ* usando bóias oceanográficas. Determinou-se o fluxo de energia, o Coeficiente de Variação e o Índice de Variabilidade Sazonal da energia de ondas usados as equações apresentadas na secção 4.3.

4.4 Localização Geografica dos Estuários Avaliados

Os quatro estuários estudados são apresentados na Figura 7, e as coordenadas geográficas da sua localização são apresentadas na Tabela 6. O regime de fluxo dos rios de Moçambique é classificado como torrencial com 60 a 80% do fluxo médio anual ocorrendo durante a estação

chuvosa (Novembro-Março), e permanecendo com vazões baixas durante a estação seca (Abril-Outubro) (Hogwane & van der Meulen, 2010).

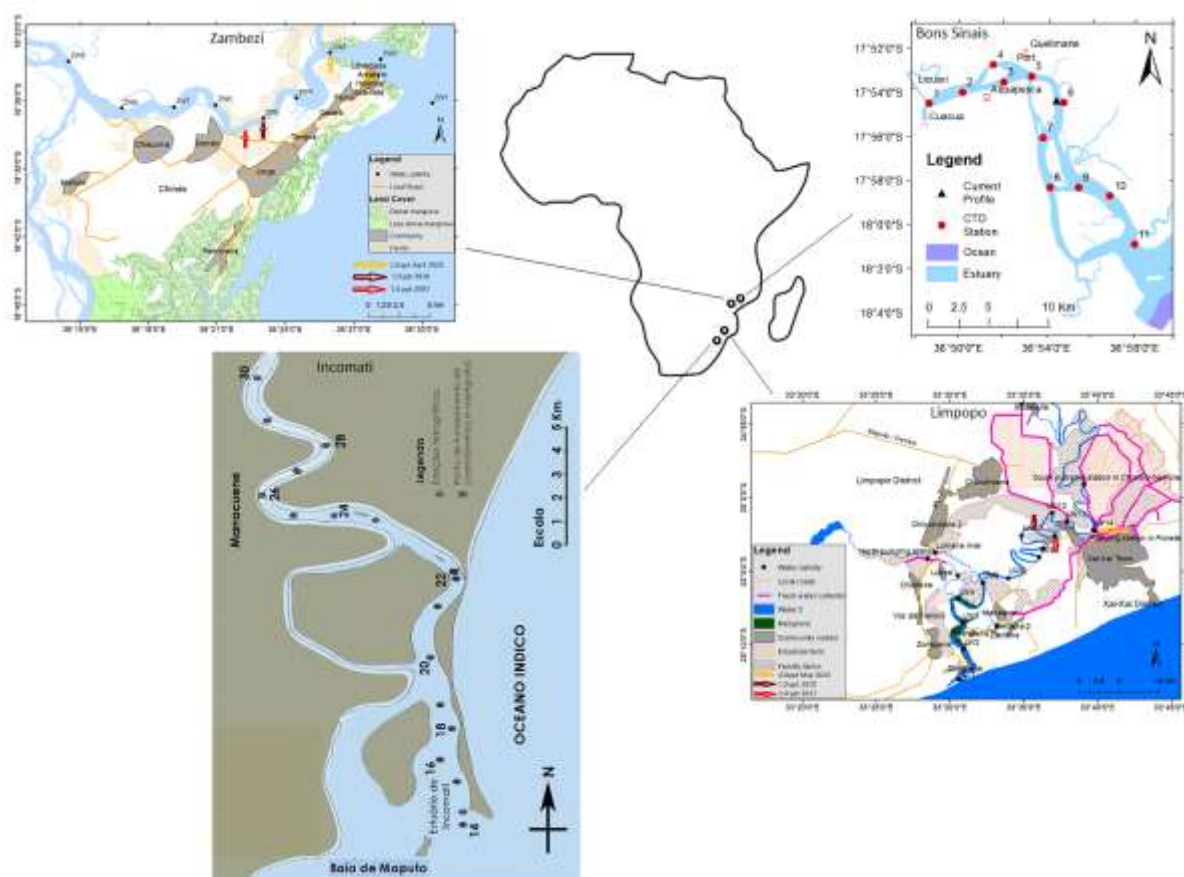


Figura 7: Localização da área de estudo – Estuários de Moçambique.

Tabela 6: Coordenadas de localização dos estuários.

Estuary	Latitude S		Longitude E	
	Initial	Final	Initial	Final
Incomati	25° 40'	25° 55'	32° 40'	32° 50'
Limpopo	25° 05'	25° 10'	33° 30'	33° 40'
Zambezi	18° 33'	18° 36'	36° 24'	36° 30'
Bons Sinais	17° 52'	18° 04'	36° 50'	37° 00'

Para a análise os dados foram organizados em tabelas ou gráficos usando pacotes como Excel, SPSS ou outras ferramentas estatísticas no caso deste trabalho usou-se o Excel.

4.5 Limitações do Estudo

Constituíram limitações do estudo a resolução espacial visto que para a altura significativa a resolução foi de 8300 m x 8300 m, o que significou que não era possível ter dados referentes a

uma zona específica, para ter dados foi necessário que se demarcasse uma área maior, descrita na metodologia pelas coordenadas geográficas, que engloba a zona de interesse. Uma outra limitação foi a falta de dados referentes ao período antes de 2019, sendo assim com a plataforma usada para a altura significativa de onda só foi possível fazer estudo para o período de 2019 até ao presente momento. Sobre gradiente de salinidade foram usados dados históricos feitos esporadicamente. Há falta de dados sistemáticos. Além do exposto, os estudos referentes a energia oceânica são quase inexistentes, este facto fez com que o estudo não tivesse como base comparações com estudos anteriores.

CAPÍTULO V - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A presente tese foi baseada em resultados de artigos científicos, que foram devidamente referenciados ao longo do trabalho, sendo assim apresentam-se resumidamente os resultados de quatro artigos referentes ao canal de Moçambique em anexo. De referir que para além destes quatro, a pesquisa contou também com a publicação de um artigo com o tema “Wave energy potential analysis in the Kenitra-Atlantic coastal area (Morocco)” que pelo facto de referente à costa atlântica fica somente como anexo.

5.1 Fontes, potencialidades, sustentabilidade das Energias Renováveis oceânicas na África Subsaariana

Os resultados apresentados nesta secção foram publicados no Artigo I: **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023) The ocean as a source of renewable energy in sub-Saharan África: sources, potential, sustainability and challenges, International Journal of Sustainable Energy, 42:1, 436-460.DOI: DOI: [10.1080/14786451.2023.2204378](https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2204378).
<https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2204378>

Esta secção apresenta e discute dados e informações sobre fontes de energia oceânica e potencial para os países costeiros da África Subsaariana, extraídos de fontes publicadas e de dados sobre energia da África Energy Outlook 2019, disponíveis através do internet. A ênfase é colocada nas fontes de energia que podem ser aproveitadas perto da costa, em estuários, em mangais e riachos de maré, uma vez que, hipoteticamente, colocariam menos desafios para a implantação e manutenção das respectivas infraestruturas de energia oceânica em comparação com as infraestruturas *offshore*.

Assim, foram compilados e analisados dados relevantes publicados e informações sobre ondas, marés, que incluem correntes de maré, correntes marinhas e gradientes de salinidade ao redor da costa subsaariana, e a viabilidade é discutida com base na viabilidade técnica (Breeze, 2014) e na proximidade da costa. No contexto deste trabalho, a viabilidade técnica engloba a quantidade de energia, a disponibilidade e adequação da tecnologia aos países da África Subsaariana.

5.1.1 Principais fontes de energias oceânicas na África Subsaariana

As principais formas de energia oceânica que podem ser aproveitadas na África Subsaariana são ondas, marés (incluindo correntes de maré), correntes marinhas e gradiente de salinidade

(Castellano *et al.*, 2015; Hammar *et al.*, 2012; Magagna & Uihlein, 2015; UNEP, 2017). O relatório do PNUMA de 2017 sobre os recursos energéticos da África afirmou que as ondas de superfície, as marés e a força das correntes oceânicas, se aproveitadas de forma eficaz, podem gerar energia suficiente para cobrir todas as necessidades de electricidade da África (UNEP, 2017; ESI, 2015). A Figura 8 apresenta os locais potenciais e adequados para a implantação de infraestruturas de energia renovável oceânica na África subsaariana, extraídos de muitas fontes publicadas diferentes (Albergaria, 2010; Canhanga & Dias, 2005; Dei, 2010; Diop, 2010a; Diop, 2010b; Dubi, 2006; Magori, 2008; Ojany, 2010; Orme, 2010; Searson, 1994; Usoro, 2010; Fourie & Johnson, 2017).

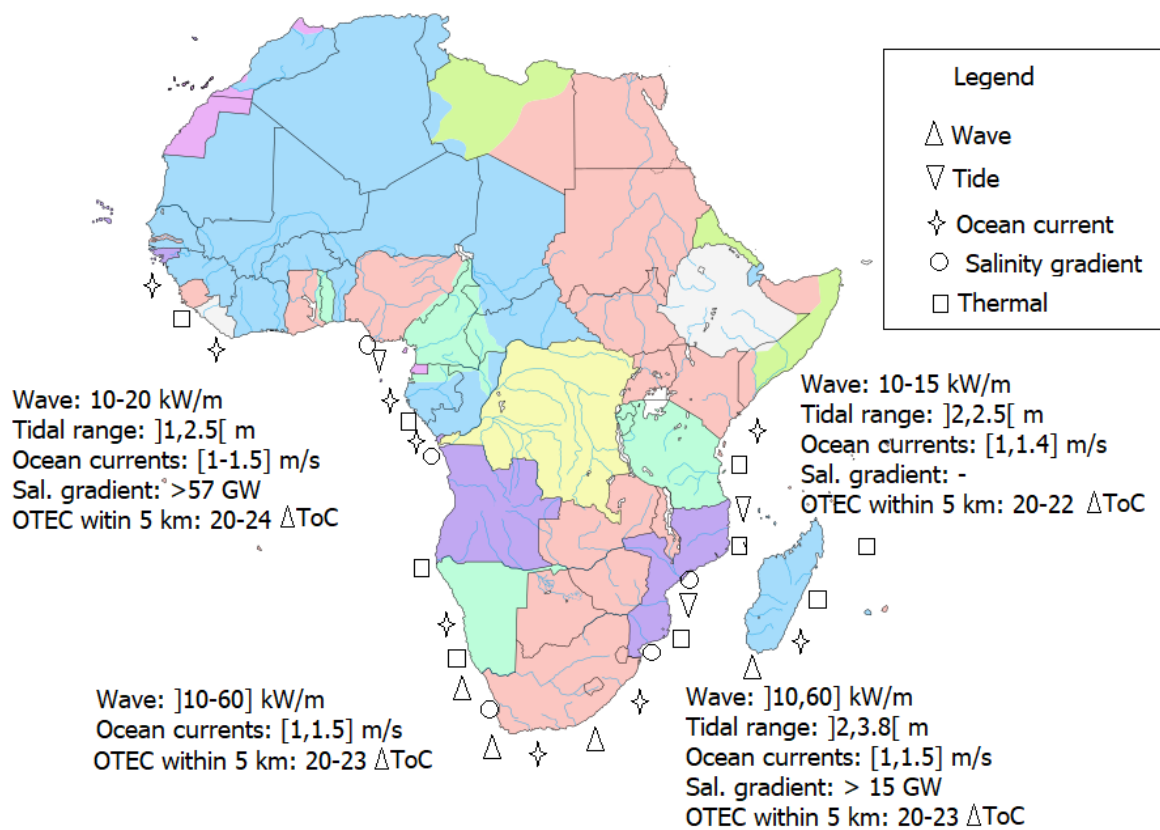


Figura 8: Locais potenciais e adequados para energia renovável oceânica na África subsaariana. Fonte: Sitoe *et al.* (2023), Artigo I.

i. Energia de ondas oceânicas

A África tem um potencial para gerar 3.500 TWh anuais de energia das ondas (Brekken *et al.*, 2009; Qiao *et al.*, 2002). A África Subsaariana tem um potencial estimado de 5-10 kWh/m de energia das ondas, em média. As melhores perspectivas para o desenvolvimento da energia das ondas encontram-se na África Austral, ao longo da costa da África do Sul e desde o sul de Moçambique até à Namíbia, onde as ondas têm uma altura significativa média de 1,7-2,7 m e

um período de onda na ordem dos 5-11 segundos, com estimativas potencial para produzir energia das ondas de cerca de 15-45 kW/m (Banks & Schäffler, 2005). Na verdade, a África do Sul tem algumas das maiores ondas do mundo para a produção de energia (Fourie & Johnson, 2017). Houve iniciativas para implantar uma unidade de energia das ondas de 500MW na África do Sul (ESI, 2015). As outras regiões da África subsariana com considerável poder energético são a África Oriental, desde a costa da Somália até Moçambique (Hammar *et al.*, 2012) e a África Ocidental, desde o Senegal até Camerão, onde a altura significativa das ondas é de 0,53-1,52 m e períodos de 3,06-9,23 segundos, com potencial estimado de energia das ondas de 5-20kW/m (Sadio *et al.*, 2017). O resto da África subsaariana tem um potencial de energia das ondas em média 5-10 kW/m (Fourie & Johnson, 2017; Brekken *et al.*, 2009; Qiao *et al.*, 2020; Banks & Schäffler, 2005; Mørk *et al.*, 2008; Sadio *et al.*, 2017).

Em Madagáscar, na África Oriental, o potencial de energia das ondas foi de 12,86 kW/m Contestabile & Vicinanza, (2018). A avaliação do uso potencial da energia das ondas para produzir água doce a partir de um sistema de dessalinização por osmose reversa, em combinação com a defesa costeira do quebra-mar, foi realizada no nordeste de Madagáscar com resultados encorajadores. A densidade média de energia perto da costa foi estimada em 3,3-9,95 kW/m, com valores baixos em Maio e valores mais altos em Janeiro (Contestabile & Vicinanza, 2018).

Na África Ocidental, estudos conduzidos em Gana indicam que o aproveitamento das ondas oceânicas pode ser desenvolvido para atender as necessidades energéticas de Gana, desde que aproveitado com tecnologia económica e confiável (Aboagye *et al.*, 2021), embora alguns estudos tenham avaliado que o potencial de energia das ondas na África Ocidental é baixa (<1kW/m), ligeiramente acima do pior registo de energia das ondas (UNEP, 1983).

ii. Energia de marés

As marés variam significativamente ao longo da costa africana. Na África Oriental as marés são baixas, com amplitude entre 1,2-1,6m, na maioria dos locais ao longo da costa (UNEP, 1983; Bryden, 2004; Guilcher, 2010). No entanto, em estuários e bocas de maré, devido à co-oscilação, a amplitude das marés pode atingir valores elevados. Por exemplo, no estuário de Geba, na costa norte da Guiné-Bissau, a amplitude média das marés vivas é de 5,1 m, aumentando para 6,4 m em Port Gole, enquanto o resto da costa tem uma amplitude de maré de 2,8 m (Diop, 2010b). A costa da Nigéria exhibe marés moderadas, com amplitude de maré de 2,6 m e 3,0 m nos estuários e 1,9 m nas áreas circundantes (Usoro, 2010). Na África Oriental,

as marés variam de micromarés (0,3-1 m) observadas nas Ilhas Maurício e Reunião, mesotidais (1-2 m) observadas principalmente nas Seychelles, na costa leste de Madagáscar e Rodríguez, a macromarés (acima de 3m) encontradas principalmente na costa continental, nas Comores e na costa ocidental de Madagáscar (Magori, 2008).

Em Moçambique, em particular, as amplitudes médias das marés vivas situam-se entre 3,5 e 4,5 m, aumentando para 5,6 m no centro de Moçambique (Albergaria, 2010; Canhanga & Dias, 2005; Orme, 2010). No Quênia, a amplitude média da maré viva varia entre 2,5 m e 3,6 m, com um máximo de 4,0 m registrado por Kilindini (2010). Na África do Sul, as marés estão tipicamente na faixa de 2-2,5 m (Searson, 1994).

Teoricamente, uma estação de energia das marés é considerada economicamente viável em profundidades de água de 20 a 40 m, com amplitude de maré não inferior a 5 m para uma barragem de maré (Neill, 2018) e velocidades de corrente não inferiores a 2 m/s, para uma turbina de corrente de maré (Jackson & Persoons, 2012; Roberts *et al.*, 2016). No entanto, existem barragens de energia das marés em menos de 5 m de amplitude de maré, por exemplo na Coreia do Sul (em 4,5-4,7 m) (Neill, 2018) e turbinas de corrente de maré com menos de 2 m/s, por exemplo em Marrocos (a 0,9-1,8 m/s) (Alaoui, 2019). Estas funcionam porque a água tem uma densidade elevada, 1000 vezes superior à do ar, o que faz com que as turbinas de maré gerem electricidade a velocidades tão baixas como 1m/s (Jackson & Persoons, 2012).

Com base nesses limiares, os locais com alto potencial de geração de energia das marés na África Subsaariana são Quênia, Tanzânia, Moçambique e Madagáscar, na África Oriental e Gana e Guiné-Bissau, na África Ocidental (Kempener & Neumann, 2014). Esperava-se que Gana comissionasse seu primeiro gerador de energia submarina até Dezembro de 2016 no estuário de Ada, na região da Grande Accra. Uma geração de teste bem-sucedida de 14 MW foi executada em Março de 2015 (Gale-Zoyiku, 2015). Quando estiver em plena operação, a usina produzirá até 1.000 MW (Ouedraogo, 2017; Contestabile & Vicinanza, 2018). Para a África Ocidental (Onundo & Mwema, 2016) estimaram a potência das marés no Quênia em 1,9 GW (16,5 TW/h ano).

iii. Energia de correntes oceânicas

A África Subsaariana tem seis correntes principais de fronteira oceânica, nomeadamente, Corrente da Somália, Corrente de África Oriental, Corrente de Moçambique e Correntes das Agulhas no Oceano Índico Ocidental e Correntes de Benguela e Canárias na África Ocidental,

onde a velocidade da corrente no núcleo varia entre 1 m/s para mais de 2 m/s e, portanto, espera-se que o potencial para a energia das correntes oceânicas seja alto (Fourie & Johnson, 2017). Tais correntes, no entanto, são encontradas em mar aberto, mais distantes da costa, o que pode representar desafios adicionais para sua exploração.

Na região ocidental do Oceano Índico, os locais mais notáveis para a força das correntes oceânicas são ao longo da costa do Quênia, onde as velocidades máximas das correntes registradas foram de 1,2-1,9 m/s (Hammar *et al.*, 2012). Norte de Moçambique, onde foram relatadas velocidades médias de corrente entre 1–1,5 m/s e velocidades máximas acima de 2 m/s (DiMarco *et al.*, 2002; Ullgren *et al.*, 2016). e o estreito Tanzânia–Zanzibar, onde as velocidades das correntes observadas foram de 0,7-1,5 m/s. ao longo da corrente das Agulhas, no sul de Moçambique e na costa leste da África do Sul, onde as velocidades das correntes atingem 1,1-1,7 m/s (Lamont *et al.*, 2016). Além disso, os locais com potencial para energia das correntes oceânicas incluem aqueles com alto potencial para energia das marés, apresentados na secção anterior.

Dubi (2006) estimou a potência da corrente de maré em 133 kW/m para canais com velocidade de 0,5-1,5 m/s, na costa da Tanzânia. Em baías semifechadas, como aquelas estabelecidas por recifes ao longo da costa, as ondas podem acumular água na baía durante as marés altas e criar um gradiente de pressão que pode causar uma corrente rápida e contínua, independentemente das marés (Hoguanne *et al.*, 2019; Taskjelle *et al.*, 2014).

iv. Energia de Gradiente de salinidade

Existem poucos estudos publicados sobre o potencial da energia do gradiente de salinidade na África subsaariana. As estimativas da IRENA (IRENA, 2014a) renderam 2.690 TWh para o potencial teórico e 503 TWh por ano para o potencial técnico da energia do gradiente de salinidade na África. Pawlowski *et al.* (2016) indicaram que a África tem 391 rios com descarga média estimada de 170.294m³/s, e um potencial bruto teórico e técnico estimado de energia de gradiente de salinidade de 311 GW e 190 GW, respectivamente. Segundo Kuleszo *et al.* (2014), a África tem três rios, dois na África subsaariana, classificados entre os 10 maiores rios globais com alto potencial técnico para o poder de salinidade, e estes são o Zaire (57 GW), Nilo (21 GW) e Zambeze (15 GW). GW), e também vários rios com potencial técnico superior a 1 GW.

v. Energia de Gradiente de Temperatura

Os locais com elevado potencial para OTEC no Oceano Índico Ocidental são as Seychelles, Sul de Moçambique com diferenças de temperatura $\Delta T > 22^\circ\text{C}$, Norte de Moçambique, Tanzânia, Quênia, Comores, Madagáscar, Ilhas Maurícias e Reunião com $\Delta T > 20^\circ\text{C}$ num raio de 5 km da costa (Hammar *et al.*, 2012). O potencial estimado de OTEC era de 15-25 kW por metro de costa para o Sul de Moçambique e 25-50 kW/m para o Sul de Madagáscar e África do Sul (Hammar *et al.*, 2012). Na África Oriental, os locais com potencial para OTEC encontram-se ao longo da linha do Equador. Benim e Gana têm $20^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 24^\circ\text{C}$, Gabão e São Tomé $20^\circ\text{C} \leq \Delta T \leq 22^\circ\text{C}$ (Breeze, 2014). Iniciativas para a construção de centrais eléctricas OTEC foram propostas para a Costa do Marfim em 1939, Santa Lúcia em 1983, Ilhas Maurícias em 2005 e Reunião em 2009 (Fourie & Johnson, 2017).

5.2 Potencial de Energia de Ondas Perto das Zonas Costeiras no Canal de Moçambique

Os resultados apresentados nesta secção foram publicados no artigo II: **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023) Preliminary assessment of near-shore wave energy potential in the Mozambique Channel. *Journal of Water and Climate Change* 14 (1): 330–349. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.475>

Nesta secção apresentam-se os resultados do estudo da energia das ondas do mar no Canal de Moçambique, um canal aberto localizado no Oceano Índico Ocidental e orientado norte-sul. Para o efeito foram usados dados semanais, durante o período de 2,5 anos (Junho de 2019 a Dezembro de 2021), de alturas significativas e período de onda, medidos a partir de altímetros de satélite, calibrados por medições de bóias oceanográficas, obtidos do marine-analyst, na web.

O potencial de energia das ondas e a variabilidade das ondas foram analisados em dez locais seleccionados perto da costa ao redor do Canal de Moçambique, e as potenciais aplicações da energia das ondas disponíveis foram discutidas. Os resultados indicaram que o Canal recebe ondas da região extra tropical do Oceano Índico Austral e ondas geradas pelas monções do norte, modificadas por ventos alísios e ciclónicos, que as ondas no Canal de Moçambique são altamente variáveis ($\geq 80\%$), com ondas altas ($1,5-2 \pm 0,8$ m em média), mais longas ($8-20 \pm 1,7$ s, em média) e mais enérgicas ($10-23 \pm 6,3$ kW m⁻¹, em média) ondas encontradas na parte sul do Canal, seguidas por ondas da parte norte do canal ($1,2-1,4 \pm 0,5$ m, $6-8 \pm 1,7$ s, $6-7 \pm 3,9$ kW m

⁻¹, em média), e, finalmente com ondas da parte central do canal, apresentando um clima de ondas de menor energia ($6 \pm 3,2 \text{ kW m}^{-1}$, em média). Picos de ondas altas (até $5 \pm 1,7 \text{ m}$) e ondas de alta energia (até $90 \pm 17,2 \text{ kW m}^{-1}$), atribuídos a condições de tempestade, foram observados durante todo o período de estudo.

Apesar da elevada variabilidade nas características das ondas, a probabilidade de as ondas ultrapassarem os valores limiares (1.6 m para altura significativa de onda e fluxo de energia de 10 kW m^{-1}) para exploração viável para produção de electricidade foram cerca de 61% e 63% para o lado oeste e leste do canal, respectivamente. Assim, o estudo conclui que o sul do Canal de Moçambique tem potencial de energia das ondas, sendo por isso um local recomendado para implantação de dispositivos de extracção de energia para produção de electricidade. Além disso, todo o Canal de Moçambique possui energia das ondas suficiente para outras aplicações, como dessalinização e irrigação. Estudos adicionais devem ser direccionados para o desenvolvimento de aplicações dos recursos das ondas disponíveis e para o desenvolvimento de dispositivos apropriados de captação de energia das ondas para produção de electricidade para corresponder à energia disponível no centro-oeste e norte do Canal de Moçambique, onde a densidade de energia está na média mundial dos oceanos.

i. Estimativas de energia de ondas

A potência da onda ou fluxo de energia da onda por unidade de comprimento da crista (W/m) foi calculada usando a seguinte equação (Semedo *et al.*, 2011; Doorga *et al.*, 2018):

$$P_w = \frac{\rho g^2}{64\pi} H_s^2 T_e \quad [13]$$

onde P_w é a potência da onda, $\rho=1024 \text{ kg m}^{-3}$ é a densidade da água do mar, $g=9,81 \text{ m s}^{-2}$ é a aceleração da gravidade, H_s é a altura significativa da onda em metros e T_e é o período de energia da onda dado em segundos. O período de energia da onda está relacionado ao período de pico da onda pela seguinte fórmula, assumindo uma forma de espectro de onda de Pierson-Moskowitz (Doorga *et al.*, 2018; Sierra *et al.*, 2016):

$$T_e \approx 0.86 T_p \quad [14]$$

Combinando as Equações 13 e 14, e substituindo as constantes, o fluxo de energia da onda por metro de comprimento frontal da crista da onda [kW/m] é dado por Doorga *et al.* (2018):

$$P_w \approx 0.49 H_s^2 T_p \quad [15]$$

Além de estimar o potencial de energia das ondas nos locais, também foi calculada a variabilidade temporal da energia. Os fluxos de energia das ondas estacionárias são preferidos aos regimes de ondas instáveis devido ao facto de serem mais confiáveis e apresentarem maior eficiência, conforme (Rusu & Soares, 2012).

Dois coeficientes propostos por Cornett (2008) e aplicados por Doorga *et al.* (2018) foram empregues para avaliar a variabilidade temporal na potência das ondas para locais seleccionados ao redor da ilha. São eles o Coeficiente de Variação (CV) e o Índice de Variabilidade Sazonal (SV). O CV é obtido através da razão entre o desvio padrão (σ) da série temporal de potência das ondas $[P(t)]$ e a potência média (μ). Um valor menor de CV é preferível para facilitar o dimensionamento de um sistema de conversão de onda e reduzir o possível despejo da energia das ondas convertida. O cálculo é feito por:

$$CV(P) = \frac{\sigma|f(t)|}{\mu|f(t)|} \quad [16]$$

O SV dá uma indicação da variação sazonal que existe dentro do período analisado. É obtido subtraindo a potência média das ondas para as estações de energia mais alta ($P_s(\max)$) e mais baixa ($P_s(\min)$) e dividindo-a pela potência média anual das ondas (P_{ano}). A equação que descreve SV é dada por (Doorga *et al.*, 2018):

$$SV = \frac{P_{S(\max)} - P_{S(\min)}}{P_{year}} \quad [17]$$

Também é interessante a probabilidade de ocorrência de ondas com características acima do limite para captação de energia viável. No presente trabalho, foram estabelecidos valores limite de 1,5 m para altura significativa de onda e fluxo de energia de 10 kW m^{-1} , conforme utilizado por Hammar *et al.* (2012) e Spaulding & Grilli (2010). A probabilidade de ocorrência de ondas acima do nível crítico, assumindo uma distribuição gaussiana, foi determinada pela seguinte relação (Jaynes, 2003):

$$P(x > x_c) = 1 - \Phi\left(\frac{x_c - \mu}{\sigma}\right) \quad [18]$$

onde x é o parâmetro de onda, Φ é a função de densidade de probabilidade da distribuição normal padrão, x_c é o limiar ou nível crítico, e μ e σ são a média e o desvio padrão da variável x , respectivamente.

ii. Distribuição Espaço-Temporal dos Padrões de Energia das Ondas

Os resultados do presente estudo mostraram claramente que as maiores alturas significativas de onda e, portanto, as ondas mais energéticas, dada a estreita correlação entre a altura significativa de onda e o fluxo de energia das ondas, foram observadas na parte sul do Canal. Aqui, as alturas significativas das ondas atingiram $4,5 \pm 0,7$ m uma média de cerca de $2 \pm 0,5$ m. O fluxo médio de energia das ondas foi de $16-22 \pm 5,6$ kW m⁻¹ em Inhambane e Toliara, os locais mais a sul estudados. A abertura norte do Canal também foi caracterizada por ondas energéticas relativamente altas com altura média significativa de onda na faixa de $1,3-1,4 \pm 0,5$ m e atingindo máximos de $3-4 \pm 0,5$ m. O fluxo de energia está na faixa de $7,0-10,5 \pm 5,6$ kW m⁻¹, com pico médio de $40-66 \pm 9,3$ kW m⁻¹.

Estes resultados são consistentes com os achados de estudos anteriores sobre climatologia de ondas em escala global (Semedo *et al.*, 2011; Panagopoulos, 2022a) e especificamente para o Oceano Índico Ocidental (Hammar *et al.*, 2012). As ondas de alta energia na parte sul do Canal são atribuídas ao swell do Oceano Índico Sul Extratropical (Semedo *et al.*, 2011; Lin & Oey, 2020; Colosi *et al.*, 2021; Rossi *et al.*, 2021), enquanto as observadas na parte norte do Canal são atribuídas a ondulações geradas na região do Oceano Índico Sul Tropical (Semedo *et al.*, 2011; Hammar *et al.*, 2012).

A parte central do Canal foi caracterizada por ondas de energia relativamente baixa, provavelmente devido ao facto desta região estar menos exposta ao swell. No entanto, na parte centro-oeste do Canal de Moçambique, na costa de Moçambique, observam-se grandes ondas. Estas têm uma altura de onda significativa média na faixa de $1,6-1,8 \pm 0,5$ m. A altura significativa de onda aqui atinge um máximo de $3,8-4,3 \pm 0,8$ m e o fluxo médio de energia das ondas é de $10,5-11,3 \pm 5,6$ kW m⁻¹ em Angoche e Beira, em comparação com valores de 1 m e $4,5 \pm 0,8$ kW m⁻¹ para Cpe St. André no lado leste central do Canal. Não houve indícios de ondas maiores resultantes da interferência construtiva das ondas no interior do Canal. O aumento da altura e da energia das ondas no lado oeste do Canal pode ser atribuído às ondas Kelvin (Griffiths, 2013).

Os padrões de ondas em todo o Canal de Moçambique exibiram um ciclo sazonal, com grandes ondas ocorrendo durante o período da monção do sul, durante o inverno do Hemisfério Sul, como pode ser visto nos gráficos de séries temporais (Figuras 9 e 10). Este resultado é consistente com estudos anteriores de Colosi *et al.* (2021), que atribuíram as altas ondas observadas no inverno a mudanças sazonais nos padrões de tempestades de alta latitude que geram ondas que se propagam na direcção do equador.

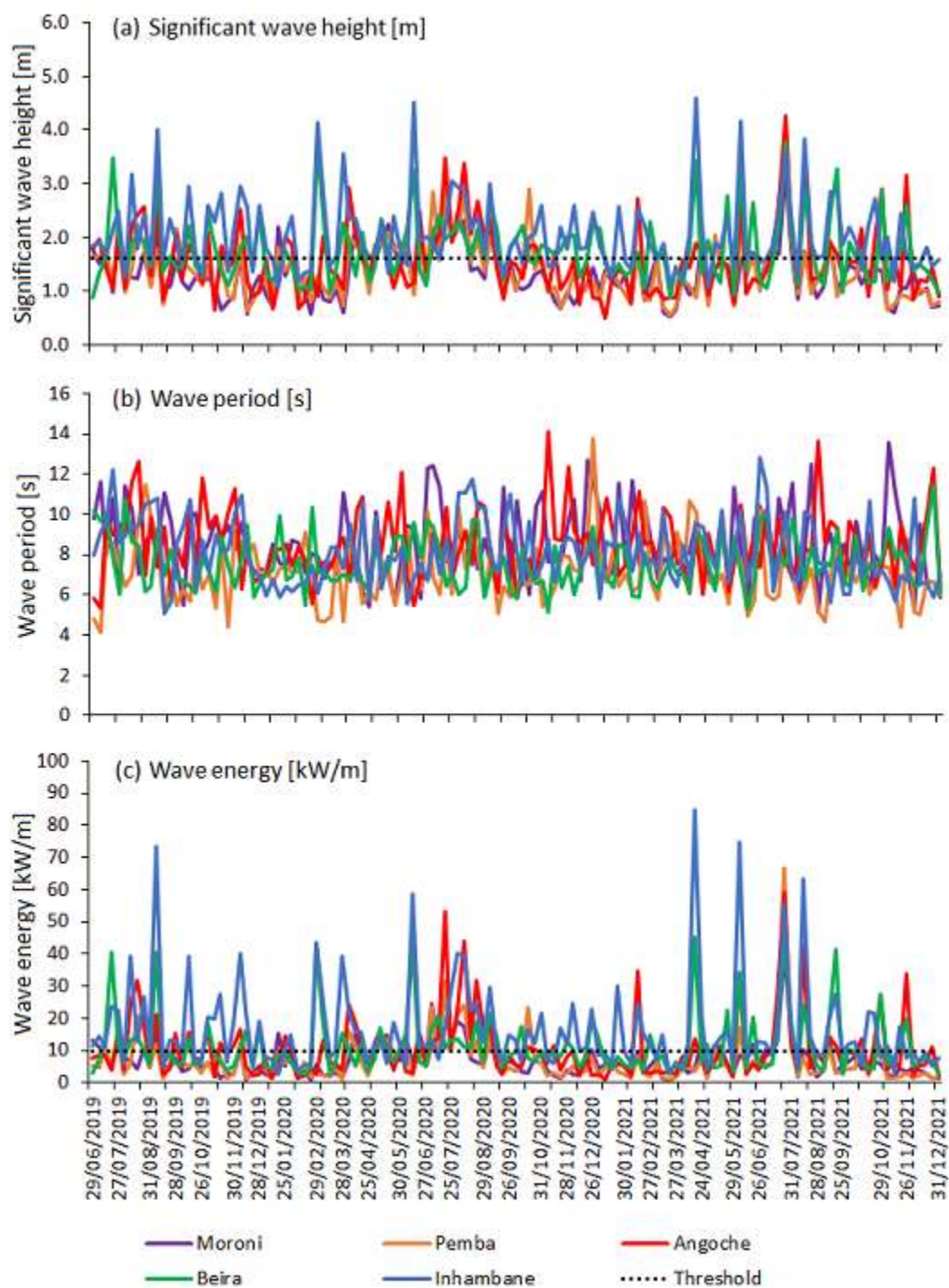


Figura 9: Gráficos de séries temporais de altura significativa de onda, período de onda e fluxo de energia de onda, perto da costa, no lado ocidental do Canal de Moçambique.

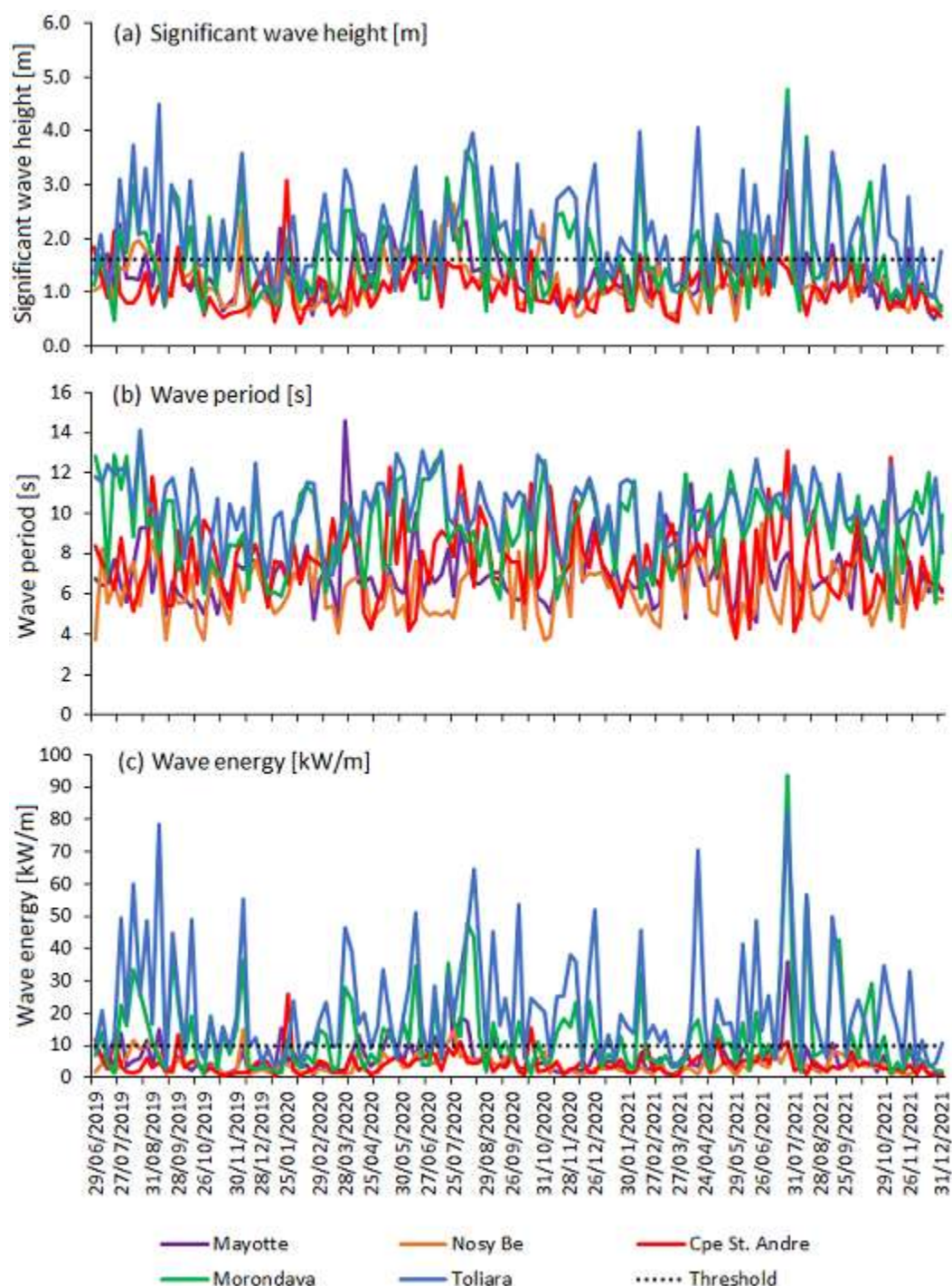


Figura 10: Gráficos de séries temporais de altura significativa de onda, período de onda e fluxo de energia de onda, perto da costa, no lado ocidental do Canal de Moçambique.

iii. Variabilidade da energia das ondas e limite de sustentabilidade

As ondas no Canal de Moçambique são altamente variáveis com uma proporção de variabilidade de 34-47% para a altura significativa das ondas e acima de 70% para a energia das ondas (Tabelas 7 e 8). Esta alta variabilidade pode ser atribuída ao efeito de tempestades e ciclones que frequentemente afectam a região (Matyas, 2015; Muthige *et al.*, 2018). Alta

variabilidade pode afectar a sustentabilidade de qualquer dispositivo de exploração de energia das ondas (Rusu & Soares, 2012). No entanto, os limiares para a exploração viável de ondas para produção de energia de 1,5 m para altura significativa de onda e 10 kW m^{-1} para fluxo de energia, são ultrapassados na maioria das vezes no canal sul de Moçambique. Isso significa que, embora haja alta variabilidade das ondas, geralmente há energia suficiente para gerar electricidade e a parte sul do Canal é adequada para captação de energia das ondas para produção de electricidade. Nas partes centro-oeste e norte do Canal de Moçambique, os limites são excedidos de Julho a Novembro, tornando esses locais adequados para a produção sazonal de electricidade.

Tabela 7: Resumo das estatísticas de altura significativa de onda perto da costa do Canal de Moçambique.

Region	Site	Average [m]	Min [m]	Max [m]	Standard deviation [m]	Mode [m]	Probability for $H_s=1.5$ m [%]	CV [%]	SV	Skweness
Western side	Moroni	1,3	0,5	3,3	0,5	1,6	63	37,3	2,1	1,0
	Pemba	1,4	0,5	4,0	0,6	1,3	63	41,2	2,5	1,3
	Angoche	1,6	0,5	4,3	0,7	1,4	63	42,3	2,4	1,2
	Beira	1,8	0,9	3,8	0,6	1,6	63	35,4	1,6	1,2
	Inhambane	2,1	1,1	4,6	0,7	1,7	62	34,5	1,7	1,4
Eastern side	Mayotte	1,4	0,5	3,3	0,5	1,3	63	37,2	2,0	0,9
	Nosy Be	1,2	0,5	2,7	0,4	1,3	62	36,8	1,8	0,9
	Cpe St.	1,1	0,4	3,1	0,4	1,3	61	37,0	2,4	1,1
	Andre									
	Morondava	1,7	0,5	4,8	0,8	-	63	47,7	2,5	1,1
	Toliara	2,1	0,8	4,5	0,8	2,3	62	39,2	1,7	0,7

Tabela 8: Resumo das estatísticas do fluxo de energia das ondas perto da costa do Canal de Moçambique.

Region	Site	Average [kW/m]	Min [kW/m]	Max [kW/m]	Standard deviation [kW/m]	Mode [kW/m]	Probability of energy=10 kW/m	CV [%]	SV	Skweness
Western side	Moroni	7,0	0,9	40,8	5,6	-	62	80,2	5,7	-
	Pemba	7,0	1,0	66,7	7,6	-	63	108,8	9,4	-
	Angoche	10,5	1,1	59,1	10,1	-	63	96,2	5,5	-
	Beira	11,3	2,5	45,0	9,3	-	63	82,3	3,8	-
	Inhambane	16,7	2,8	84,9	14,5	-	63	86,6	4,9	-
Eastern side	Mayotte	6,1	0,6	36,1	5,2	-	62	85,3	5,8	-
	Nosy Be	4,1	0,3	15,0	2,9	-	60	71,2	3,6	-
	Cpe St.	4,5	0,5	25,7	3,5	-	60	78,2	5,7	-
	Andre									
	Morondava	13,4	1,0	93,6	23,2	-	63	98,7	6,9	-
	Toliara	22,7	3,0	82,5	17,2	-	62	75,7	3,5	-

iv. Energia das ondas disponível e aplicações

Existem muitas aplicações de energia das ondas, incluindo geração de electricidade, dessalinização de água e bombeamento de água. No que diz respeito à produção de electricidade, o limite de viabilidade técnica e económica é definido com base nos dispositivos conversores. A exploração das ondas para produção de electricidade é recomendada em áreas com densidade de energia das ondas $\geq 25 \pm 5,6 \text{ kW m}^{-1}$, Lavidas & Blok, (2021). Tem sido argumentado que recursos moderados de ondas ($< 25 \pm 5,6 \text{ kW m}^{-1}$) podem ser economicamente viáveis se um dispositivo optimizado for empregue (Lavidas & Blok, 2021).

O limite de 10 kW m^{-1} escolhido neste estudo, com base em Hammar *et al.* (2012), garantiria a produção sustentável de electricidade na parte sul do Canal. Mas, com base no argumento de Lavidas & Blok (2021), recomendamos o desenvolvimento de dispositivos apropriados para captação de energia das ondas para produção de electricidade no centro-oeste do Canal de Moçambique, onde a densidade de energia é aproximadamente a média para o oceano (Colosi *et al.*, 2021). Além disso, toda a costa do Canal de Moçambique tem potencial de energia das ondas para dessalinização de água como afirmado por Abd-Elaty *et al.* (2022) e ainda argumentado por Panagopoulos (2022a) e Panagopoulos (2022b) e para bombeamento de água para irrigação, uma vez que estas aplicações são menos exigentes em termos de energia e variabilidade. Tanto a dessalinização quanto a irrigação teriam um impacto positivo significativo na subsistência das pessoas que vivem nas áreas costeiras e no desenvolvimento da área costeira na região, considerando o facto de que mais da metade da população da região vive nas áreas costeiras (Taylor *et al.*, 2019).

5.2.1 Aplicação de energia de ondas na zona costeira do Canal de Moçambique

A Tabela 9 apresenta a estimativa da taxa de bombeamento de água salgada de uma bomba movida a energia de ondas e a taxa de produção de água doce em uma unidade de dessalinização por osmose reversa movida a ondas em função da potência de energia de onda disponível por metro de largura de onda.

A vazão de bombeamento de água do mar, estimada pela Equação 9, variou de $184,5 \pm 130,5$ litros por hora por metro de largura de onda (L/h/m) em Moroni a $1.021,5 \pm 774,9$ L/h/m em Toliara. Altas taxas de bombeamento ($603,0 \pm 1.044,0$ – $1.021,5 \pm 774,9$ L/hr/m) foram observadas na parte sul do Canal de Moçambique em Inhambane, Morondava e Toliara. Baixas taxas de bombeamento ($184,5 \pm 130,5$ – $315,0 \pm 342,0$ L/hr/m) foram observadas na parte norte

do Canal, em Nosy Be, Mayotte, Maroni e Pemba. A parte central do Canal exibia valores médios ($472,5 \pm 454,5$ - $508,5 \pm 418,5$ L/hr/m).

A taxa de produção de água doce em uma unidade de dessalinização por osmose reversa movida a ondas, estimada pela Equação 9, variou de $338,3 \pm 239,3$ - $1.377,8 \pm 1.196,3$ L/hr/m. Altas taxas de produção de água doce ($1.105,5 \pm 1.196,3$ - $1.377,8 \pm 1.196,3$ L/hr/m) foram observadas na parte sul do Canal, em Morondava e em Inhambane. Baixos valores de produção de água doce ($338,3 \pm 239,3$ - $577,5 \pm 627,0$ L/hr/m) foram observados na parte norte do Canal, em Nosy Be, Mayotte, Moroni e Pemba. As taxas de produção de água doce no meio do Canal variaram no intervalo $866,3 \pm 833,3$ - $932,3 \pm 767,3$ L/hr/m) em Angoche e Beira.

Tabela 9: Estimativa do fluxo de energia das ondas, taxa de bombeamento de água salgada e taxas de produção de água doce perto da costa do Canal de Moçambique

Região	Local	Fluxo de energia de onda		Eficiência de absorção de energia de onda [%]	Taxa de bombeamento de água do mar		Taxa de produção de água doce	
		Média [kW/m]	Desvio padrão [kW/m]		Média [L/hr/m]	Desvio padrão [L/hr/m]	Média [L/hr/m]	Desvio padrão [L/hr/m]
Região Ocidental	Moroni	7,0	5,6	25	315,0	252,0	577,5	462,0
	Pemba	7,0	7,6	25	315,0	342,0	577,5	627,0
	Angoche	10,5	10,1	25	472,5	454,5	866,3	833,3
	Beira	11,3	9,3	25	508,5	418,5	932,3	767,3
	Inhambane	16,7	14,5	25	751,5	652,5	1.377,8	1.196,3
Região Oriental	Mayotte	6,1	5,2	25	274,5	234,0	503,3	429,0
	Nosy Be	4,1	2,9	25	184,5	130,5	338,3	239,3
	Cpe St. André	4,5	3,5	25	202,5	157,5	371,3	288,8
	Morondava	13,4	23,2	25	603,0	1.044,0	1.105,5	1.914,0
	Toliara	22,7	17,2	25	1.021,5	774,0	1.872,8	1.419,0

Fonte: Siteo *et al.* (2023)

5.2.2 Aplicação de energia de onda para dessalinização de água do mar

O consumo humano de água, nos países em desenvolvimento, foi estimado em 92 L/capita/dia (Crouch *et al.*, 2021). Pelo que, considerando a produção estimada de água doce através da planta de osmose reversa operada por energia de ondas, apresentada na Tabela 11, pode-se deduzir que uma energia de onda de um metro de largura forneceria água para cerca de 100 a 450 pessoas na região de menor e de maior produção ao de energia de ondas, sendo na regiões norte e sul do Canal, respectivamente. Considerando o potencial de energia de ondas de 100 m de largura, poderia fornecer água para 13.800 a cerca de 45.000 pessoas que vivem em áreas costeiras.

5.3 Considerações Sobre Energia de Ondas no Bombeamento de Água do Mar nas Zonas Costeiras no Canal de Moçambique

Os resultados apresentados nesta secção foram publicados no Artigo IV: **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023). Some Considerations on the Application of Ocean Wave Energy for Water Pumping in Near Shore Areas in Mozambique Channel. In: Haddout, S., Krishnamoorthy Lakshmi, P., Hogueane, A.M. (eds) Climate Change and Ocean Renewable Energy. CCORE 2022. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. CCORE 2022: Climate Change and Ocean Renewable Energy. pp 171–178. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26967-7_14.

Na presente secção usa-se como base os resultados do estudo publicados no artigo II: Sitoe *et al.* (2023b), referente a avaliação preliminar do potencial de energia das ondas perto da costa no Canal de Moçambique, e discute-se o potencial de aplicações da energia das ondas oceânicas disponível na costa de Moçambique, para bombeamento de água e para dessalinização de água.

A eficiência da absorção de energia das ondas foi ajustada para 25%. Os resultados indicaram que a taxa de bombeamento de água salgada variou de $184,5 \pm 130,5$ litros por hora por metro de largura de onda (L/hr/m), e a taxa de produção de água doce em uma unidade de dessalinização por osmose reversa movida a ondas variou de $338,3 \pm 239,3$ a $1.377,8 \pm 1.196,3$ L/hr/m, com valores altos observados na parte sul do canal, e valores baixos foram observados na parte norte do Canal. A água salgada bombeada para reservatórios costeiros pode ser usada para aquacultura interior e minicentrals hídricas e a água doce produzida pode ser usada para beber, saneamento e irrigação, todos com potencial para aumentar a subsistência, geração de renda e economia das áreas costeiras. A captação de energia das ondas de até 100 m de largura renderia 15 toneladas de peixe, 90.000 milhões toneladas de mexilhão por ano e 15 kW de produção de electricidade no sul do Canal e forneceria água potável para 13.800-45.000 pessoas que vivem nas áreas costeiras adjacentes ao Canal de Moçambique.

5.3.1 Viabilidade Técnica de Aplicação de Energia de Ondas no Bombeamento de Água na Zona Costeira do Canal de Moçambique

O estudo foi realizado com base nos resultados de energia de ondas nas regiões costeiras do canal de Moçambique apresentada na Secção 5.2. A viabilidade técnica da energia de ondas para bombeamento de água do mar foi estimada considerando uma vazão moderada de bombeamento de água até 10 m de altura, de 180 litros por hora e por quilowatt de energia da onda, conforme indicado por Lee *et al.* (2020), e taxa de produção de água doce no sistema de

dessalinização por osmose reversa de 330 litros por hora e por quilowatt, conforme indicado por Viola *et al.* (2016). A eficiência global de absorção de energia de onda dos sistemas de conversão foi fixada em um valor médio de 25% com base nas estimativas de Aderinto & Li (2019). Assim, a vazão bruta de bombeamento de água salgada a 10 m de altura, alimentada pela energia de onda, foi dada pela seguinte equação:

$$\dot{Q}_{10m}[L/hr] = 0.25 \times 180[L/hr/kW] \times P_w[kW/m] \quad [19]$$

Onde $\dot{Q}$ é a taxa de produção de água doce em um sistema de dessalinização por osmose inversa, dada em litros por hora, por metro de largura de onda.

5.3.2 Aplicação de água do mar bombeada para Maricultura

A área marinha é grande e a água marinha é abundante e, portanto, oferece enormes potenciais para o desenvolvimento da cultura de espécies marinhas (maricultura) em comparação com as águas interiores da região, mas o custo de maricultura no alto-mar é enorme, o que restringe a comunidade local pobre a aproveitar esses potenciais. Assim, maricultura costeira, com água bombeada, com ou sem recirculação, foi sugerida como uma alternativa viável para a produção de espécies marinhas de alta qualidade e elevado valor comercial em países de baixa renda (Soto & Wurmman, 2018).

A necessidade de água para a produção sustentável em tanques de aquacultura, considerando as perdas por evaporação, percolação e as necessidades de trocas de água, foi estimada em 10,3 m³ /Kg de produção de peixe (Sharma *et al.*, 2012). Assim, considerando o potencial de bombeamento de água salgada estimado na Tabela 11, a parte norte do Canal com menor potencial, um equipamento que bombeia 315 litros de água do mar por hora, e considerando 6 meses de ciclo de produção, possibilitaria uma produção pesqueira sustentável da ordem de 150 kg por energia de onda de um metro de largura de onda. A parte sul do Canal, com maior potencial de energia de ondas, aumentaria as taxas de produção para cerca de 0,5 toneladas por energia de onda de um metro de largura de onda. Assim, a energia de ondas de 100m de largura produziria cerca de 15 toneladas de peixe por ano.

A produção de mexilhão é mais exigente em termos de qualidade e caudal de água. Papadimitriou *et al.* (2021) estimou uma taxa de fluxo de cerca de 5–10 cm/s para uma actividade sustentável de cultura de mexilhão. Considerando a densidade populacional de 4 mexilhões/m³ como a densidade de reprodução óptima sugerida por Geng *et al.* (2022), a parte sul do Canal (para Inhambane e Toliara) é local ideal promover a cultura de mexilhão baseada

na costa. mesmo assim, eles exigiriam uma ampliação do dispositivo para uma série de 15-25 bombas operando com energia de onda de um metro de largura de onda, o que renderia 4 mil mexilhões por ano. Aumentando para um hectare, que renderia 90 mil mexilhões, seriam necessários 2,25 m³ por dia e um sistema que bombearia água salgada a uma taxa de 26 m³/s, ou uma captação de energia de ondas de até 100 m de largura, na região sul do canal.

5.3.3 Aplicação de energia de água do mar bombeada em mini-hídricas

Água do mar bombeada para um reservatório elevado permitiria a produção de electricidade por meio de uma mini-hidroeléctrica. A potência de tal mini-hídrica pode ser calculada pela seguinte equação (Harvey *et al.*, 1993):

$$P = g * Q * H * f_{eff} \quad [20]$$

onde, Potência em kW (P). Vazão em m³ /s (Q). Elevação em m (H). Aceleração devido a gravidade = 9,81 m/s² (g). Factor de eficiência (feff) => 0,4 - 0,7, aqui definido para um valor mínimo. Assim, considerando o bombeamento de água a uma altura manométrica de 10 metros, e vazão de 300 litros/seg (= 0,3 m³/s) teremos uma potência de 15 kW de electricidade. o que exigiria a captação de energia de ondas com largura de onda de 100 m na zona sul do Canal de Moçambique.

5.4 Potencial Energético do Gradiente de Salinidade dos Estuários de Moçambique

Os resultados apresentados nesta secção foram baseados no manuscrito **Sitoe, A.F.**; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023) Salinity gradient energy potential of Mozambique estuaries. Marine Georesources & Geotechnology. Manuscript ID UMG-2023-0088.R1. *In press*, submetido e aceite para publicação na revista “*Marine Georesources & Geotechnology*”.

O presente estudo utilizou dados históricos de perfis longitudinais de temperatura e salinidade e dados de escoamento dos rios em quatro estuários em Moçambique, nomeadamente: o Incomáti e o Limpopo, no sul e o Zambeze e Bons Sinais e no centro de Moçambique, e determinou o potencial teórico da energia do gradiente de salinidade nesses estuários. A energia do gradiente de salinidade extraível, considerando 50% de eficiência de conversão, foi estimada em 422MW, 646MW, 1.400MW e 543 MW para Incomáti, Limpopo, Zambeze e Bons Sinais, respectivamente. O alto potencial é devido ao escoamento do rio. Esta energia poderá beneficiar cerca de 2 milhões de agregados familiares (cerca de 7% da população total

de Moçambique) que vive nas zonas costeiras, onde a electricidade gerada poderá ser utilizada para irrigação e iluminação das casas.

O estuário do Incomáti, localizado entre as latitudes 25° 40'S e 25° 55'S e as longitudes 32° 40'E e 32° 50'E, tem cerca de 25-30 km de extensão, e descarrega em média cerca de 100-200 m³s⁻¹, correspondendo a cerca de 3.600 milhões m³ por ano, para a Baía de Maputo, e daí para oceano (Hoguane & van der Meulen, 2010). Refira-se, no entanto, que há relatos de anos com escoamento inferior a 100 m³s⁻¹, e alguns com escoamento próximo de zero, devido à sobreexploração nas plantações agrícolas a montante. O perfil de salinidade longitudinal durante a estação seca, quando o gradiente de salinidade está no máximo, varia de 35, na foz a 1 próximo ao limite do estuário à montante, com gradiente de salinidade longitudinal médio de 1,2 por quilómetro (Hoguane & António, 2016).

O Estuário do Limpopo, localizado entre as latitudes 25° 05"S e 25° 10"S e as longitudes 33° 30'E e 33° 40'E, tem cerca de 30-40 km de extensão, e descarrega em média cerca de 170-250 m³s⁻¹, para o Oceano Índico (Hoguane & Furaca, resultado não publicado). O perfil de salinidade longitudinal durante a estação seca, quando o gradiente de salinidade é máximo de 35, varia na foz a 1 a 40 km a montante da boca do estuário, dando um gradiente de salinidade longitudinal médio de 0,8 por quilómetro (Hoguane & Furaca, resultado não publicado).

O rio Zambeze é um dos maiores rios da África, drena em média 3.000 m³s⁻¹ para o Oceano Índico, com pouca variação sazonal devido à regulamentação para produção eléctrica através das barragens hidroeléctricas de Kariba e Cabora Bassa (Hoguane & Armando, 2015). Dada a procura de produção de electricidade, o rio escoar bastante água doce mesmo durante a estação seca, a ponto de manter a água do estuário com uma extensão de apenas 10 km, onde a salinidade cai de 35 para zero, dando um gradiente médio de salinidade de 3,5 por quilómetro (Hoguane & Furaca, resultado não publicado).

O Estuário dos Bons Sinais, localizado entre as latitudes 17° 52'S e 18° 04'S e as longitudes 36° 50'E e 37° 00'E, tem cerca de 30-35 km de extensão, e descarrega em média cerca de 140 m³s⁻¹, para o Oceano Índico, Mazzilli, (2015). A salinidade cai de 35 na foz para menos de 1 a cerca de 30 km a montante, dando um gradiente longitudinal de salinidade de 1,2 por quilómetro (Hoguane *et al.*, 2020; Hoguane *et al.*, 2021).

5.4.1 Determinação da Energia de Gradiente de Salinidade

O fluxo de energia devido ao gradiente de salinidade foi estimada, com base nos dados de salinidade e descarga dos rios apresentados na Tabela 10, e com base nas seguintes equações, que aplicam a abordagem de análise de energia:

$$P = \rho \times Q \times a_f \quad [21]$$

onde, P [kJ/s] é a potência da energia do sistema, $\rho=1000 \text{ kg m}^{-3}$ é a densidade da água doce do rio, Q [m^3/s] é a vazão do rio e a_f [kJ/kg] é a energia do fluxo de água salina, que representa a energia termomecânica e a energia química gerada pelo gradiente de pressão devido a diferenças de temperatura e devido a diferenças nas concentrações de íons no fluxo de água estuarina, respectivamente, conforme descrito por Moran (1989) e Bejan (2006) e aplicado por Haddout *et al.* (2020). A energia do fluxo de água estuarina é dada por Haddout *et al.* (2020) da seguinte forma:

$$a_f = [h - h^*] - T_0[s - s^*] + \sum_{i=1}^n w_i(\mu_i^* - \mu_i^0) \quad [22]$$

onde h, s, μ e w são a entalpia específica, entropia específica, potencial químico e fração de massa, respectivamente. Assim, os dois primeiros termos da Equação [22] representam a energia termomecânica e o último termo é a energia química. Os subscritos '*' representam as propriedades determinadas à temperatura e pressão ambientais (T0, P0).

Tabela 10: Dados resumidos de salinidade e descarga superficial dos rios utilizados na estimativa da potência do gradiente de salinidade nos três estuários estudados

Parâmetro	Incomati		Limpopo		Zambezi		Bons Sinais		Situação padrão
	Boca do estuário	À montante	Boca do estuário	À montante	Boca do estuário	À montante	Boca do estuário	À montante	
Descarga [m^3/s]		111		170		3000		143	
Temperatura média [°C]	27,6	28,4			26,8	27,2	29,03	30,04	25
Salinidade média [ppm]	34,8	0,68	34,8	0,68	32,2	0,08	35,2	0,17	
Pressão (mBar)	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325	101,325
Cl ⁻ [ppm]	19,319	0,248	19,154	0,374	17,723	0,044	19,374	0,094	
Na ⁺ [ppm]	10,744	0,138	10,652	0,208	9,856	0,024	10,775	0,052	

5.4.2 Energia de Gradiente de Salinidade nos Estuários de Moçambique

A Tabela 11 apresenta a estimativa do potencial de energia do gradiente de salinidade nos quatro estuários estudados. O Delta do Zambeze apresenta o maior potencial de energia de gradiente de salinidade (2.800 MW), ao qual se atribui o maior escoamento ($3.000 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). A potência mais baixa (843,6 MW) foi obtida no estuário do Incomáti, enquanto no estuário do Limpopo e Bons Sinais a potência estimada foi de 1292,0 MW e 1086,8 MW, respectivamente.

Tabela 11: Potencial de energia do gradiente de salinidade estimado para os três estuários estudados.

Estuário	Power [MW]
Incomati	843,6
Limpopo	1292,0
Zambezi	2800,0
Bons Sinais	1086,8

i. Densidade de energia de gradiente de salinidade

A energia do gradiente de salinidade encontrado nos estuários de Moçambique sujeitos ao presente estudo foi semelhante ao do Estuário de Sebou estimada por Haddout *et al.* (2020) e Baía de Bengala estimada por Sharma *et al.* (2018), com exceção do Zambeze, que foi 1,5 vezes maior ao obtido para a Península de Yucatán (Alcérreca-Huerta *et al.*, 2022) e muito superior ao do rio Strymon, norte da Grécia (Zachopoulos *et al.*, 2022). Além disso, a energia do gradiente de salinidade dos estuários de Moçambique estudados está acima das densidades de potência máxima para sistemas de armazenamento de energia osmótica por electrodiálise, calculada em cerca de 5 Wm^{-2} , a 25°C (Kingsbury *et al.*, 2015; Jalili *et al.*, 2019; Ramon *et al.*, 2011).

ii. Sazonalidade

A estimativa do poder do gradiente de salinidade neste estudo foi baseada no escoamento médio. No entanto, os rios moçambicanos são classificados como torrenciais, o que significa que têm picos de escoamento alto e baixo, que ocorrem durante o verão meridional e o inverno meridional, respectivamente. Consequentemente, espera-se que a potência do gradiente de salinidade exiba variação sazonal como observado em outros lugares com regime de escoamento fluvial semelhante (Alcérreca-Huerta *et al.*, 2022; Zachopoulos *et al.*, 2022). No

caso dos estuários moçambicanos, espera-se que a potência máxima ocorra durante o verão Austral e menor durante o inverno Austral.

Além disso, a intrusão salina, causada pelo efeito combinado da subida do nível do mar e da precipitação reduzida, pode ter um efeito prejudicial na produção de energia de gradiente de salinidade nos estuários moçambicanos, excepto no Zambeze onde o rio é regulado para produção hidroeléctrica e, portanto, seu caudal com menor padrão de variabilidade sazonal. Nos rios Incomáti, Limpopo e Bons Sinais, a intrusão salina foi relatada na ordem de 50-60 km (Hoguane *et al.*, 2021; Hoguane *et al.*, 2020; Hoguane & Meulen, 2010).

iii. Aplicações de energia de gradiente de salinidade

A electricidade gerada a partir da energia de gradiente de salinidade pode ser usada para várias aplicações em áreas costeiras. Algumas das aplicações proeminentes e relevantes para áreas rurais costeiras incluem irrigação e iluminação de casas. Deve-se mencionar que a distribuição de electricidade da rede eléctrica nacional em um ambiente deltaico pode ser desafiadora, pois há muitos braços de rio e áreas pantanosas que dificultam bastante a instalação de postes de energia eléctrica. Além disso, os ciclones têm destruído persistentemente os postes de energia eléctrica, tanto da subtransmissão como das linhas de distribuição (Gargani, 2022). Assim, uma energia gerada localmente pode ser mais barata de instalar, fácil de manter e menos vulnerável a eventos climáticos extremos. e quando ocorrem danos, o conserto pode ser relativamente mais barato.

Considerando uma eficiência energética de 50%, com base nas estimativas de Wang *et al.* (2021) e concepção de energia eléctrica *per capita* de 0,479 MW para Moçambique, conforme estimado por Ritchie *et al.* (2022), o potencial de energia do gradiente de salinidade para os estuários de Moçambique estudados poderia beneficiar até 2 milhões de famílias costeiras de baixa renda, cerca de 7% da população total de Moçambique segundo as estatísticas de 2021, iluminando as suas casas e aplicado para irrigação dos seus campos agrícolas.

5.5 Potencial de Energia de Ondas na Praia de Xai-Xai

Os resultados apresentados nesta secção não foram publicados em revistas científicas, apesar de ter sido o foco inicial do estudo. A razão foi que optou-se por publicar o trabalho sobre o potencial de energia de ondas em toda a costa Moçambicana e no Canal de Moçambique, ao invés de se publicar o estudo apenas sobre a Praia de Xai-Xai.

O estudo usou dados de altura significativa e período de onda, da zona adjacente a Praia de Xai-Xai, obtidos de dados semanais de ondas medidos por satélite, e determina o fluxo de energia das ondas, durante um período de dois anos (Junho 2019 a Junho de 2021). Os resultados mostraram ondas de 1,1 a 4,4 m, com média de 2,1 m e fluxo de energia no intervalo de 20-70 kW/m.

5.6 Soluções Adequadas de Energias Renováveis Oceânicas para África

Subsaariana

As soluções adequadas e, por conseguinte, recomendadas para serem adoptadas na África Subsaariana são apresentadas na Tabela 6. Com relação à quantidade, as ondas pontuam mais no sul da África, na costa da Namíbia e África do Sul, no sul de Moçambique e no sul de Madagáscar (escore = 3). As marés tiveram a pontuação mais elevada desde o centro de Moçambique até ao sul da Tanzânia, onde foi atribuída uma pontuação de 3, e noutros locais a pontuação atribuída variou entre 1 e 2. Fortes correntes oceânicas são observadas nas zonas costeiras de afloramento, como a corrente de Benguela, Golfo, Corrente da Guiné e corrente da Somália. Da mesma forma, grandes gradientes de temperatura da água do oceano também são encontrados nas áreas de ressurgência. Espera-se que o gradiente de salinidade seja mais forte em todos os estuários africanos, particularmente nos estuários do Zambeze, Congo e Níger, onde foi atribuída uma pontuação de 3.

Relativamente à disponibilidade e adequação da tecnologia, a colheita do potencial das marés e da energia cinética emprega tecnologia semelhante ao da barragem fluvial e das turbinas eólicas, respectivamente. Essa tecnologia é bem estabelecida e fácil de implantar e manter (Fourie & Johnson, 2017; Bryden, 2004). Foi atribuída uma pontuação de 3. Além disso, minibarragens de maré podem ser estabelecidas em riachos de maré e manguezais, usando sistemas simples de bloqueio de água que encham os reservatórios de água durante a maré alta das marés vivas e geram electricidade durante a maré vazante (Neill, 2018). Da mesma forma, a colheita de energia de gradiente de salinidade para geração de electricidade emprega tecnologia simples e acessível. Por outro lado, os sistemas OTEC são novos e pouco desenvolvidos e a tecnologia de extracção de energia das ondas é bastante complexa e exigente (Rusu & Onea, 2018). Eles receberam uma pontuação de 1 cada nos indicadores de disponibilidade e facilidade de implantação.

No que diz respeito ao indicador “proximidade da costa”, tanto as infraestruturas de energia das marés como do gradiente de salinidade têm a vantagem de estarem instaladas na costa o

que também facilita a sua manutenção. Assim, o indicador “proximidade da costa” recebeu a pontuação 3. Por outro lado, os sistemas de correntes oceânicas, OTEC e conversão de energia das ondas precisam ser instalados *offshore*, portanto, receberam pontuação 1, cada, em relação à localização. O resultado da pontuação (Tabela 12) sugere que a potência do gradiente de salinidade e de minibarragens de marés são as opções tecnológicas ideais para a exploração de energia renovável oceânica na África Subsaariana. A energia das ondas, já explorada na África do Sul, vem em terceiro lugar. Os demais ainda estão em estágio inicial de desenvolvimento mundial e levará algum tempo até que sejam desenvolvidos para aplicações comerciais (Hasan & Dincer, 2020; Li *et al.*, 2018; Liu, 2018).

Tabela 12: Adequação da energia oceânica na África Subsaariana

Recurso Energeticco	Magnitude	Adequacao tecnologica		Proximidade da costa	Total	Localização sugerida
		Disponibilidade	Facilidade de implantação			
Onda	3	2	1	2	8	África Austral
Maré	2	3	3	3	11	África Oriental e Occidental
Corrente oceânica	1	1	1	1	4	Somália, África Occidental
Gradiente de salinidade	3	2	3	3	11	Nigeria, Congo, Mozambique
Energia térmica	1	1	1	1	4	Somália, África Occidental

Fonte: Site *et al.* (2023), Artigo I.

CAPÍTULO VI – CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 Principais resultados do estudo específicos para cada pergunta de pesquisa

Com base nos problemas identificados, os principais resultados do estudo específicos para cada questão de pesquisa são apresentados como se segue:

Quais as principais fontes de energias oceânicas que potencialmente podem ser explorados na costa moçambicana, em geral, e na zona costeira do Canal de Moçambique?

O estudo conclui que as principais fontes de energias renováveis do mar que potencialmente podem ser exploradas na costa de Moçambique e no Canal de Moçambique são: energia de ondas, energia de marés, energia de gradiente de salinidade e energia de correntes oceânicas. As energias de ondas apresentam um potencial elevado na África Austral, ao longo da costa da África do Sul até a zona sul do canal de Moçambique, abrangendo a zona sul de Moçambique e sul de Madagáscar, onde as ondas têm uma altura significativa média de 1,7-2,7 m e um período de onda na ordem dos 5-11 segundos, com estimativas de potencial para produzir energia de ondas de cerca de 15-45 kW/m. A seguir é a energia de marés onde a zona central da costa de Moçambique apresenta maior potencial, com as amplitudes médias das marés vivas situarem-se entre 4,5 m e 5,6 m. O gradiente de salinidade é outra fonte de energia renováveis do mar com elevado potencial na costa de Moçambique, onde a energia extraível, considerando 50% de eficiência de conversão, foi estimada em 422MW, 646MW, 1.400MW e 543 MW para Incomáti, Limpopo, Zambeze e Bons Sinais, respectivamente. A energia de correntes oceânicas apresentou maior potencial na zona costeira central de Moçambique, associado às correntes de marés com velocidades entre 1–1,5 m/s e velocidades máximas acima de 2 m/s.

Que nível de viabilidade do aproveitamento das fontes de energia renováveis oceânicas no contexto moçambicano?

A viabilidade do aproveitamento das energias renováveis do mar foi estabelecida tendo em conta a viabilidade técnica e na proximidade da costa. No contexto deste trabalho, a viabilidade técnica engloba a quantidade de energia e a disponibilidade, e adequação da tecnologia aos países da África Subsaariana. Com base nesse critério o estudo conclui que mini-hídricas de energia das marés e energia de gradiente de salinidade são as fontes de energia oceânica mais adequadas para o desenvolvimento costeiro. Mais ainda, o estudo conclui que a energia das ondas pode ser explorada com dispositivos de baixa tecnologia e baixo custo, podendo ser aplicado para o bombeamento de água oceânica para reservatórios nas zonas costeiras, de onde a água bombeada poderia ser usada para maricultura ou para funcionamento de minibarragens.

e dessa forma, contribuir significativamente para a melhoria da subsistência, rendimento familiar e economia das populações que vivem nas zonas costeiras.

Será que o potencial energético das ondas oceânicas perto da costa no Canal de Moçambique é favorável à conversão de energia em electricidade e se poderá satisfazer a demanda em termos de energia?

O Canal de Moçambique recebe ondas da região extra tropical do Oceano Índico Austral e ondas geradas pelas monções do norte, modificadas por ventos alísios e ciclónicos, que as ondas no Canal de Moçambique são altamente variáveis ($\geq 80\%$), com ondas altas ($1,5\text{-}2\pm 0,8$ m em média), mais longas ($8\text{-}20\pm 1,7$ s, em média) e mais enérgicas ($10\text{-}23 \pm 6,3$ kW m⁻¹, em média) ondas encontradas na parte sul do Canal, seguidas por ondas da parte norte do canal ($1,2\text{-}1,4\pm 0,5$ m, $6\text{-}8\pm 1,7$ s, $6\text{-}7\pm 3,9$ kW m⁻¹, em média), e, finalmente com ondas da parte central do canal, apresentando um clima de ondas de menor energia ($6 \pm 3,2$ kW m⁻¹, em média). Picos de ondas altas (até $5\pm 1,7$ m) e ondas de alta energia (até $90\pm 17,2$ kW m⁻¹), atribuídos as condições de tempestade, foram observados durante todo o período de estudo.

No entanto, o clima de ondas revelou-se altamente variável ($\geq 80\%$), com o limiar mínimo de altura significativa de onda (1,5 m) e fluxo de energia das ondas (10 kW m⁻¹) para geração de electricidade atingido e ultrapassado com uma probabilidade de 61-63%, o que torna a aplicação da energia das ondas para produção directa de electricidade pouco confiável. Não obstante o facto de o Canal de Moçambique ser partilhado maioritariamente por países de baixo rendimento que não podem pagar alta tecnologia e dispositivos dispendiosos. Assim, o estudo sugere a exploração das aplicações dos recursos de energia das ondas para dessalinização e bombeamento de água, com potencial para melhorar a subsistência de muitas pessoas que vivem em áreas costeiras.

Que aplicações de energia das ondas do mar são viáveis para as zonas costeiras moçambicanas?

Face aos elevados custos de tecnologias convencionais de conversão de energias de ondas em energia eléctrica, e considerando o nível de desenvolvimento de Moçambique, o estudo sugere a exploração de energia de ondas usando dispositivos de baixa tecnologia e baixo custo no bombeamento de água oceânica para reservatórios nas zonas costeiras, em que a água bombeada poderia ser usada para maricultura ou para funcionamento de minibarragens. e dessa forma, contribuir significativamente para a melhoria da subsistência, rendimento familiar e economia para as populações que vivem nas zonas costeiras.

Que nível de viabilidade do aproveitamento de energia oceânica de gradiente de salinidade na produção de electricidade na zona costeira de Moçambique?

A energia de gradiente de salinidade poderia ser usada para dessalinização da água do mar e para geração de energia eléctrica via electrodiálise. A energia do gradiente de salinidade extraível, considerando 50% de eficiência de conversão, foi estimada em 422MW, 646MW, 1.400MW e 543 MW para Incomáti, Limpopo, Zambeze e Bons Sinais, respectivamente. Esta energia poderá beneficiar cerca de 2 milhões de agregados familiares (cerca de 7% da população total de Moçambique) que vivem nas zonas costeiras, onde a electricidade gerada poderá ser utilizada para irrigação e iluminação das casas.

6.2 Conclusões

A presente pesquisa constatou e reafirmou que a produção e o consumo de energia na África subsaariana são actualmente baixos, porém a demanda é alta e espera-se que aumente no futuro, à medida que a população e a economia crescem; reafirmou que actualmente as principais fontes de energia são os combustíveis fósseis e a biomassa; prognostica que o aumento projectado na demanda de energia excederá os recursos de combustíveis fósseis, apesar das novas descobertas de petróleo e gás na região de África subsaariana.

Com base nisso a pesquisa estabelece que as energias renováveis são a forma viável de satisfazer a crescente procura de energia, nomeadamente no que diz respeito à electrificação rural, e ao mesmo tempo, abordar a mitigação das alterações climáticas.

Das energias renováveis oceanicas, a pesquisa identifica as fontes de energia de corrente de marés e a energia do gradiente de salinidade, como sistemas ideais de aproveitamento costeiros, tendo em conta os custos de instalação e manutenção, como potenciais fontes de energia viáveis para suprir a demanda de energia para a electrificação rural e no desenvolvimento da zona costeira; e observou que a energia das ondas, ainda que explorada com tecnologias de baixo custo, pode contribuir significativamente para a melhoria da subsistência, rendimento familiar e economia das populações que vivem nas zonas costeiras.

Dada a intermitência das energias renováveis, o estudo propõe a consideração de sistemas híbridos envolvendo correntes de maré, energia eólica e solar para combinar fontes de energia terrestres e oceânicas e garantir a geração contínua de energia.

6.3 Recomendações

Recomenda-se que os esforços sejam direccionados para a capacitação de recursos humanos, inovação tecnológica, desenvolvimento de parcerias mutuamente benéficas e atracção de investimentos. Os subsídios à energia baseada em combustíveis fósseis devem ser gradualmente reduzidos a favor do apoio às energias renováveis. Apela-se ao envolvimento das comunidades e de outras partes envolvidas e interessadas em todos os estágios do desenvolvimento de energias renováveis oceânicas de modo a garantir a aceitação e apropriação dessas novas tecnologias.

No que diz respeito a aplicação da energia de ondas, o estudo recomenda a aplicação desta fonte de energia para o bombeamento da água do mar para uma elevação ou para uma barragem na costa. A água bombeada pode ser usada na maricultura e a bombeada para uma barragem pode ser usada para geração de energia eléctrica em mini-hidroelétricas.

No que diz respeito a aplicação de energia de gradiente de salinidade, o estudo observou que o elevado potencial desta forma de energia nos estuários moçambicanos é devido ao elevado escoamento dos rios, e que é realçado no período chuvoso, e sugere que o melhor aproveitamento da energia do gradiente de salinidade na costa moçambicana seria na dessalinização de água, por esta aplicação envolver tecnologias relativamente acessíveis.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abd-Elaty, I.; Kushwaha, N.L.; Grismer, M.E.; Elbeltagi, A.; Alban Kuriqi, A. (2022) Cost-effective management measures for coastal aquifers affected by saltwater intrusion and climate change. *Science of The Total Environment*, 836: 155656.
2. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.155656>.
3. Abdullah, C.; Kaidi, H.M.; Sarip, S.; Shafie, N. (2021) Small scale standalone solar and tidal hybrid power system in isolated area. *Renewable Energy Focus*, 39:59-71. <https://doi.org/10.1016/j.ref.2021.07.010>.
4. Aboagye, B.; Gyamfi, S.; Ofosu, E.A.; Djordjevic, S. (2021) Status of renewable energy resources for electricity supply in Ghana. *Scientific African*, 11:e00660.
5. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00660>, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2468227620303963>.
6. Adams, S. & Asante, W. (2020) Politics of Renewable Energy in Africa: Nature, Prospects, and Challenges. In: Sabban A. *Innovation in Global Green Technologies*, IntechOpen.doi: 10.5772/intechopen.89019. Available at: <https://www.intechopen.com/chapters/68969>
7. Aderinto, T. & Li, H. (2019) Review on Power Performance and Efficiency of Wave Energy Converters. *Energies*. 12: 4329. DOI: 10.3390/en12224329.
8. African Development Bank Group (2011) Republic of Mozambique: Country strategy paper 2011-2015.
9. Alaoui, C. (2019) Review and assessment of offshore renewable energy resources in morocco' coastline. *Cogent Engineering*, 6(1):1654659.
10. <https://doi.org/10.1080/23311916.2019.1654659>.
11. Albergaria, M.M. (2010) Mozambique. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_179.
12. Alcérreca-Huerta, A.C.; Callejas-Jiménez M.E.; Carrillo L. (2022) Small-scale energy potential from salinity gradients at a transboundary riverine estuary in the Yucatán

- Peninsula. *Cleaner Engineering and Technology*, 11: 100562. <https://doi.org/10.1016/j.clet.2022.100562>.
13. Altaee, A. & Cipolina, A. 2019 Modelling and optimization of modular system for power generation from a salinity gradient. *Renewable Energy*, 141,139-147.
 14. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.03.138>.
 15. Antwi, S.H. & Ley, D. (2021) Renewable energy project implementation in Africa: Ensuring sustainability through community acceptability. *Scientific African*, 11:e00679. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00679>.
 16. Associação Lusófona de Energias Renováveis, ENERGIAS RENOVÁVEIS EM MOÇAMBIQUE RELATÓRIO NACIONAL DO PONTO DE SITUAÇÃO / Outubro 2017 SEGUNDA EDIÇÃO Disponível em https://www.aler-renovaveis.org/contents/lerpublication/aler_2017_oct_relatorio-nacional-ponto-situacao-renovaveis-em-mocambique.pdf. Acesso 17.05.2023
 17. Avila, N.; Carvalho, J.P.; Shaw, B. Kammen, D.M. (2017) O desafio energético na África subsariana: Guia para defensores e decisores políticos, Parte I: Produção de energia para um desenvolvimento sustentável e equitativo, Série de compactos de informação da Oxfam. <https://www.oxfamamerica.org/static/media/files/oxfam-RAEL-energySSA-pt1-port.pdf>https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/ocean_energy_pt. 18.12.2020.
 18. Ayompe, L.M.; Davis, S.J.; Egoh, B.N. (2020) Trends and drivers of African fossil fuel CO₂ emissions 1990–2017. *Environmental Research Letters*, 15(12):124039. doi: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/abc64f>.
 19. Badcock-Broe, A.; Flynn, R.; George, S.; Gruet, R.; Medic, N. (2014) Wave and tidal energy market deployment strategy for Europe. In Strategic Initiative for Ocean Energy (SI Ocean). <http://www.si-ocean.eu/en/Market-Deployment/MarketDeployment-Strategy>.
 20. Bahaj, A.S. (2011) Generating electricity from the oceans. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(7): 3399-3416. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.04.032>.
 21. Banks, D. & Schäffler, J. (2005) The Potential Contribution of Renewable Energy in South Africa, *Earth life Africa*, Johannesburg, South Africa. p. 117.

22. Bejan, A. (2006). Advanced engineering thermodynamics. John Wiley & Sons.
23. Belletti, E & McBride, M. (2021) Against the Tide: Potential for Marine Renewable Energy in Eastern and Southern Africa. *Consilience*, 23:1-14. <https://www.jstor.org/stable/26979902>
24. Benmohammadi, A.; Griboulard, R.; Zourarah, B.; Carruesco, C.; Mehdi, K.; Mridekh, A.; El Moussaoui, A.; Mhamdi Alaoui, M.; Carbonel, P.; Londeix L. (2007) Hyperactive neotectonic near the South Rifian frontlifted late Quaternary lagunal deposit (Atlantic Morocco): *Comptes Rendus Geosciences*, 39(13), 831-839.
25. Bishoge, O.K.; Kombe, K.K.; Mvile, B.N. (2020) Renewable energy for sustainable development in sub-Saharan African countries: Challenges and way forward. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, 12(5):052702. doi:10.1063/5.0009297. <https://doi.org/10.1063/5.0009297>.
26. Blimpo, M.P. & Cosgrove-Davies, M. (2019) Electricity Access in Sub-Saharan Africa: Uptake, Reliability, and Complementary Factors for Economic Impact. Africa Development Forum series. Washington, DC: World Bank. doi:10.1596/978-1-4648-1361-0.
27. Breeze, P. (2014) Chapter 14 - Marine Power Generation Technologies. In: Editor(s): Breeze P, editor. *Power Generation Technologies (Second Edition)*, Newnes. 2014, p. 287-311. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-098330-1.00014-4>.
28. Brekken, T.K.; von Jouanne, A.; Han, H.Y. (2009) Ocean wave energy overview and research at Bryden, I.G. (2004) Tidal Energy. In: Cleveland CJ, editors. *Encyclopedia of Energy*. p. 139-150. <https://doi.org/10.1016/B0-12-176480-X/00342-9>.
29. Burke, P.J.; Stern, D.I.; Bruns, S.B. (2018) The Impact of Electricity on Economic Development: A Macroeconomic Perspective. *International Review of Environmental and Resource Economics*.12(1):85-127. doi: [10.1561/101.00000101](https://doi.org/10.1561/101.00000101)
30. Calliari, L.J & Castello, X. (2017), *Introdução às Ciências do Mar*, Pelotas: Ed. Textos, 2017, ISBN: 978-85-68539-00-2
31. Canhanga, S. & Dias, J.M. (2005) Tidal characteristics of Maputo Bay, Mozambique. *Journal of Marine Systems*, 58(3-4):83-97. doi:

32. [10.1016/j.jmarsys.2005.08.001](https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.08.001).<https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2005.08.001>.
33. Castellano, A.; Kendall, A.; Nikomarov, M.; Swemmer, T. (2015) Brighter Africa: The growth potential of the sub-Saharan electricity sector, McKinsey Report.
34. <http://www.mckinsey.com/industries/electricpower-and-natural-gas/our-insights/powering-africa>.
35. Carbonnier, G. & Grinevald, J. (2011) Energy and Development, International Development Policy, Revue internationale de politique de développement 2. 2011. <http://journals.openedition.org/poldev/724>.
36. Chen, Y.; Alanezi, A.; Zhou, J.; Altaee A.; Shaheed, M. (2019) Optimization of module pressure retarded osmosis membrane for maximum energy extraction. *Journal of Water Process Engineering*, 32,100935. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2019.100935>.
37. Clement, A.; McCullen, P.; Falcao, A.; Fiorentino, A.; Gardner, F.; Hammarlund, K.; Lemonis, G.; Lewis, T.; Nielsen, K.; Petroncini, S.; Pontes, M.T.; Schild, P.; Sjöström, B.O.; Sørensen, H.C.; Thorpe, T. (2002); Wave energy in Europe: current status and perspectives, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 6:405-431. DOI: 10.1016/s1364-0321(02)00009-6. Retrieved from: https://energiatalgud.ee/img_auth.php/6/6e/Clement%2C_A._Wave_Energy_in_Europe_-_current_status_and_perspectives._2002.pdf.
38. Colmenares-Quintero, R.F.; Benavides-Castillo, J.M.; Rojas, N.; Stansfield, K.E. (2020) Community perceptions, beliefs and acceptability of renewable energies projects: A systematic mapping study. *Cogent Psychology*, 7(1). doi: [10.1080/23311908.2020.1715534](https://doi.org/10.1080/23311908.2020.1715534).
39. Colosi, L.V.; Villas Bôas, AB.; Gille, S.T. (2021) The Seasonal Cycle of Significant Wave Height in the Ocean: Local Versus Remote Forcing. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 126(8):e2021JC017198. <https://doi.org/10.1029/2021JC017198>
40. Contestabile, P. & Vicinanza, D. (2018) Coastal Defence Integrating Wave-Energy-Based Desalination: A Case Study in Madagascar. *Journal of Marine Science and Engineering*, 6(2):64. <https://doi.org/10.3390/jmse6020064>.

41. Cho, C.; Yang, L.; Chu, Y.; Yang, H. (2013) Renewable energy and renewable R&D in EU countries. *Cointegrat. Anal*, 2 (1):10e16.
42. Christensen, K.H.; Breivik, Ø.; Gammelsrød, T.; Hogueane, A.M.; Noca B. Furaca da Silva, N.B.F.; Taskjelle, T.; Manuel V. Poio, M.V. (2013) - Waves and dangerous currents at Xai-Xai Beach, Mozambique. Norwegian Meteorological Institute, Institute Technical Report Series, No 17/2013, p21, (ISSN: 1503-8025). Available on the web page:
https://www.researchgate.net/publication/265865041_Waves_and_dangerous_currents_at_Xai-Xai_Beach_Mozambique
43. Cornett, A.M.A. (2008) Global Wave Energy Resource Assessment. Ottawa: Canadian Hydraulic Centre. The Proceedings of the Eighteenth (2008) International Offshore and Polar Engineering Conference: Vancouver, Canada, July 6-11. Paper No. ISOPE-2008-TPC-579.
44. Crouch, M.L.; Jacobs, H.E.; Speight, V.L. (2021) Defining domestic water consumption based on personal water use activities. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*, 70 (7): 1002–1011. DOI: <https://doi.org/10.2166/aqua.2021.056>.
45. Cruz, J. (2007) Ocean Wave Energy: Current Status and Future Perspectives. [Green Energy and Technology](#). XI, 431p. Cruz, J ed, Springer Berlin, Heidelberg, ISBN : 978-3-540-74894-6. DOI: [10.1007/978-3-540-74895-3](https://doi.org/10.1007/978-3-540-74895-3).
46. Cruz, J. & Sarmento, A. (2004) Energia das Ondas: introdução aos aspectos tecnológicos económicos e ambientais. Instituto do Ambiente Ed. Centro de Recursos do CMIA, Lisboa. <https://ambiente.cm-viana-castelo.pt/biblioteca/tema/energia>.
47. Daka, K.R. & Ballet, J. (2011) Children's education and home electrification: A case study in northwestern Madagascar. *Energy Policy*, 39(5):2866-2874. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.02.060>.
48. Dei, L. (2010) Ghana. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_169.

49. DiMarco, S.F.; Chapman, P.; Nowlin, W.D.J.; Hacker, P.; Donohue, K.; Luther, M., *et al.* (2002) Volume transport and property distributions of the Mozambique Channel. *Deep-Sea Research II*, 49:1481–11.
 50. Dinkelman, T. (2011) The Effects of Rural Electrification on Employment: New Evidence from South Africa. *American Economic Review*, 101(7):3078-3108. doi: 10.1257/aer.101.7.3078.
 51. Diop, E.S. (2010a) Liberia. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*. Springer, Dordrecht, 2010a. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_167.
 52. Diop, E.S. (2010b) Guinea Bissau. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_164.
 53. Devine-Wright, P.; Batel, S.; Aas, O.; Sovacool, B.; Labelle, M.C.; Ruud, A. (2017) A conceptual framework for understanding the social acceptance of energy infrastructure: insights from energy storage. *Energy Policy*, 107:27–31. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2017.04.020>.
 54. Doorga, J.R.S.; Chinta, D.; Gooroochurn, O.; Rawat, A.; Ramchandur, V.; Motah, B.A.; Sunassee, S.; Samyan, C. (2018) Assessment of the wave potential at selected hydrology and coastal environments around a tropical island, case study: Mauritius. *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 9:135–153. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0259-7>.
 55. Drew, B.; Plummer, A.R.; Sahinkaya, M.N. (2009) A review of wave energy converter technology. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part A: J. Power Energy*, 223: 887–902, <https://doi.org/10.1243/09576509jpe782>.
 56. Dubi, A.M. (2006) Tidal Potential in the submerged channels of Dra-es-Salaam coastal waters. *Western Indian Ocean Journal of Marine Sciences*, 5(1):95-104
 57. Dubrawski, K.; Wang, W.; Xu, J.; Criddle, C. (2020) Harnessing salinity gradient energy in coastal stormwater runoff to reduce pathogen loading. *Environmental Science: Water Research & Technology* 2020.6:1553-1558. doi: 10.1039/C9EW01137D.
- ESI (2015) Africa - South Africa: wave energy power plant

development. 2015. <https://www.esi-africa.com/top-stories/south-africa-wave-energy-power-plant-development/>

58. Dulal, H.B.; Shah, K.U.; Sapkota, C.; Uma, G.; Kandel, B.R. (2013) Renewable energy diffusion in Asia: Can it happen without government support? *Energy Policy*, 59(April):301–311.
59. Egbetokun, A.; Atta-Ankomah, R.; Jegede, O.; Lorenz, E. (2018) Firm-level innovation in Africa: overcoming limits and constraints. *Innovation and Development*, 6(2):161-174. doi: 10.1080/2157930X.2016.1224619. <https://doi.org/10.1080/2157930X.2016.1224619>.
60. Eggoh, J.; Bangake, C.; Rault, C. (2011) Energy consumption and economic growth revisited in African countries. *Energy Policy*, 39(11):7408-7421. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.007>.
61. Estefen, S. (2006) Geração de Energia Elétrica pelas Ondas do Mar. 2006. Disponível em: <https://coppe.ufrj.br/pt-br/geracao-de-energia-eletrica-pelas-ondas-do-mar-0>.
62. Exxon Mobil (2016). Summary Annual Report. Exxon Mobil Corporation Corporate Headquarters 5959 Las Colinas Blvd. Irving, Texas 75039-2298 exxonmobil.com 002CSN799A Printed in U.S.A.
63. Fischer, R.; Lopez, J.; Suh, S. (2011) Barriers and Drivers to Renewable Energy Investment in Sub-Saharan Africa. *Journal of Environmental Investing*, 2(1):54-80.
64. Fourie, C.J.S. & Johnson, D. (2017) The Wave Power Potential of South Africa, Conference: Power-Gen Africa 2017, Johannesburg South Africa. p. 21.
65. Gale-Zoyiku, K. (2015) Ghana turns to tidal waves for power, *African Review*, <https://www.africanreview.com/energy-a-power/renewables/ghana-turns-to-tidal-waves-for-power>. [accessed 12 April 2021].
66. Ganda, F. & Ngwakwe, C.C. (2014) Problems of Sustainable Energy in sub-Saharan Africa and Possible Solutions. *Mediterranean Journal of Social Sciences*, 5(6):453-463. doi: [10.5901/mjss.2014.v5n6p453](https://doi.org/10.5901/mjss.2014.v5n6p453)

67. Gargani, J. (2022) Impact of major hurricanes on electricity energy production. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 67: 102643. <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2021.102643>.
68. Geng, B.; Li, Y.; Liu, X.; Ye, J.; Guo, W. (2022) Effective treatment of aquaculture wastewater with mussel/microalgae/bacteria complex ecosystem: a pilot study. *Scientific Reports* 2022 Feb 10.12(1):2263. DOI: 10.1038/s41598-021-04499-8.
69. Ghaffour, N.; Soukane, S.; Lee, J.; Kim, Y.; Alpatova, A. (2019) Membrane distillation hybrids for water production and energy efficiency enhancement: A critical review. *Applied Energy*, 254, 113698. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.113698>.
70. Gielen, D.; Boshell, F.; Saygin, D.; Bazilian, M.; Wagner, N.; Gorini, R. (2020) The role of renewable energy in the global energy transformation. *Energy Strategy Reviews*, 24:38-50. Doi:10.1016/j.esr.2019.01.006.
71. Gordon, E. (2018) *The Politics of Renewable Energy in East Africa*. Oxford: The Oxford Institute for Energy Studies. 2018, p. 30. doi: <https://doi.org/10.26889/9781784671181>.
72. Govindarsu R., JaiGanesh S. & Kumaar R.P. (2020) Analysis on Renewable Energy Generation of From Salinity Gradient by Reverse Electro Dialysis, *Proceedings of the International Conference on Advances in Chemical Engineering (AdChE)*. 2020. <https://ssrn.com/abstract=3721567> or <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3721567>. Gueifão, C. (2014) . ISBN 978-989-97416-3-8 Depósito Legal / Legal Deposit N0 373118/14 1 a Edição / 1st Edition: 2000/2014.05 Copyright © Gesto-Energia, S.A.
73. Guerreiro e Silva (2012) A geração de energia maremotriz e suas oportunidades no Brasil. *Revista Ciências do Ambiente*, Campinas, 8(2): 82-87. Disponível em: <http://sistemas.ib.unicamp.br/be310/nova/index.php/be310/article/view/337/265>.
74. Guilcher, A. (2010) Senegal and Gambia. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*. Springer, Dordrecht. 2010. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_163.

75. Gungor, H. & Simon, A.U. (2017) Energy consumption, finance and growth: The role of urbanization and industrialization in South Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*, 7(3):268–276.
76. Griffiths, S.D. (2013) Kelvin wave propagation along straight boundaries in C-grid finite-difference models. *Journal of Computational Physics*, 255:639-659. DOI:[10.1016/j.jcp.2013.08.040](https://doi.org/10.1016/j.jcp.2013.08.040)
77. Haddout, S.; Huguane, A.M.; Siteo, A.F.; Priya, K.L. (2023): Wave energy potential analysis in the Kenitra-Atlantic coastal area (Morocco): First results, *Marine Georesources & Geotechnology*, DOI: 10.1080/1064119X.2023.2209785.
78. <https://doi.org/10.1080/1064119X.2023.2209785>
79. Haddout, S.; Maslouhi, A.; Igouzal, M. (2017) Predicting of salt water intrusion in the Sebou river estuary (Morocco). *Journal of Applied Water Engineering and Research*, 5(1), 40-50.
80. Haddout, S.; Igouzal, M.; Maslouhi, A. (2016b) Analytical and numerical study of the salinity intrusion in the Sebou river estuary (Morocco) – effect of the “Super Blood Moon” (total lunar eclipse) of 2015. *Hydrology and Earth System Sciences*, 20(9), 3923-3945.
81. Haddout, S.; Priya, K.L.; Rhazi, M.; Jamali, A.; Aghfir, M.; Huguane, A.M.; Ljubenkova, I. (2020). Producing electricity at estuaries from salinity gradient: energy analysis. *International Journal of River Basin Management*. DOI: [10.1080/15715124.2020.1830784](https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1830784).
82. <https://doi.org/10.1080/15715124.2020.1830784>
83. Hafner, M.; Tagliapietra, S.; de Strasser, L. (2018) Prospects for Renewable Energy in Africa. In: *Energy in Africa. SpringerBriefs in Energy*, Springer, Cham. Energy in Africa, 47-75. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92219-5_3.
84. Hakkou M.; Castelle B.; Benmohammadi A.; Zourarah, B. (2011) Wave climate and morphosedimentary characteristics of the Kenitra-Bouknadel sandy coast, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 64(7), 1729-1739.

85. Hammar, L.; Ehnberg, J.; Mavume, A.; Cuamba, B.C.; Molander, S. (2012) Renewable ocean energy in the Western Indian Ocean. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16(7):4938-4950. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.04.026>.
86. Harvey, A.; Brown, A.; Hettiararchi, P.; Inversin, A. (1993) *Micro Hydro Design Manual: A Guide to Small-Scale Water Power Schemes*, U.K., London:Intermediate Technology. <https://ieeexplore.ieee.org/document/1717596>
87. Hinrichs, R.A.; Kleinbach, M.; Reis, L.B. (2010) *Energia e meio ambiente*. tradução da 4ª edição norte-americana. Cengage learning.
88. Hogueane, A.M. (2007) Perfil Diagnóstico da Zona Costeira de Moçambique (Diagnosis of Mozambique Coastal Zone). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 7(1):69-82. www.aprh.pt/rgci e www.gci.inf.br
89. Hogueane, A.M. & Armando, E. V. (2015) - The influence of the river runoff in the artisanal fisheries catches in tropical coastal waters – The case of the Zambezi River and the fisheries catches in the northern Sofala Bank, Mozambique. *Revista de Gestão Costeira Integrada / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 15(4):443-451 (2015). DOI: 10.5894/rgci600. [published on-line: 29 JUN 2015]
90. Hogueane, A.M.; Gammelsrød, T.; Furaca, N.B.; Cafermane, A.C.; António, M.H.P. (2021) The residual circulation profile of the Bons Sinais Estuary in central Mozambique - potential implications for larval dispersal and fisheries. *WIO Journal of Marine Science Special Issue* 1:17-27. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/wiojms.si2021.1.2>
91. Hogueane, A.M.; Gammelsrød, T.; Mazzilli, S.; Antonio, M.H.; da Silva, N.B.F. (2020) The hydrodynamics of the Bons Sinais Estuary: The value of simple hydrodynamic tidal models in understanding circulation in estuaries of central Mozambique. *Regional Studies in Marine Science*, 37:101352. doi: <https://doi.org/10.1016/j.rsma.2020.101352>.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352485520304801>
92. Hogueane, A.M.; Gammelsrød, T.; Christensen, K.H.; Furaca, N.B.; Nharreluga, B.A.S.; Poio, M.V. (2019) Nearshore currents and safety to swimmers in Xai-Xai Beach.

Journal of Integrated Coastal Zone Management, 19(4): 209-220. DOI: [10.5894/rgci-n148](https://doi.org/10.5894/rgci-n148). Available through: <https://www.aprh.pt/rgci/rgci-n148.html>

93. Hogue, A.M. & van der Meulen, F. (2010). Incomati Delta. Comparative assessment of the vulnerability and resilience of 10 deltas, Edited by Tom Bucx, Marcel Marchand, Bart Makaske, Cees van de Guchte, 12/2010: chapter Incomati Delta: pages 18-38. Delta Alliance International, Delft-Wageningen, The Netherlands. ISBN: 978-94-90070-39-7. DOI: [10.13140/2.1.3134.1122](https://doi.org/10.13140/2.1.3134.1122)
94. Idrissi, M.; Ait Laamel, M.; Hourimeche, A.; Chagdali, M. (2004) Impact of the swell on the current morphological and sedimentary evolution of the coastal zone of Casablanca–Mohammedia (Morocco). *Journal of African Earth Sciences*, 39, 541-548.
95. IEA (2019) Africa Energy Outlook. IEA, Paris. 2019. <https://www.iea.org/reports/africa-energy-outlook-2019>.
96. IRENA (2015) International Renewable Energy Agency, Africa 2030: roadmap for a renewable energy future. <https://www.irena.org/publications/2015/Oct/Africa-2030-Roadmap-for-a-Renewable-Energy-Future>
97. IRENA (2014a) Salinity gradient energy - Technology brief. IRENA Ocean Energy Technology Brief 2 June 2014. IRENA Innovation and Technology Centre, Robert-Schuman-Platz. Bonn, Germany. p. 28. <https://www.irena.org/publications/2014/Jun/Salinity-Gradient>.
98. IRENA (2014b) Wave energy technology brief. International Renewable Energy Agency 2014, p. 28. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/Wave-Energy_V4_web.pdf.
99. IRENA. (2014c) Tidal energy technology brief. International Renewable Energy Agency, p36. https://www.irena.org/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2014/Tidal_Energy_V4_WEB.pdf.
100. Jackson, D. & Persoons, T. (2012) Feasibility Study and Cost-Benefit Analysis of Tidal Energy: A Case Study for Ireland. Conference: Proceedings of the 4th International Conference on Ocean Energy (ICOE), October 17-19, 2012, Dublin, Ireland. 2012, p. 1-6.

<https://www.researchgate.net/publication/257936291> Feasibility study and cost-benefit analysis of tidal energy A case study for Ireland.

101. Jalili, Z.; Krakhella, K.W.; Einarsrud, K.E.; Burheim, O.S. (2019) Energy generation and storage by salinity gradient power: A model-based assessment. *Journal of Energy Storage*, 24,100755. <https://doi.org/10.1016/j.est.2019.04.029>.
102. Jaynes, E.T. (2003) Probability Theory: The Logic of Science. Cambridge University Press. 592–593. ISBN 9780521592710.
103. Jerome, A. (2011) Infrastructure, Economic Growth and Poverty Reduction in Africa. *Journal of Infrastructure Development*, 3(2):127-151. doi:[10.1177/097493061100300203](https://doi.org/10.1177/097493061100300203).
104. Kabir, M.; Chowdhury, M.S.; Sultana, N.; Jamal, M.S.; Kuaanan Techato, K. (2022) Ocean renewable energy and its prospect for developing economies. *Renewable Energy and Sustainability*, 2022:263-298. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-88668-0.00007-3>.
105. Karekezi, S. & Kithyoma, W. (2003) Renewable energy development. In: The Workshop for African Energy Experts on Operationalizing the NEPAD Energy Initiative. 2-4 June 2003. Senegal: Novotel, Dakar.
106. Kempener, R. & Neumann, F. (2014) Wave Energy: Technology Brief. Report by International Renewable Energy Agency (IRENA), Report for International Renewable Energy Agency (IRENA). p. 1-28. <https://tethys-engineering.pnnl.gov/publications/wave-energy-technology-brief>.
107. Kingsbury, R.S.; Chu, K.; Coronell, O. (2015) Energy storage by reversible electrodialysis: the concentration battery. *Journal of Membrane Science*, 495:502–516.
108. Kirubi, C.; Jacobson, A.; Kammen, D.K.; Mills, A. (2009) Community-Based Electric Micro-Grids Can Contribute to Rural Development: Evidence from Kenya. *World Development*, 37(7):1208-1221. <https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2008.11.005>.

109. Klagge, B. & Nweke-Eze, C. (2020) Financing large-scale renewable-energy projects in Kenya: investor types, international connections, and financialization. *Geografiska Annaler: Series B, Human Geography*, 102(1):61-83. doi: 10.1080/04353684.2020.1729662
110. Kolawole, A.; Adesola, S.; de Vita, G. A. (2017) Disaggregated Analysis of Energy Demand in Sub-Saharan Africa. *International Journal of Energy Economics and Policy*.7(2):224-235. <https://core.ac.uk/download/pdf/220155893.pdf>
111. Krogstad, H.E. & Barstow, S.F. (1999) Satellite wave measurements for coastal engineering applications. *Coastal Engineering*, 37:283–307.
112. Kryszk, H.; Kurowska, K.; Marks-Bielska, R.; Bielski, S.; Eźlakowski, B. (2023) Barriers and Prospects for the Development of Renewable Energy Sources in Poland during the Energy Crisis. *Energies*, 16:1724. <https://doi.org/10.3390/en16041724>.
113. Kuamoah .C. (2020) Renewable Energy Deployment in Ghana: The Hype, Hope and Reality. *Insight on Africa*, 12(1):45-64. doi: 10.1177/0975087819898581
114. Kuleszo, J.; Kroeze, C.; Post, J.; Fekete, B.M. (2010) The potential of blue energy for reducing emissions of CO₂ and non-CO₂ greenhouse gases. *Journal of Integrative Environmental Sciences*, 7(1):89-96. <https://doi.org/10.1080/19438151003680850>.
115. Lamont, T.; van den Berg, M.A.; Barlow, R.G. (2016) Agulhas Current Influence on the Shelf Dynamics of the KwaZulu-Natal Bight. *Journal of Physical Oceanography*, 46(4):1323–1338. doi: <https://doi.org/10.1175/JPO-D-15-0152.1>.
116. Lavidas, G. & Blok, K. (2021) Shifting wave energy perceptions: The case for wave energy converter (WEC) feasibility at milder resources, 170:1143-1155. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.02.041>.
117. Lee, M.D.; Feng, E.L.K.; Lee, P.S. (2020) Small Scale Low Height Wave Energy Seawater Pump for Achieving Environmental and Economic Sustainability. *Universal Journal of Mechanical Engineering*, 8(1): 14-20. DOI: 10.13189/ujme.2020.080102.

118. Lee, K.; Miguel, E.; Wolfram, C. (2020) Does Household Electrification Supercharge Economic Development? *The Journal of Economic Perspectives*, 34(1):122–144. JSTOR.www.jstor.org/stable/26873532. Accessed 3 Sept. 2021.
119. Lewis, A.; Estefen, S.; Huckerby, J.; Musial, W.; Pontes, T.; Torres-Martinez, J. (2011) Ocean Energy. In IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation [O. Edenhofer, R. Pichs-Madruga, Y. Sokona, K. Seyboth, P. Matschoss, S. Kadner, T. Zwickel, P. Eickemeier, G. Hansen, S. Schlömer, C. von Stechow (eds)], Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/Chapter-6-Ocean-Energy-1.pdf>.
120. Lin, Y. & Oey, L. (2020) Global Trends of Sea Surface Gravity Wave, Wind, and Coastal Wave Setup. *Journal of Climate*, 33(3):769-785. Retrieved Oct 6, 2021, <https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/33/3/jcli-d-19-0347.1.xml>
121. Li, D.; Yue, J.; Zhang, L.; Duan, X. (2018) Numerical study on ocean thermal energy conversion system. *Journal of Renewable and Sustainable Energy* 2018.10:044501. <https://doi.org/10.1063/1.5034034>.
122. Liu, C.C.K. (2018) Ocean thermal energy conversion and open ocean mariculture: The prospect of Mainland-Taiwan collaborative research and development. *Sustainable Environment Research*, 28(6):267-273. <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.06.002>.
123. Luthra, S.; Kumar, S.; Garg, D.; Haleem, A. (2015) Barriers to renewable/sustainable energy technologies adoption: Indian perspective. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41: 762-776. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.08.077>.
124. Madouni, A. (1997) Géomorphologie et aménagement du littoral de Kenitra, de part et d'autre de l'estuaire du Sebou : Ph.D. Thesis, Université de Bretagne Occidentale, Brest, 238 p. (in French).

125. Magagna, D. & Uihlein, A. (2015) Ocean energy development in Europe: Current status and future perspectives. *International Journal of Marine Energy*, 11:84-104. <https://doi.org/10.1016/j.ijome.2015.05.001>.
126. Magori, C. (2008) Tidal analysis and prediction in the Western Indian Ocean - Regional report, Western Indian Ocean Marine Science Association (WIOMSA) and Intergovernmental Oceanographic Commission (of UNESCO). p. 43.
http://sealevel.odinafrica.org/reports/regional_wio.pdf.
127. Manasseh, R.; Sannasiraj, S.A.; McInnes, K.L.; Sundar, V.; Jaliha, P. (2017) Integration of wave energy and other marine renewable energy sources with the needs of coastal societies. *The International Journal of Ocean and Climate Systems* , (1): 19–36. DOI: 10.1177/1759313116683962.
128. Marton, P.K. & Singh, R.K. (1999) New technologies and developing countries: Prospects and potential. *Intereconomics*, 27(3):133-138.
<http://dx.doi.org/10.1007/BF02926323>.
129. Matyas, C.J. (2015) Tropical cyclone formation and motion in the Mozambique Channel. *International Journal of Climatology*, 35(3): 375-390. DOI: [10.1002/joc.3985](https://doi.org/10.1002/joc.3985)
130. Mazzilli, S. (2015) *Understanding estuarine hydrodynamics for decision making in data-poor coastal environments*. PhD Thesis, Fitzwilliam College, Cambridge Coastal Research Unit, Department of Geography, University of Cambridge, 335p.
131. Mhamdi Alaoui, A.; Choura, M.; Maanan, M.; Zourarah, B.; Robin, M.; Freitas Conceição, M.; Andrade, C.; Khalid, M.; Carruesco, C. (2010) Metal fluxes to the sediments of the Moulay Bousselham lagoon, Morocco. *Environmental Earth Sciences*, 61, 275-286.
132. Mohamed, T. (2021) Marine energy. In: El Bassam N, editors. *Distributed Renewable Energies for Off-Grid Communities (Second Edition)*: Elsevier, p. 231-245.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-821605-7.00012-X>.

133. Monasterolo, I. & Raberto, M. (2019) The impact of phasing out fossil fuel subsidies on the low-carbon transition. *Energy Policy*, 124:355-370. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2018.08.051>.
134. Mora, D.A. & de Rijck, A. (2015) Blue Energy: Salinity Gradient Power in Practice. GSDR 2015 Brief. 2015. Wageningen University and Research Centre. <https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/5734Blue%20Energy.pdf>
135. Moran, M.J. (1998). Availability analysis: A guide to efficient energy use. ASME Press.
136. Mørk, G.; Barstow, S.; Mollison, D.; Cruz, J. (2008) The wave energy resources. In: Cruz J, editors. *Ocean Wave Energy – Current Status and Future Perspectives*, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag.
137. Morrissey, J. (2017) The energy challenge in sub-Saharan Africa: A guide for advocates and policy makers Part 2: Addressing energy poverty. OXFAM Research backgrounder. 2017, p. 103. <https://s3.amazonaws.com/oxfam-us/www/static/media/files/oxfam-RAEL-energySSA-pt2.pdf>.
138. Moussaid, J.; Fora, A.A.; Zourarah, B.; Maanan, M.; Maanan, M. (2015) Using automatic computation to analyze the rate of shoreline change on the Kenitra coast, Morocco. *Ocean Engineering*, 102, 71-77.
139. Muthige, M.S.; Malherbe, J.; Englebrecht, F.A.; Grab, S.; Beraki, A.; Maisha, T.R.; Van der Merwe, J. (2018) Projected changes in tropical cyclones over the South West Indian Ocean under different extents of global warming. *Environmental Research Letters*, 13(6): 065019 DOI: <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aabc60>
140. Mushtaq, S, Maraseni, T.N.; Maroulis, J. Hafeez, M. (2009) Energy and water tradeoffs in enhancing food security: A selective international assessment. *Energy Policy*, 37(9):3635-3644. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.04.030>.
141. Neill, S.P.; Angeloudis, A.; Robins, P.E.; Walkington, I.; Ward, S.L.; Masters, I.; Lewis, M.J.; Piano, M.; Avdis, A.; Piggott, M.D.; Aggidis, G.; Evans P.; Adcock, T.A.A.; Židonis, A.; Ahmadian, R.; Falconer, R. (2018) Tidal range energy resource

- and optimization – Past perspectives and future challenges. *Renewable Energy*, 127:763-778. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.05.007>.
142. Newell, P. & Bulkeley, H. (2017) Landscape for change? International climate policy and energy transitions: evidence from sub-Saharan Africa. *Climate Policy*, 17(5):650-663. doi: 10.1080/14693062.2016.1173003.
 143. Nkalu, C.N.; Ugwu, S.C.; Asogwa, F.O.; Kuma, M.P.; Onyeke, Q.O. (2020). Financial development and energy consumption in Sub-Saharan Africa: evidence from panel vector error correction model. *Sage Open* 2020. p. 1-12. doi:[10.1177/2158244020935432](https://doi.org/10.1177/2158244020935432)
 144. Odusanya, I.A.; Osisanwo, B.G.; Tijani, J.O. (2016) Financial development and energy consumption nexus in Nigeria. *OEconomica*, 12(5):155–165.
 145. Ojany, F. (2010) Kenya. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_181.
 146. Oluoch, S.; Lal, P.; Susaeta, A.; Vedwanm, N. (2020). Assessment of public awareness, acceptance and attitudes towards renewable energy in Kenya. *Scientific African*, 9:e00512. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00512>.
 147. Onofrei, M.; Vatamanu, A.F.; Cigu, E. (2022) The Relationship Between Economic Growth and CO2 Emissions in EU Countries: A Cointegration Analysis. *Frontiers in Environmental Science*, 10:934885. doi: 10.3389/fenvs.2022.934885. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.934885>.
 148. Onundo, L.P. & Mwema, W.N. (2016) Estimating marine tidal power potential in Kenya, *World Academy of Science. Engineering and Technology International Journal of Energy and Environmental Engineering*, 10(7):1013-1017. <http://www.Scholar.waset.org/1307-6892/10007714>.
 149. Orme, A.R. (2010) East Africa – Editorial Introduction. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_178

150. Ouedraogo, N.S. (2017) Africa energy future: Alternative scenarios and their implications for sustainable development strategies. *Energy Policy*, 106:457-471.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.enpol.2017.03.021>.
151. Panagopoulos, A. (2022a) Brine management (saline water & wastewater effluents): Sustainable utilization and resource recovery strategy through Minimal and Zero Liquid Discharge (MLD & ZLD) desalination systems. *Chemical Engineering and Processing - Process Intensification* 2022:108944.
<https://doi.org/10.1016/j.cep.2022.108944>.
152. Panagopoulos, A. (2022b) Process simulation and analysis of high-pressure reverse osmosis (HPRO) in the treatment and utilization of desalination brine (saline wastewater). *International Journal of Energy Research*. <https://doi.org/10.1002/er.8607>.
153. Papadimitriou, C.A.; Savvidis, Y.G.; Galinou-Mitsoudi, S.; Moriki, A. (2021) The Role of Hydrodynamics on the Sustainable Mussels' Culture Activity. The Case of the Chalastra Basin (NW Gulf of Thessaloniki). *Hydrology*, 8(3):105.
<https://doi.org/10.3390/hydrology8030105>.
154. Pawlowski, S.; Crespo, J.; Velizarov, S. (2016) Sustainable Power Generation from Salinity Gradient Energy by Reverse Electrodialysis. In: Ribeiro A, Mateus E, Couto N, editors. *Electrokinetics Across Disciplines and Continents*, Springer, Cham.
https://doi.org/10.1007/978-3-319-20179-5_4.
155. Qiao, D.; Haider, R.; Yan, J.; Ning, D.; Li, B. (2020) Review of Wave Energy Converter and Design of Mooring System. *Sustainability*, 12(19):8251. <https://doi.org/10.3390/su12198251>.
156. Ramon, G.Z.; Feinberg, B.J.; Hoek, E.M.V. (2011) Membrane-based production of salinity-gradient power. *Energy & Environmental Science*, 4(11):4423-4434.
157. Rawat, D., & Sauni, P. (2015) Importance and Prospects of Renewable Energy : Emerging Issues in India. *International Journal of Art & Humanity Science*, 2(4): 11-18.
<https://www.ijahs.com/view/importance-and-prospects-of-renewable-energy-emerging-issues-in-india.pdf>.

158. Renewable Energy Atlas of Mozambique Resources and Projects for Power Generation (disponível em <https://www.funae.co.mz/index.php/pt/potencial> acessado em 29/04/2020).
159. Rentschler, J. & Bazilian, M. (2017) Reforming fossil fuel subsidies: drivers, barriers and the state of progress. *Climate Policy*, 2017.17(7):891-914. doi: [10.1080/14693062.2016.1169393](https://doi.org/10.1080/14693062.2016.1169393).
160. Roberts, A.; Thomas, B.; Sewell, P.; Khan, Z.; Balmain, S.; Gillman, J. (2016) Current tidal power technologies and their suitability for applications in coastal and marine areas. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 2:227–245. <https://doi.org/10.1007/s40722-016-0044-8>.
161. Rossi, G.B.; Cannata, A.; Iengo, A.; Migliaccio, M.; Nardone, G.; Piscopo, V.; Zambianchi, E. (2021) Measurement of Sea Waves. *Sensors (Basel)* 2021 Dec 23.22(1):78. doi: 10.3390/s22010078. PMID: 35009617. PMCID: PMC8747634.
162. Rusu, E. & Soares, C.G. (2012) Wave energy pattern around the Madeira Islands. *Energy*, 45(1):771–785 (2012).
163. Sadio, M.; Anthony, E.J. Diaw, A.T.; Dussouillez, P.; Fleury, J.T.; Kane, A.; Almar, R.; Kestenare, E. (2017) Shoreline Changes on the Wave-Influenced Senegal River Delta, West Africa: The Roles of Natural Processes and Human Interventions. *Water*, 9(5):357. <https://doi.org/10.3390/w9050357>.
164. Salami, K.D.; Odubunmi, S.A.; Atoyebi, K. (2016) Energy consumption, financial development and economic growth in Nigeria. *Journal of Social Sciences and Humanities Reviews*, 6(3):58–64.
165. Searson, S. (1994) Extreme sea levels around the coast of Southern Africa, A Thesis submitted to the Faculty of Science at the University of Cape Town in fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science. p. 107.
https://open.uct.ac.za/bitstream/item/23889/thesis_sci_1995_searson_sarah.pdf?sequence=1.

166. Seetharaman, A. Moorthy, M.K.; Patwa, N.; Saravanan; Gupta, Y. (2019) “Breaking Barriers in Deployment of Renewable Energy.” *Heliyon*, [5 \(1\)](#): e01166. doi:10.1016/j.heliyon.2019.e01166.
167. Segura, E.; Morales, R.; Somolinos, J.A. (2017) Cost Assessment Methodology and Economic Viability of Tidal Energy Projects. *Energies*, 10:1806. doi:10.3390/en10111806
168. Semedo, A.; Sušelj, K.; Rutgersson, A.; Sterl, A. (2011) A Global View on the Wind Sea and Swell Climate And Variability from ERA-40. *Journal of Climate*, 24(5):1461-1479. doi: [10.1175/2010JCLI3718.1](#)
169. Sharma, M.; Chakraborty, A.; Kuttippurath, J.; Yadav, A.K. (2018) Potential Power Production from Salinity Gradient at the Hooghly Estuary System. *Innovative Energy & Research*, 7(3): 210. DOI: [10.4172/2576-1463.1000210](#).
170. Sharma, K.K.; Mohapatra, B.C.; Das, P.C.; Sarkar, B.; Chand, S. (2012) Water budgets for freshwater aquaculture ponds with reference to effluent volume. *Agricultural Sciences*, 4(8):353-359. doi:10.4236/as.2013.48051.
171. Shi, H. D. & Liu, Z. (2021). Research progress and development trend of ocean wave energy. *Sci. Technol. Her.*, 39 (6): 22–28.
172. Siddharthan, N.S. & Rajan, Y.S. (2003) Review: Technology Development in Developing Countries. Reviewed Work: Global Business, Technology and Knowledge Sharing: Lessons for Developing Country Enterprises. *Economic and Political Weekly*, 38(2):118-120. <https://www.jstor.org/stable/4413071>.
173. Sierra, J.P.; Martn, C.; Msso, C.; Mestres, M.; Jebbad, R. (2016) Wave energy potential along the Atlantic coast of Morocco. *Renewable Energy*, 96:20–32. doi: [10.1016/j.renene.2016.04.071](#).
174. Siteo, A.F.; Hogueane, A.M.; Haddout, S. (2023a) The ocean as a source of renewable energy in sub-Saharan Africa: sources, potential, sustainability and challenges, *International Journal of Sustainable Energy*, 42:1, 436-460. DOI: DOI: [10.1080/14786451.2023.2204378](#). <https://doi.org/10.1080/14786451.2023.2204378>

175. Siteo, A.F.; Hoguane, A.M.; Haddout, S. (2023b) Preliminary assessment of near-shore wave energy potential in the Mozambique Channel. *Journal of Water and Climate Change* 14 (1): 330–349. doi: <https://doi.org/10.2166/wcc.2022.475>
176. Siteo, A.F.; Hoguane, A.M.; Haddout, S. (2023c). Some Considerations on the Application of Ocean Wave Energy for Water Pumping in Near Shore Areas in Mozambique Channel. In: Haddout, S., Krishnamoorthy Lakshmi, P., Hoguane, A.M. (eds) *Climate Change and Ocean Renewable Energy*. CCORE 2022. Springer Proceedings in Earth and Environmental Sciences. Springer, Cham. CCORE 2022: *Climate Change and Ocean Renewable Energy*. pp 171–178. https://doi.org/10.1007/978-3-031-26967-7_14
177. Situmbeko, S.M. (2018) Towards a sustainable energy future for sub-Saharan Africa. In: Gokten S, Kucukkocaoglu G, editors. *Energy Management for Sustainable*. 2018, p. 47-68. doi: 10.5772/intechopen.75953.
178. Soto, D. & Wurmman, (2018) C. Offshore Aquaculture: A Needed New Frontier for Farmed Fish at Sea. In: *The Future of Ocean Governance and Capacity Development*, 379–384. DOI: https://doi.org/10.1163/9789004380271_064.
179. Sovacool, B.K. & Griffiths, S. (2020) The cultural barriers to a low-carbon future: A review of six mobility and energy transitions across 28 countries. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 2020.119:109569. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109569>.
180. Statista (2020) Total population in Sub-Saharan Africa 2019. Published by H. Plecher. 2020. <https://www.statista.com/statistics/805605/total-population-sub-saharan-africa/>
181. Spaulding, M.L. & Grilli, A. (2010) Application of technology development index and principal component analysis and cluster methods to ocean renewable energy facility siting. *Marine Technology Society Journal*, 44: 8-23.
182. Tarfaoui, M.; Nachtane, M; & Moumen, A. 2018 From Renewable to Marine Energies Sources for Sustainable Development and Energy Transition in Morocco: Current Status and Scenario. *Preprints*, 2018110568. doi: [10.20944/preprints201811.0568.v1](https://doi.org/10.20944/preprints201811.0568.v1).

183. Taskjelle, T.; Barthel, K.; Christensen, K.H.; Furaca, N.; Gammelsrød, T.; Hogueane, A.M.; Nharreluga, B. (2014) Modelling alongshore flow in a semi-enclosed lagoon strongly forced by tides and waves. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 149:294-301. doi: 10.1016/j.ecss.2014.09.008.
184. Taylor, S.F.W.; Roberts, M.J.; Milligan, B.; Ncwadi, R. (2019) Measurement and implications of marine food security in the Western Indian Ocean: an impending crisis?. *Food Security* 2019.11: 1395–1415. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00971-6>
185. The World Bank Group. 2021. <https://databank.worldbank.org/home.aspx>
186. Thorpe, T.W. (1999) A Brief Review of Wave Energy. AEA Technology Technoical report No ETSU-R120. ETSU-R120. A Brief Review of Wave Energy A report produced for The UK Department of Trade and Industry. 151p. <https://www.biofund.org.mz/wp-content/uploads/2018/11/F1372.Thorpe1999-Brief-Review-Wave-Energy-Environmental-Impacts.pdf>.
187. Toman, M. & Jemelkovam, B. (2003) Energy and Economic Development: An Assessment of the State of Knowledge, Resources for the Future Technical report, Washington. 2003, p. 26. <https://media.rff.org/archive/files/sharepoint/WorkImages/Download/RFF-DP-03-13.pdf>.
188. Trivedi, C.; Gandhi, B.K.; Cervantes, M.J.; Dahlhaug, O. (2015) Experimental investigations of a model Francis turbine during shutdown at synchronous speed. *Renewable energy*, 83:828-836.
189. Trivedi, A.; Trivedi, V.; Pandey, K.K.; Chichi, O. (2023) An interpretive model to assess the barriers to ocean energy toward blue economic development in India. *Renewable Energy*, 211: 822-830. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.05.046>.
190. Tucho, G.T. & Kumsa D.M. (2020) Challenges of Achieving Sustainable Development Goal 7 From the Perspectives of Access to Modern Cooking Energy in Developing Countries. *Frontiers in Energy Research* 2020.8:1-11.doi: 10.3389/fenrg.2020.564104. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fenrg.2020.564104>.

191. Tufa, R.; Piallat, T.; Hnát, J.; Fontananova, E.; Paidar, M.; Chanda, D.; Curcio, E.; diProfio, G. & Bouzek, K. (2020) Salinity gradient power reverse electrodialysis: Cation exchange membrane design based on polypyrrole-chitosan composites for enhanced monovalent selectivity. *Chemical Engineering Journal*, 380, 122461. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2019.122461>.
192. Uihlein, A. & Magagna, D. (2016) Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58:1070-1081. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.284>.
193. Ugwoke, B.. Adeleke, A.. Corgnati, S.P., Pearce, J.M., Leone, P. (2020) Decentralized Renewable Hybrid Mini-Grids for Rural Communities: Culmination of the IREP Framework and Scale up to Urban Communities. *Sustainability*, 12:7411. doi:10.3390/su12187411
194. Ullgren, J.E.; André, E.; Gammelsrød, T.; Hogueane, A.M. (2016) Observations of strong ocean current events offshore Pemba, Northern Mozambique. *Journal of Applied Oceanography*, 9(1):55-66. doi: 10.1080/1755876X.2016.1204172. <http://dx.doi.org/10.1080/1755876X.2016.1204172>
195. UNEP (2017) Atlas of Africa Energy Resources, United Nations Environment Programme PO Box 30552, Nairobi 00100, Kenya. 2017, 342p.
196. UNEP (1983) Ocean energy potential of the West African region, UNEP Regional Seas Reports and Studies No 30. p. 59. <https://www.ais.unwater.org/ais/aismc/getprojectdoc.php?docid=4033>
197. Usoro, E. (2010) Nigeria. In: Bird ECF, editors. *Encyclopedia of the World's Coastal Landforms*, Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8639-7_171.
198. Viola, A.. Franzitta, V.. Trapanese, M.. Curto, D. (2016) Nexus Water & Energy: A Case Study of Wave Energy Converters (WECs) to Desalination Applications in Sicily. *International Journal of Heat and Technology*. 34: S379-S386. DOI: 10.18280/ijht.34S227.

199. Wang, L.; Wang, Z.; Patel, S.K.; Lin, S.; Elimelech, M. (2021) Nanopore-Based Power Generation from Salinity Gradient: Why It Is Not Viable. *American Chemical Society*, 15 (3): 4093–4107. <https://doi.org/10.1021/acsnano.0c08628>.
200. Waters, R. (2008) Energy from Ocean Waves. Full Scale Experimental Verification of a Wave. PhD Thesis. Acta Universitatis Upsaliensis. Digital Comprehensive Summaries of Uppsala Dissertations from the Faculty of Science and Technology 580: 130pp. Uppsala
201. Winklmaier, J.; Santos, S.A.B.; Trenkle, T. (2020) Economic Development of Rural Communities in Sub-Saharan Africa through Decentralized Energy-Water-Food Systems. *Regional Development in Africa* 2020.1-25. doi:10.5772/intechopen.90424.
202. Whitley, S. & van der Burg, L. (2015) Fossil Fuel Subsidy Reform in Sub-Saharan Africa: From Rhetoric to Reality. *New Climate Economy*, London and Washington, DC. 2015, P. 42. Available at: <http://newclimateeconomy.report/misc/working-paper>.
203. World Bank (2015) World Development Indicators, World Bank. <http://www.data.worldbank.org/region/SSA>.
204. World Economic Forum (2012) Energy for Economic Growth - Energy Vision Update 2012, World Economic Forum Technical report. 2012, p. 47. http://www3.weforum.org/docs/WEF_EN_EnergyEconomicGrowth_IndustryAgenda_2012.pdf.
205. Wüstenhagen, R.; Wolsink, M.; Bürer, M.J. (2007) Social acceptance of renewable energy innovation: an introduction to the concept. *Energy Policy*, 35(5):2683–2691. doi: [10.1016/j.enpol.2006.12.001](https://doi.org/10.1016/j.enpol.2006.12.001).
206. Xu, K.; Lin, C.; Lee, S.Y.; Mao, L.; Meng, K. (2022) Comparative analysis of complete Ilex (Aquifoliaceae) chloroplast genomes: insights into evolutionary dynamics and phylogenetic Relationships. Content courtesy of Springer Nature, terms of use apply. Rights reserved. *BMC Genomics* (2022) 23:203.
207. Zachopoulos, K.; Kokkos, N.; Elmasides, C.; Sylaios, G. (2022) Coupling Hydrodynamic and Energy Production Models for Salinity Gradient Energy

Assessment in a Salt-Wedge Estuary (Strymon River, Northern Greece). *Energies*, 15:2970. <https://doi.org/10.3390/en15092970>.

208. Zhao, Z.; Chang, R.; Chen, Y. (2016) What hinders the further development of wind power in China? A socio-technical barrier study. *Energy Policy*, 88(January):465–476.
209. Zheng, C.; Shao, L.; Shi, W.; Su, Q.; Lin, G.; Li, X.; et al. (2014) An assessment of global ocean wave energy resources over the last 45 a. *Acta Oceanol. Sin.*, 33: 92–101. doi:10.1007/s13131-014-0418-5.
210. Zhou, Y. & Jiang, L. (2020) Bioinspired Nanoporous Membrane for Salinity Gradient Energy Harvesting. *Joule*, 4 (11): 2244-2248. ISSN 2542-4351.
211. Zhao, C. J., and Zhou, Y. (2013). Overview of domestic research on marine buoy monitoring systems. *Mar. Dev. Manag.*, 30 (11), 13–18.
212. Zhu, Y.; Wang, W.; Cai, B.; Hao, J.; Xia, R. (2017) The salinity gradient power generating system integrated into the seawater desalination system. International Conference on Energy Engineering and Environmental Protection (EEEEP2016) 21–23 November 2016, Sanya, China. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 52: 012067. DOI:10.1088/1755-1315/52/1/012067.
213. Zoungrana, A. & Çakmakci, M. 2020. From non-renewable energy to renewable by harvesting salinity gradient power by reverse electrodialysis: A review. *International Journal of Energy Research*, 45(3), 3495-3522. <https://doi.org/10.1002/er.6062>.

GLOSSÁRIO

- **Energia cinética:** todo corpo que se move é dotado de energia cinética. Essa forma de energia depende do quadrado da velocidade com que o corpo se move e é proporcional à sua massa.
- **Energia mecânica:** é definida como a soma da energia cinética com todas as formas de energia potencial de um sistema físico. Quando não há forças dissipativas, a energia mecânica é conservada.
- **Energia potencial gravitacional:** quando um corpo está posicionado a alguma altura em relação ao solo, ele apresenta energia potencial gravitacional. Essa forma de energia está relacionada à massa, à gravidade e à altura do corpo em relação ao chão.
- **Energia potencial elástica:** todo corpo que tende a retornar ao seu formato original após ter sido deformado apresenta uma quantidade de energia potencial elástica. Essa energia depende do quadrado da deformação do corpo.
- **Energia eléctrica:** é o nome popular usado para designar a energia potencial eléctrica. A atracção entre cargas dá origem a ela. Essa energia depende do produto entre as cargas e é inversamente proporcional à distância que as separa.
- **Energia térmica:** é a soma da energia cinética das partículas de um corpo. Essa energia é directamente relacionada à temperatura absoluta do corpo, medida em kelvin. Além disso, a transferência de energia térmica entre corpos é chamada calor.
- **Energia nuclear:** tem origem nas forças atractivas que mantêm o núcleo atómico coeso. Quando o núcleo dos átomos é desintegrado, ele emite energia em forma de radiação corpuscular e ondulatória.
- **Energia Química:** é o tipo de energia armazenada em todas as matérias com ligações químicas, tais como iões, e que é liberta ou formada em reacções químicas. A libertação dessa energia é acompanhada por quebra nas ligações químicas desses elementos da matéria que armazena essa energia. Por estar contida em determinadas matérias, a energia química também pode ser considerada uma energia potencial. As fontes de energia química incluem os iões na água do mar, o que origina energia de gradiente de salinidade por electrodiálise.

ANEXOS