



Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em Oceanografia

Avaliação da viabilidade de uso água dessalinizada



Autor:

Lávio Jorge Felismino

Quelimane, Janeiro de 202



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
M O N D L A N E

Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras

Monografia para Obtenção do Grau de Licenciatura em oceanografia

Avaliação da viabilidade de uso água dessalinizada

Autor:

Lávio Jorge Felismino

Lávio Jorge Felismino

Supervisor:

Mestre Noca B. Furaca da Silva

NBS

Avaliador:

Prof. Doutor Hélder A. Machaieie

HMachaieie

Presidente do Júri:

Mestre Banito Bene Magestade

B Magestade

Quelimane, janeiro de 2025

Dedicatória

Dedico este trabalho aos meus pais que sempre estiveram sempre do meu lado a dar o apoio e esforço durante o progresso do curso.

AGRADECIMENTO

Agradeço em primeiríssimo lugar ao meu SENHOR BOM DEUS que me cuidou durante o caminhar da minha vida, e deu-me o Seu sustento a cada dia que passava, e noites sem sono sempre estive ao meu lado. De seguida agradecer aos meus progenitores senhora Mía Mgano e senhor Jorge Felismino, e meus tios Montinho Felismino, Isabel Candrinho a todos meus primos em especial Igor e Adriana. No mesmo contexto quero agradecer os meus docentes especialmente ao senhor Doutor Francisco Rodrigues Pita, Mestre Noca Bernardo Furaca Da Silva, Dra Graciosa prof. Manhiça, Prof. Hogueane, Prof Orlando Quilambo a todos funcionarios da Universidade Eduardo Mondlane em especial, a Escola Superior ciências Marinhas e costeiras em Quelimane.

Amigos que ao longo da minha caminhada deram o seu contributo para o bem-estar do Lávio que pretende alcançar este elevado grau acadêmico, Mundeira Tome Mundeira, Bachir Esmael Magide, Tio Emanuel Santana, Tio Elisio professor Renato Lima Taveira, tia Joana, Amilton Roberto, Sualehe, Orlando Natugues, Bernique Chauque, Salmo João, senhor Maquina, MSc: Humberto Mabota, MSc: Noca Furaca etc. E a todos colegas do Ingresso 2019 Agradecer a todos funcionarios da Direcao provincial da educação, ciências e tecnologia, USAID, INAS, mulher e Acção social, MULABA, Datec etc, Secretaria Provincial do Governador, trabalhadores refeitorio. Registo acadêmico a direcção da ESCMC, e todos representantes, e com palavras de apreço dizer que o meu muito obrigado do fundo do meu coração.

Agradeço imensamente ao meu supervisor mestre Noca Bernardo Furaca pela paciência, compreensão e apoio que me foi dado ao longo da realização do trabalho, demonstrando o amor incondicional

Em suma agradeço a todos aqueles que de forma direita e indireita estiverão ao meu lado para o sucesso do meu progresso acadêmico a partir dos colegas, amigos, ate a comissão científica da ESCMC.

Declaração de honra

Declaro que esta monografia nunca foi apresentada para obtenção de qualquer grau e que ela constitui o resultado do meu labor individual. Esta monografia é apresentada em cumprimento parcial dos requisitos de obtenção do grau de Licenciatura em Oceanografia, da Universidade Eduardo Mondlane.

Autor:

Lávio Jorge Felismino

Resumo

A importância e o valor da água têm sido amplamente destacados nos últimos anos devido ao crescimento populacional, rápida industrialização e urbanização. A água é essencial para a manutenção da vida e desempenha um papel crucial em diversos processos naturais e humanos, mesmo considerando o potencial hídrico das rochas que compõem o solo. Desde a década de 1950, as tecnologias de dessalinização têm evoluído rapidamente, impulsionadas pela crescente demanda global de água. Essas tecnologias baseiam-se nos princípios do ciclo hidrológico natural.

Este trabalho teve como objetivo conceber e construir um dessalinizador solar, avaliar a qualidade da água dessalinizada e analisar o impacto dessa inovação. A construção do dessalinizador foi realizada em etapas e empregou materiais como tábuas, pregos, vidros, cola de madeira, esferovita, plástico preto, serra de madeira, tubos para escoamento de água, além de uma marcação para monitorar as condições térmicas internas e externas. O dessalinizador solar funciona com base na incidência da radiação solar, promovendo o aquecimento interno necessário para a dessalinização. Para avaliar a eficiência do dessalinizador, foram obtidos dados climatológicos, como variações de temperatura média, variações de umidade relativa, pressão atmosférica e radiação solar. Uma análise das amostras de água dessalinizada foi realizada no Fundo de Investimento e Patrimônio de Abastecimento de Água, considerando parâmetros organolépticos, físicos e químicos. Os resultados demonstraram que a água produzida apresenta qualidade adequada para o consumo humano, atendendo aos requisitos de saúde pública.

Palavras-chave: dessalinizador solar, dessalinização, água.

Abstract

The importance and value of water have been increasingly emphasized in recent years due to global population growth, rapid industrialization, and urbanization. Water is essential for life and plays a critical role in natural and human processes, despite the hydrological potential found in the rocks that form the soil. Since the 1950s, desalination technologies have advanced rapidly, driven by the growing global demand for water. These technologies are based on the principles of the natural hydrological cycle. This study aimed to design and build a solar desalination device, evaluate the quality of desalinated water, and analyze the impact of this innovation. The construction of the solar desalination unit was carried out in stages, using materials such as wooden boards, nails, glass, wood glue, Styrofoam, black plastic, a saw, tubes for draining saltwater and potable water, and a thermometer to monitor internal and external thermal conditions. The solar desalination device operates by harnessing solar radiation to create the necessary internal temperature for desalination.

To assess the efficiency of the device, climatological data such as average temperature variations, precipitation, relative humidity, atmospheric pressure, and solar radiation were collected. The desalinated water samples were analyzed at the Water Supply Investment and Asset Fund, focusing on organoleptic, physical, and chemical parameters. The results confirmed that the desalinated water meets the standards for human consumption, ensuring compliance with public health requirements.

Keywords: solar desalination device, desalination, water.

Lista de Abreviaturas, Símbolos e Unidades

FIPAG – Fundo de Investimento e Patrimônio de Abastecimento de Água

INAM – Instituto Nacional de Meteorologia

OMS – Organização Mundial da Saúde

pH – Potencial Hidrogênio

Ca²⁺ – Íon Cálcio

NaCl – Cloreto de Sódio

H₂O – Água

HCO₃⁻ – Íon Bicarbonato

Nitrate (NO₃⁻) – Nitrato

TDS – Total de Sólidos Dissolvidos

L – Litro

mg/L – Miligrama por Litro

°C – Grau Celsius

m² – Metro quadrado

W/m² – Watts por metro quadrado (unidade de radiação solar)

ppm – Partes por milhão

g – Grama

m – Metro

s – Segundo

atm – Atmosfera (unidade de pressão)

MSF-Mult-stage flash distillation (Destilação flash multiestágio)

MED-Multiple effect evaporation (Destilação multiefeito)

VC-Vapor compression evaporation (Evaporação por compressão de vapor)

RO-Reverse osmosis (Osmose reversa)

ED-Electrodialysis (Electrodialise)

NF-Nanofiltração

Índice de Figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1: Distribuição da água no planeta. Fonte: FAO 2007 (Araújo, 2013, p. 1)..... | 4 |
| Figura 2: Classificação dos processos de dessalinização de água. Fonte: (Alves, 2009) | 5 |
| Figura 3: Destilação flash em vários estágios. Fonte: (Branco, 2013)..... | 7 |
| Figura 4: Destilação de múltiplos efeitos. Fonte: (Branco, 2013). | 9 |
| Figura 5: Evaporação por compressão de vapor. | 10 |
| Figura 6: Dessalinização solar.Fonte: (Singh, Vardhan, & Singh, 2011) | 13 |
| Figura 7: Osmose reversa (RO).Fonte: (Osmotech Membranes Pvt. Ltd., 2014)..... | 15 |
| Figura 8: Dessalinizador Electro-Solar. (Paixão, 2017). | 16 |
| Figura 9: Dessalinizador acoplado a concentrador solar (Sengo, 2019)..... | 17 |
| Figura 10: Etapa da construção do dessalinizador solar. a) Concepção da base; b) colocação de Esferovite; c) colocação de vidro; d) exposição do experimento a luz solar..... | 22 |
| Figura 11: Dessalinizador construído. Fonte Autor | 25 |
| Figura 12: Rendimento da dessalinização, tendo em conta a temperatura interior e exterior do sistema do dia 1 de Outubro, em função do tempo em Horas..... | 26 |
| Figura 13: Rendimento da dessalinização, tendo em conta a temperatura interior e exterior do sistema do dia 2 de outubro, em função do tempo em horas..... | 27 |
| Figura 14: Rendimento da dessalinização, tendo em conta a relação entre a temperatura atmosférica e a precipitação. Fonte: https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/zambezia/quelimane-3190/#climate-graph | 28 |
| Figura 15: Variação mensal da nebulosidade. nível de obstrução das nuvens ao longo dos 30 anos..... | 29 |
| Figura 16: Níveis de obstrução das nuvens ao longo dos 30 anos. | 30 |

Índice de Tabelas

| | |
|---|----|
| Tabela 1. Composição legislado da água potável em Moçambique..... | 19 |
| Tabela 2. Apresentação dos matérias usados | 20 |
| Tabela 3. Parâmetros físico-químicos da água dessalinizada..... | 30 |
| Tabela 4. A tabela seguinte mostra o material e custo da aquisição.. | 32 |

Índice

| | |
|---|-----|
| Dedicatória..... | i |
| Declaração de honra | iv |
| Resumo | v |
| Abstract..... | vi |
| Lista de Abreviaturas, Símbolos e Unidades..... | vii |
| Índice de Figuras | ix |
| Índice de Tabelas | x |
| CAPÍTULO 1: Introdução a Objectivos | 1 |
| 1. Introdução | 1 |
| 1.1. Problematização e Justificativa..... | 2 |
| 1.2. Hipótese | 3 |
| 1.3. Objectivos | 3 |
| 1.3.1. Geral | 3 |
| 1.3.2. Específicos..... | 3 |
| CAPÍTULO 2: Revisão de literatura | 4 |
| 2. Distribuição da água no planeta..... | 4 |
| 2.1. Radiação solar | 4 |
| 2.2. Processo de dessalinização | 5 |
| 2.2.1. Processos de dessalinização térmica..... | 5 |

| | | |
|------------------------------|--|----|
| 2.3. | Processo reciclado..... | 7 |
| 2.4. | Destilação flash multiestágio (MSF) | 7 |
| 2.4.1. | Vantagens e desvantagens do MSF | 8 |
| 2.5. | Destilação de múltiplos efeitos | 8 |
| 2.5.1. | Vantagens e desvantagens da destilação multiefeito | 9 |
| 2.6. | Evaporação por compressão de vapor..... | 9 |
| 2.6.1. | Vantagens e desvantagens da evaporação por compressão de vapor | 11 |
| 2.7. | Dessalinização solar..... | 11 |
| 2.8. | Breve historial sobre dessalinizador | 12 |
| 2.9. | Sistema de co-geração para dessalinização de energia e água..... | 12 |
| 2.10. | Tipos de dessalinizadores concebidos em Moçambique-Quelimane..... | 15 |
| 2.10.1. | Dessalinizador Electro-Solar | 15 |
| 2.10.2. | Dessalinizador acoplado a concentrador solar | 16 |
| 2.10.3. | Dessalinização por processo térmico | 18 |
| 2.10.4. | Potabilidade da água | 18 |
| 2.11. | Qualidade da água | 18 |
| CAPÍTULO 3: METODOLOGIA..... | | 20 |
| 3.1. | Local da Concepção do Experimento | 20 |
| 3.2. | Material utilizado e Métodos | 20 |
| 3.3. | Princípios de funcionamento do dessalinizador solar | 23 |

| | |
|---|-----------|
| 3.4. Análise laboratorial | 24 |
| CAPÍTULO 4: RESULTADOS | 25 |
| 4.1. Construção do Dessalinizador..... | 25 |
| 4.2. Rendimento do dessalinizador. | 26 |
| 4.3. Avaliação da qualidade da água e viabilidade da inovação | 30 |
| 4.4. Avaliação do tempo de vida útil do sistema | 31 |
| 4.4.1. Cálculo do custo para obter 5L de água | 31 |
| 4.4.2. Preço de venda de 5L de água dessalinizada..... | 31 |
| 4.4.3. Comparação com o custo de 5L de água no mercado local..... | 32 |
| 4.4.4. Custo na concepção e construção do dessalinizador solar..... | 32 |
| 4.4.5. Produção e custo por litro | 32 |
| 4.5. Impacto econômico | 33 |
| 4.5.1. Comparação com o custo de 5 litros de água no mercado local..... | 33 |
| 4.5. Discussão | 34 |
| CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO..... | 38 |
| 5.1. Conclusão..... | 38 |
| 5.2. Recomendação | 39 |
| 6. Referências bibliográficas..... | 40 |
| 7. Anexos..... | 43 |

CAPÍTULO 1: Introdução a Objectivos

1. Introdução

Dessalinização é um processo que consiste na remoção de sais que está contido na água salgada ou salobra usando as técnicas para auxiliar na remoção de modo a produzir água doce e seu tratamento para a posterior utilização (Luna, 2016). Para o efeito da dessalinização, existe diversos tipos que influenciam no processo de dessalinização. Para o (Gaio, 2016) existe dois tipos dos processos de dessalinização, que são processo de dessalinização térmica e processo de dessalinização por membrana, e no neste trabalho trata-se de trabalho que está contemplado no processo de dessalinização térmica por causa de se tratar de dessalinização que funciona na base da presença da energia vindo da radiação solar, usa-se o sol como a principal fonte de energia para produção da água potável. De modo a avaliar o impacto de uso de dessalinizador solar e o rendimento na cidade de Quelimane, foi necessariamente a análise de dados meteorológico, fornecido pela INAM-Delegação de Quelimane e recorreu-se dados *in-situ* da NASA.

O trabalho visa responder e reduzir a demanda de procura de água doce nas zonas urbanas e suburbanas. A fraca capacidade de fornecimento de água potável é um dos grandes problemas que assola a maior parte das regiões do mundo, principalmente nas zonas semiáridos, e para além de existir escassez de água, a grande parte a água é salobra, imprópria para o consumo humano. Por causa dessa impossibilidade é a razão de necessitar equipamentos e técnicas para dessalinização.

A técnica de dessalinização para a obtenção ou produção de água potável na base da energia da radiação solar tem sido utilizado em vários países por ter uma aceitação significativa, por causa de ser uma tecnologia limpa e sustentável (Marinho, Uchoa, & Aguiar, 2015, p. 3). O trabalho é de extrema importância verificando no grupo alvo, segundo estudo feito na cidade de Quelimane, mostram que o teor de salinidade da água, que contém nos furos ou poços, não está recomendado na legislação moçambicana para o consumo adequado e seguro para o organismo humano, (Inacio, 2022) , este foi uma grande motivação para a elaboração deste trabalho Este trabalho tem o principal objectivo de contribuir no conhecimento científico da dessalinização e o mecanismo de avaliação da água dessalinizada de modo a estabilizar a vida socio económico analisando as vertentes ambientais de cada local, e responder o problema de escassez da água doce nas zonas costeiras.

1.1. Problematização e Justificativa

A escassez de água potável é um problema global que afeta diversas regiões, incluindo a cidade de Quelimane, onde a população depende exclusivamente da distribuição realizada pela única empresa existente, o Fundo de Investimento e Patrimônio do Abastecimento de Água (FIPAG). A maior parte do solo da cidade apresenta altos índices de salinidade, tornando a água dos furos ou poços salobra e inadequada para o consumo humano, o que representa um risco significativo à saúde. Estudos realizados em Quelimane (Inácio, 2022) indicam que o teor de salinidade da água dessas fontes não atende à legislação moçambicana para consumo seguro e adequado.

De acordo com estatísticas de 2013, cerca de 70% da população de Quelimane tem acesso à água potável distribuída pelo FIPAG. No entanto, muitas comunidades ainda enfrentam dificuldades devido à insuficiência da água doce para atender à demanda de toda a população, especialmente em bairros como Chuabo-Dembe, Mirazane e outras localidades ao redor da cidade. Além disso, em regiões próximas ao mar, como Ilova (Inhassunge) e Madome (Micaúne), onde também há falta de furos com água potável, as comunidades precisam percorrer longas distâncias para buscar água para consumo e uso doméstico.

Nesse contexto, o presente trabalho propõe soluções para comunidades que enfrentam escassez de água, explorando a viabilidade do uso de água dessalinizada. Estudos demonstram que a água do mar e do estuário apresenta propriedades físico-químicas e organolépticas dentro dos parâmetros estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS) após o processo de dessalinização. Dessa forma, o trabalho busca garantir o uso seguro da água dessalinizada sem comprometer a saúde humana. Adicionalmente, o estudo avalia parâmetros meteorológicos que influenciam a radiação solar, com o objetivo de otimizar o desempenho de um dessalinizador caseiro de baixo custo. Este sistema apresenta vantagens por sua dependência total de energia solar e seu baixo impacto ambiental, sem contribuir negativamente para as mudanças climáticas.

A motivação principal para a elaboração deste tema é apoiar as comunidades de Quelimane e arredores, bem como outras regiões costeiras, ao oferecer uma solução acessível e sustentável para o abastecimento de água potável. O foco é melhorar a qualidade de vida, promovendo alternativas seguras e eficazes para mitigar os efeitos da escassez de água nessas áreas vulneráveis.

1.2. Hipótese

H_0 : Espera-se que o processo de dessalinização da água seja viável para a comunidade;

H_1 : Espera-se que o processo da água dessalinizada não seja viável para a comunidade.

1.3.Objectivos

1.3.1. Geral

- Avaliar a viabilidade de uso da água dessalinizada através de um dessalinizador solar

1.3.2. Específicos

- Construir um dessalinizador solar e dessalinizar a água do mar;
- Determinar o custo para obtenção da água dessalinizada;
- Analisar a qualidade (potabilidade) da água dessalinizada.

CAPÍTULO 2: Revisão de literatura

2. Distribuição da água no planeta

A água por natureza está distribuída em salgada; salobra e doce. Segundo (Araújo, 2013) e num artigo publicado pela FAO (2007), a maior parte da superfície do planeta é constituída por água que atinge 75%. Na sua totalidade, os 97,5% é a parte constituída por água salgada, e 2,5% constituída por água doce.

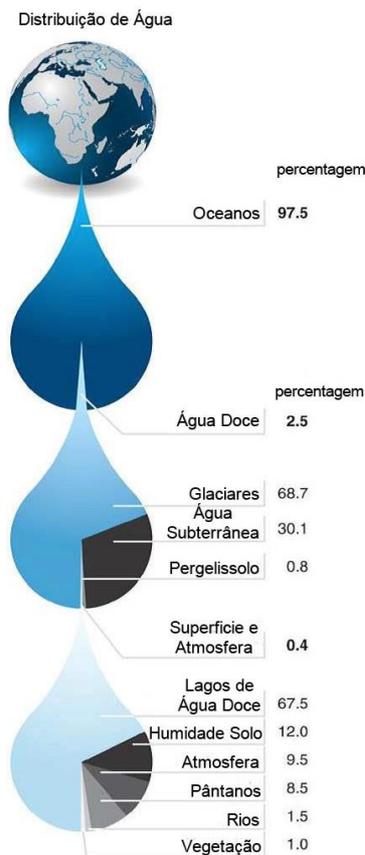


Figura 1: Distribuição da água no planeta. Fonte: FAO 2007 (Araújo, 2013, p. 1)

2.1. Radiação solar

Radiação solar é definida como energia emitida pelo sol com a capacidade de fornecer a luz e o calor para a superfície da Terra. (Martinazzo, 2004). O conhecimento da radiação solar local é essencial para o projeto adequado de sistemas de energia predial, sistemas de energia solar e uma boa avaliação da temperatura ambiente dentro dos edifícios (L.T. Wong, 2001, p. 1)

2.2. Processo de dessalinização

Diferentes processos de dessalinização foram desenvolvidos, alguns deles atualmente em pesquisa e desenvolvimento. As duas principais tecnologias usadas principalmente para dessalinização são:

- Tecnologia de dessalinização térmica
- Tecnologia de dessalinização por membrana

Ambas as tecnologias incluem uma série de processos diferentes, além destes existem tecnologias alternativas como congelamento e troca iônica que geralmente não são utilizadas. Todas essas tecnologias precisam de energia para funcionar. A energia convencional ou energia renovável é geralmente utilizada nestes métodos (Figura 1).

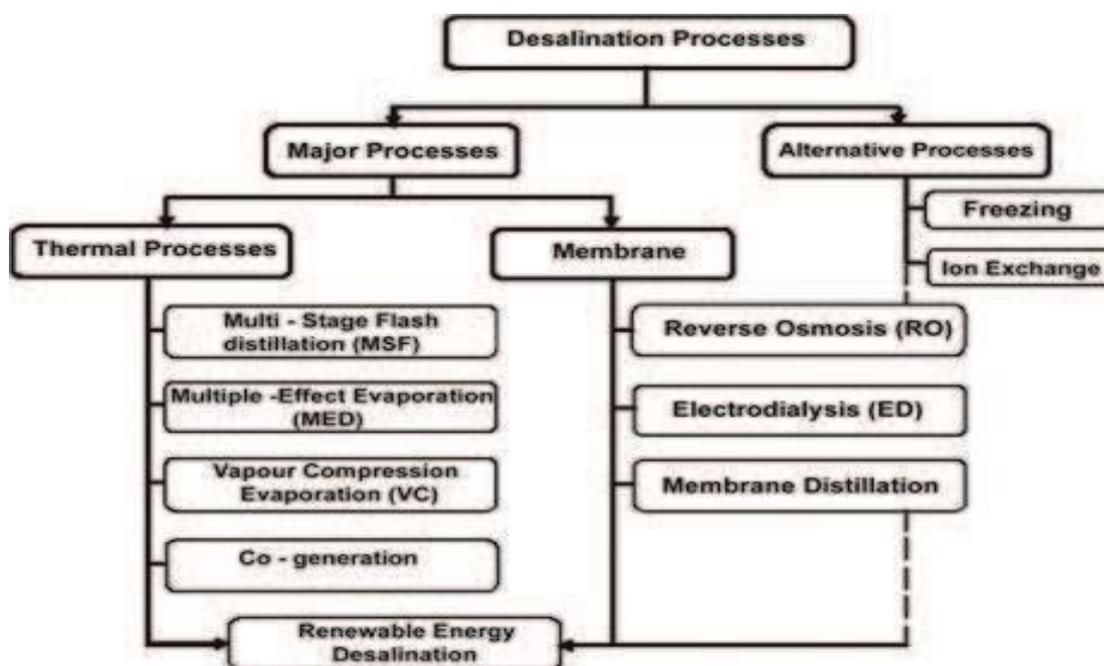


Figura 2: Classificação dos processos de dessalinização de água. Fonte: (Alves, 2009)

2.2.1. Processos de dessalinização térmica

É geralmente conhecido como destilação. É uma das formas mais antigas de dessalinizar a água do mar e convertê-la em água potável. Esta tecnologia raramente é usada para dessalinizar água salobra, pois é cara.

Esta tecnologia baseia-se nos princípios de ferver a água salina e evaporá-la e depois recolher o vapor condensado para obter água pura. O sal é deixado para trás e o destilado é coletado.

Os processos de dessalinização térmica são subdivididos nos seguintes tipos:

- Destilação flash multiestágio (MSF)
- Destilação multiefeito (MED)
- Evaporação por compressão de vapor (VC)
- Cogeração
- Dessalinização solar de água

O princípio do processo de destilação flash multiestágio envolve a destilação através de muitas câmaras (multiestágios) (Figura 2). Aqui, cada estágio sucessivo da planta funciona a pressões progressivamente baixas. A água de alimentação é inicialmente aquecida sob alta pressão e passada para a primeira câmara de vaporização. Na primeira câmara de flash, a pressão é liberada, fazendo com que a água ferva rapidamente, resultando em rápida evaporação ou flashing. Este processo continua em cada estágio sucessivo porque a pressão no estágio seguinte é menor que a do estágio anterior. O vapor que é produzido pela flashing é convertido em água doce, condensando-a na tubulação do trocador de calor presente em cada estágio. Os tubos são então resfriados pela entrada de água de alimentação do resfriador.

No processo MSF mostrado na Figura 3, a água de alimentação (água salina) é aquecida em um recipiente conhecido como aquecedor de salmoura até atingir uma temperatura abaixo da temperatura de ebulição de saturação.

A água do mar aquecida flui então através de uma série de vasos, em sequência, onde a pressão atmosférica mais baixa faz com que a água ferva rapidamente e se vaporize. Esta introdução repentina de água quente na câmara de pressão reduzida é chamada de “efeito intermitente” porque a água quase se transforma em vapor. Uma pequena percentagem dessa água é convertida em vapor da água e essa percentagem depende principalmente da pressão dentro do estágio. O vapor gerado pelo flashing é convertido em água doce ao se condensar nos tubos dos trocadores de calor (condensadores) que passam por cada estágio. A água de alimentação que entra no aquecedor de salmoura resfria os tubos. Isto, em troca, a construção das usinas de destilação MSF começou no final da década de 1950. Algumas dessas plantas MSF podem compreender de 15 a 25 estágios.

2.3. Processo reciclado

No projeto de passagem única, a água de alimentação ou água salina passa pelo aquecedor e pelas câmaras de vaporização apenas uma vez e depois é descartada. No design reciclado, a água de alimentação utilizada para fins de resfriamento também é reciclada. Todos esses processos podem ser estruturados como um projeto de tubo longo ou tubo cruzado. No caso de projeto de tubo longo, a tubulação é paralela ao fluxo de concentrado e no caso de projeto de tubo cruzado, a tubulação é perpendicular ao fluxo de concentrado. Atualmente, MSF produz cerca de 64% do total mundial de água dessalinizada. Embora este processo seja a fonte mais confiável para a produção de água potável a partir da água do mar, ainda é considerado um processo que exige energia e requer energia térmica e mecânica.

2.4. Destilação flash multiestágio (MSF)

As plantas MSF são propensas à corrosão, a menos que seja usado aço inoxidável. Além da corrosão, as plantas MSF também estão sujeitas à erosão e ao ataque de impacto. Esta erosão é geralmente causada pela turbulência da água de alimentação na câmara de flash, quando esta passa de um estágio para outro.

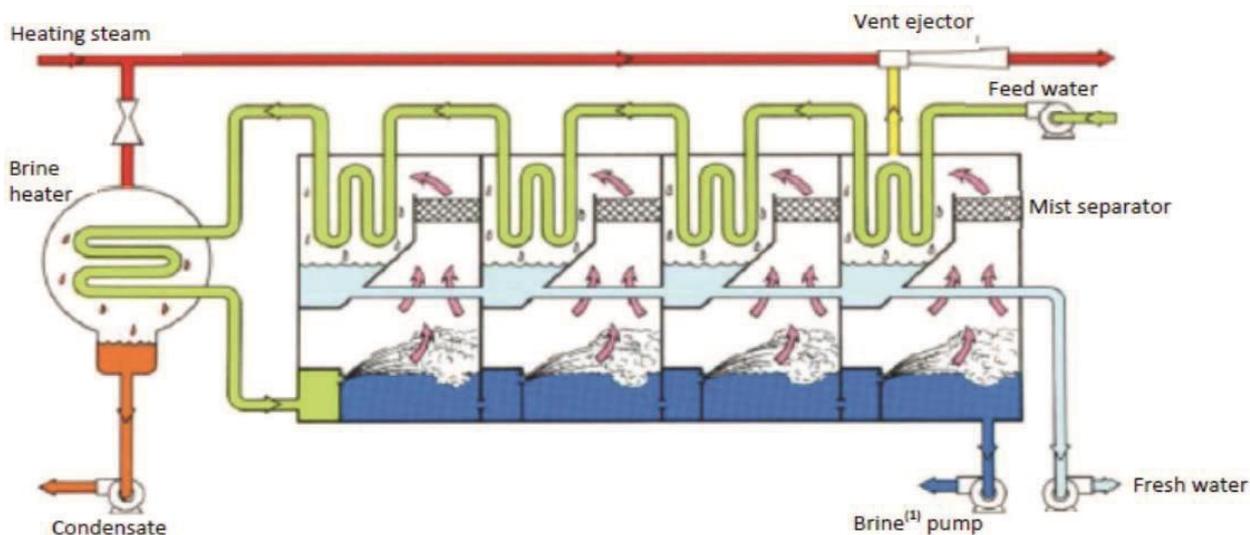


Figura 3: Destilação flash em vários estágios. Fonte: (Branco, 2013).

2.4.1. Vantagens e desvantagens do MSF

As usinas MSF são relativamente simples de construir e fáceis de operar. Eles não possuem partes móveis, exceto bombas convencionais, e contêm apenas uma certa quantidade de tubulação de conexão. A qualidade da água efluente contém 2–10 ppm de sólidos dissolvidos, o que significa um alto nível de purificação. Por isso, é remineralizado no processo pós-tratamento para torná-lo palatável e adequado para consumo.

Embora a operação de plantas em temperaturas mais altas (acima de 115°C) melhore sua eficiência, mas cause problemas de incrustação porque os sais como o sulfato de cálcio precipitam nas superfícies dos tubos e causam problemas térmicos e mecânicos, como entupimento dos tubos.

É considerado um processo intensivo em energia, que requer energia térmica e mecânica, mas pode ser superado pelo sistema de cogeração.

A adição de mais etapas ao MSF melhora a sua eficiência e aumenta a produção de água, mas aumenta o custo de capital e causa complexidade operacional. (Figura 3).

2.5. Destilação de múltiplos efeitos

O processo de destilação multiefeito tem sido usado desde o final dos anos 1950 e início dos anos 1960. A destilação multiefeito emprega os mesmos princípios da destilação flash multiestágio, mas, ao contrário, ocorre em uma série de recipientes (efeitos) e utiliza os princípios de evaporação e condensação a pressão ambiente reduzida.

No processo de destilação multiefeito, uma série de efeitos do evaporador produzem água a pressões progressivamente mais baixas. À medida que a pressão diminui sucessivamente, a água ferve a temperaturas mais baixas e o vapor de água do primeiro recipiente serve como meio de aquecimento para o segundo, e assim por diante. Quanto mais vasos ou efeitos, maior será a taxa de desempenho. O vapor de água que é formado durante a fervura da água, é condensado e coletado. O uso de múltiplos efeitos torna esse processo mais eficiente.

A destilação multiefeito é conhecida por ser o método de destilação em grande escala mais antigo para dessalinizar a água do mar. Suas principais características são água destilada de alta qualidade, alta capacidade unitária e alta eficiência térmica.

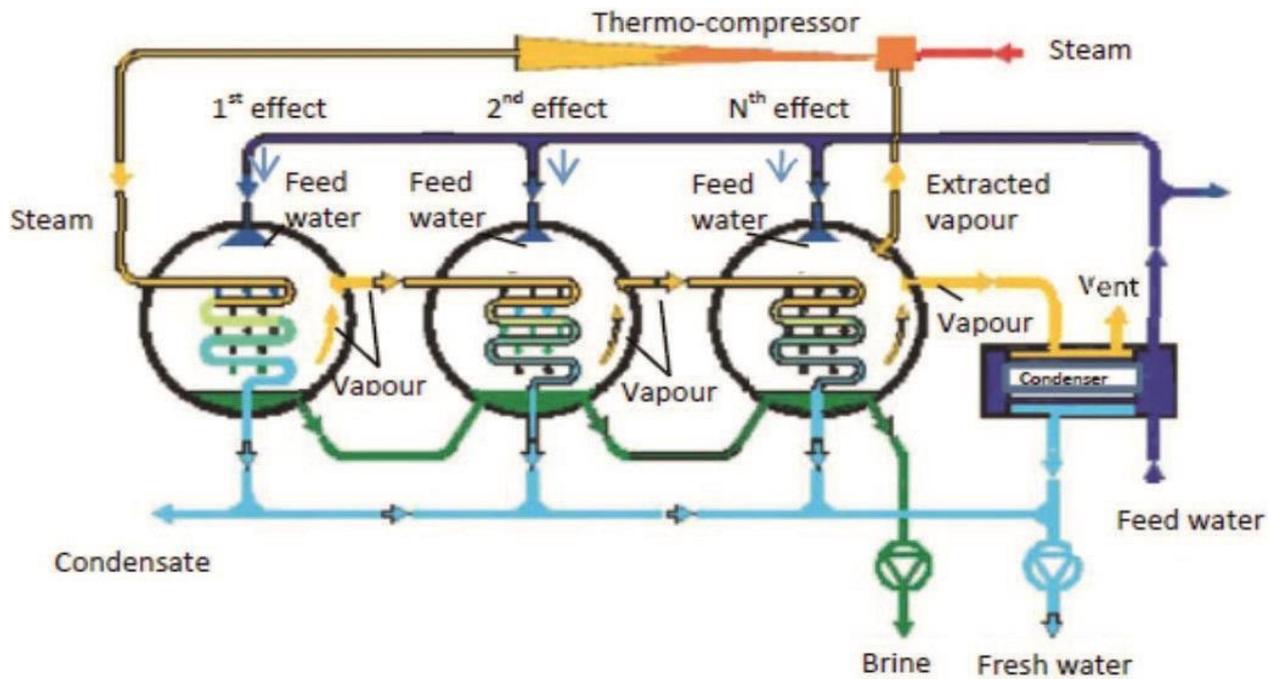


Figura 4: Destilação de múltiplos efeitos. Fonte: (Branco, 2013).

2.5.1. Vantagens e desvantagens da destilação multiefeito

O processo de destilação multiefeito foi projetado para operar em temperaturas mais baixas de 70°C. Isto diminui a corrosão do tubo e a formação de incrustações nas superfícies do tubo.

A qualidade da água de alimentação não é tão importante quanto na tecnologia do sistema de Osmose Reversa. Conseqüentemente, o custo de pré-tratamento e operação desta tecnologia é baixo.

O consumo de energia nesta tecnologia é inferior ao do MSF e o desempenho é superior ao das plantas MSF. Portanto, a tecnologia MED pode ser considerada rentável e mais eficiente do que a tecnologia MSF em termos de produção de água potável (Figura 4).

2.6. Evaporação por compressão de vapor

O processo de destilação por compressão de vapor (VCD) ou evaporação por compressão de vapor é operado individualmente ou usado junto com outros processos como MED e compressão de vapor de efeito único. Neste método o calor para evaporação da água de alimentação provém da compressão do vapor e não da troca direta de calor do vapor produzido em uma caldeira.

Dois dispositivos são geralmente usados neste processo para condensar o vapor de água e gerar calor adequado para evaporar a água do mar. Entre eles, um é um compressor mecânico (compressão

mecânica de vapor) e o outro um jato de vapor (compressão térmica de vapor). As unidades de compressão de vapor (VC) são construídas em diferentes configurações. O compressor mecânico é geralmente usado para gerar calor para evaporação e funciona normalmente com eletricidade ou diesel. Este compressor cria vácuo no evaporador e comprime o vapor obtido do evaporador, condensando-o em um feixe de tubos.

A água de alimentação é pulverizada fora do feixe de tubos aquecido. Aqui a água ferve e evapora parcialmente criando mais vapor.

No caso de destilação por compressão a vácuo do tipo jato de vapor, um orifício de risco presente no jato de vapor cria vapor d'água e o extrai do vapor d'água, criando uma temperatura atmosférica mais baixa. O vapor d'água extraído é comprimido pelo jato de vapor e condensado nas paredes do tubo para fornecer calor de condensação para evaporar a água de alimentação que está sendo bombeada do outro lado do evaporador. Essas unidades geralmente têm capacidade menor e são utilizadas principalmente em hotéis, resorts e indústrias.

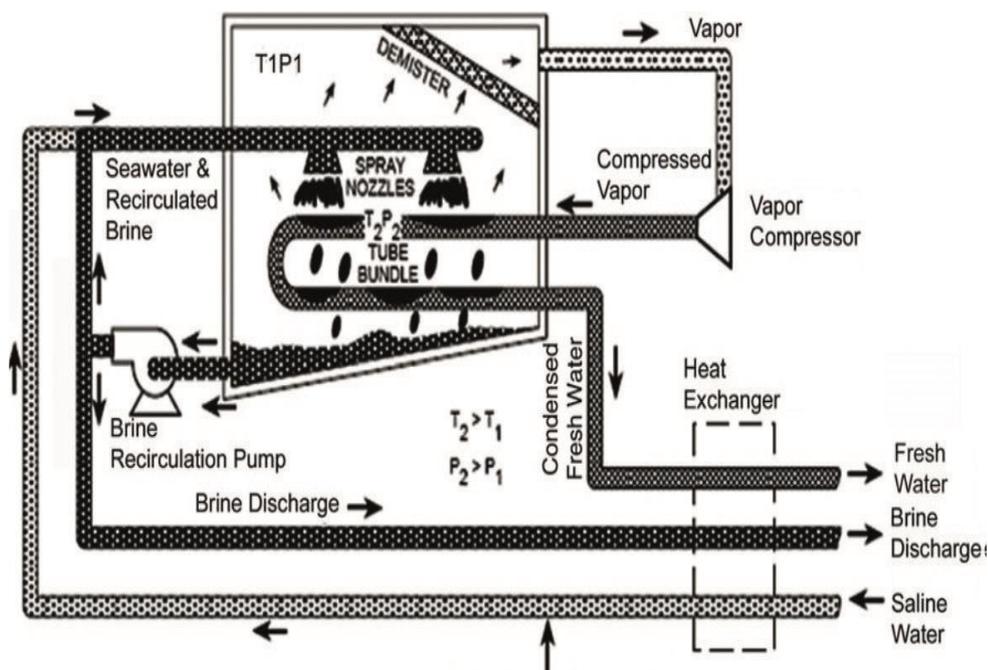


Figura 5: Evaporação por compressão de vapor.

2.6.1. Vantagens e desvantagens da evaporação por compressão de vapor

Este método é simples e confiável e, portanto, pode ser considerado a melhor opção para unidades de dessalinização de pequena escala. Geralmente têm capacidade de 3.000 m³/dia e geralmente são utilizados em resorts, indústrias e locais de perfuração onde há escassez de água doce. A temperatura operacional da destilação ou evaporação do VC é baixa, o que o torna um processo simples e eficiente em termos de consumo de energia. Como as temperaturas de operação são baixas (abaixo de 70°C), o potencial de formação de incrustações e corrosão do tubo é reduzido.

2.7. Dessalinização solar

Segundo (Coelho e Azeredo, 2016), A destilação solar é um processo de dessalinização, ou seja, a separação entre água e sal, através da tecnologia mais simples, a qual se utiliza o processo do efeito estufa para proceder a evaporação. Para (Antonio Marcos de Oliveira Siqueira, 2019, p. 3) Dessalinização é um processo que se classifica em relação a formação de fases e em relação as fontes de energias necessárias para o processo de realização do trabalho. Quanto a formação de fases o processo em classificado em térmico, que envolve o processo de mudanças de fases ou de separação por separação de membrana, (não envolve o processo de mudanças de fases). Quanto a energia necessária para a realização do trabalho pode ser mecânica ou elétrica. Segundo Buros (1980) a dessalinização solar é um processo contínuo e natural que responde o processo hidrológico natural da água num sistema físico, fechado, sequencial e dinâmico (UCHÔA, TAYAMA RODRIGUES, 2016, p. 15).

O método de dessalinização solar é geralmente usado para operações de pequena escala (Figura 5). Embora os designs dessas unidades sejam diferentes, o princípio básico é o mesmo. Aqui, o sol fornece energia térmica para evaporar a água doce da água salgada.

No processo de destilação solar, o vapor d'água gerado no processo de evaporação condensa em uma cobertura de vidro ou plástico transparente e então é coletado como água doce em uma calha de condensado. A cobertura é utilizada para dois propósitos: um para transmitir energia radiante e segundo para permitir que o vapor de água se condense em sua superfície interna.

O sal que sobra e a água não evaporada presente na bacia de destilação devem ser descartados de forma adequada. A destilação solar é usada principalmente em regiões áridas onde não há água doce

segura disponível. As unidades de destilação solar produzem quantidades variadas de água doce, com base no seu desenho e localização geográfica.

2.8. Breve historial sobre dessalinizador

Segundo (Santos, 2013, p. 11) A aplicação do dessalinizador surge a partir dos países pioneiros que pretendiam produzir água potável para a distribuição no meio urbano, localizado no golfo pérsico (Kuwait, Arabia Saudita, etc.).

Em 1875 foi concebida a primeira experiência Americana referente a dessalinização com foco destilar a água a partir da radiação solar.

A aparição da ideia de estabelecer o dessalinizador surgiu durante a II guerra mundial, com a ideia de abastecer a água potável aos soldados em zonas com escassez de água potável, assim como nos navios de guerra (usando as caldeiras a vapor para produzir água potável). Mas após a II guerra mundial, devido do aumento populacional urbana e a evolução industrial, a necessidade de garantir a água com boa qualidade ganhou maior índice de procura, e surge o interesse pela dessalinização

2.9. Sistema de co-geração para dessalinização de energia e água

Existe a possibilidade de utilização de energia para sistemas de dupla finalidade ou de cogeração em que as fontes de energia podem desempenhar diversas funções, como geração de energia elétrica e dessalinização de água. Nestas centrais de cogeração, a eletricidade é gerada com vapor de alta pressão para o funcionamento das turbinas e o vapor é produzido por caldeiras a temperaturas até 5408°C. Quando esse vapor se expande nas turbinas, sua temperatura e seus níveis de energia são reduzidos. Como sabemos que as usinas de destilação necessitam de vapor com temperaturas inferiores a 1208°C, este pode ser facilmente obtido na extremidade da turbina após o aproveitamento máximo de energia na geração de energia elétrica. O vapor é utilizado para o processo de dessalinização e o condensado do vapor é então retornado à caldeira para ser reaquecido novamente para ser utilizado na turbina

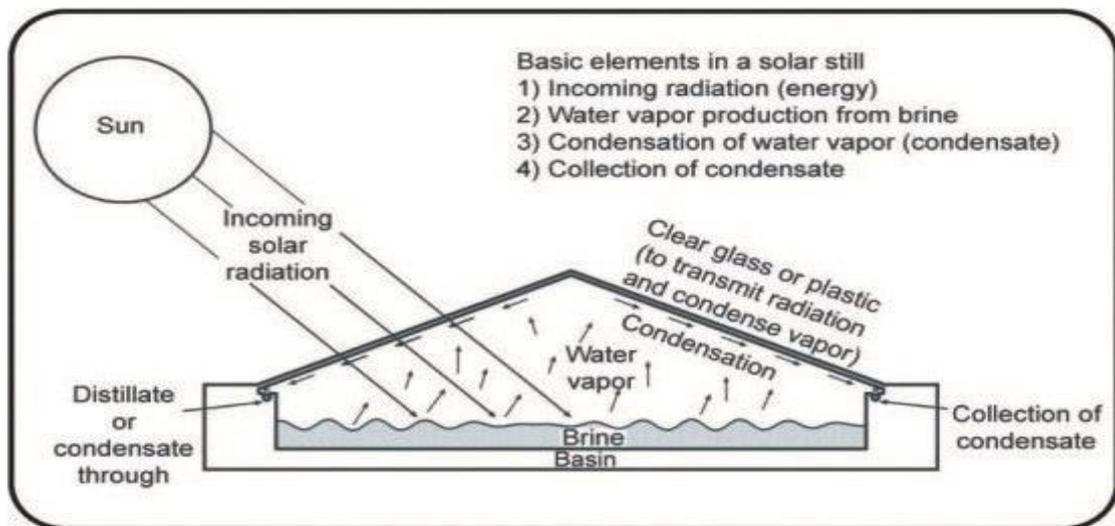


Figura 6: Dessalinização solar. **Fonte:** (Singh, Vardhan, & Singh, 2011)

A principal vantagem do sistema de cogeração é que ele utiliza muito menos combustível do que outras usinas que operam separadamente e os custos de energia são menores no processo de dessalinização. Pelo contrário, uma das desvantagens é que podem ocorrer problemas devido ao acoplamento permanente entre a central de dessalinização e a central elétrica, o que pode criar um problema na produção de água quando a necessidade de electricidade é reduzida ou quando a turbina ou gerador tem um problema.

Inicialmente, as aplicações da membrana estavam confinadas ao tratamento de água municipal, como microfiltração e dessalinização, mas devido aos avanços na tecnologia e ao desenvolvimento de novas membranas, ela é usada não apenas para purificação de água, mas também em separações químicas, concentração de enzimas e purificação de bebidas. Os processos de membrana utilizam uma membrana relativamente permeável para mover água ou sal para produzir duas zonas de concentrações diferentes para produzir água doce. Esses processos também são úteis no tratamento de água municipal. A osmose reversa e a eletrodialise (ED) estão substituindo outras tecnologias de dessalinização por mudança de fase no fornecimento de água às comunidades costeiras e insulares em todo o mundo. O RO está emergindo como uma alternativa econômica aos processos tradicionais de amaciamento de água. A tecnologia de membranas consiste em vários processos, mas a principal diferença entre eles reside no tamanho dos íons, moléculas e partículas suspensas que são retidos ou deixados passar através das membranas. Os principais processos de separação incluem nanofiltração, ultrafiltração, microfiltração e filtração usadas nas etapas de pré-tratamento da dessalinização que são usadas para remover partículas grandes, bactérias, íons e para amaciar a água.

Os processos de membrana são ainda categorizados em

- Osmose Inversa
- Electrodialise
- Destilação por membrana
- Osmose reversa (RO) e nanofiltração (NF)

Quando comparada a outros processos, a Osmose Reversa (RO) é um processo relativamente novo usado para dessalinização (Figura 6). O princípio envolvido neste processo de OR é que ele usa a pressão como força motriz para empurrar a água de alimentação através de uma membrana semipermeável para um fluxo de água de produto e um fluxo de salmoura concentrada [20].

A nanofiltração (NF) também é um processo de membrana semelhante que é usado para remoção de íons salinos divalentes, como cálcio, magnésio e sulfato. RO também é usado para remoção de íons sódio e cloreto.

A osmose é um fenômeno natural pelo qual a água de uma solução com baixa concentração de sal flui para uma solução mais concentrada através de uma membrana semipermeável. Quando a pressão é aplicada à solução de maior concentração de sal, a água começa a fluir na direção inversa através da membrana semipermeável, deixando o sal para trás. Isso é conhecido como processo de osmose reversa ou processo RO. Aqui as configurações da membrana consistem em espiral enrolada, fibra oca e folha com espiral. As pressões operacionais para osmose reversa e nanofiltração variam entre 50 e 1000psig.

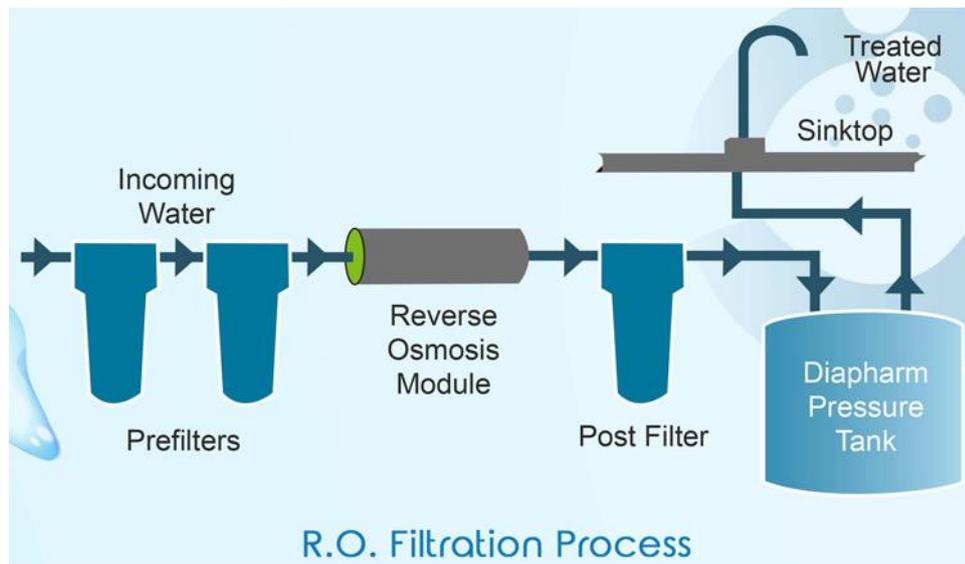


Figura 7: *Osmose reversa (RO).* Fonte: (Osmotech Membranes Pvt. Ltd., 2014)

Uma planta de dessalinização RO é composta principalmente por quatro sistemas principais:

- Sistema de pré-tratamento
- Bombas de alta pressão
- Sistemas de membrana

2.10. Tipos de dessalinizadores concebidos em Moçambique-Quelimane

2.10.1. Dessalinizador Electro-Solar

Segundo (Joaquim, 2023), A água colocada no dessalinizador para a dessalinização é aquecida pelo calor da radiação solar e pelos aquecedores eléctricos que fazem com que a água passe pelo processo de evaporação. O vapor condensa nas laterais das paredes da capa plástica transparente e escorre em forma de pequenas gotas até um reservatório. Portanto tem a vantagem de utilizar a energia eléctrica e solar para activar o seu desempenho, fica exposto e a funcionar com os dois processos durante 12h por dia. Toda via para obter este dessalinizador requer elevados custos para construção, compra de energia e ainda usa - se maior quantidade de água salgada para produzir quantidades muito inferiores a que se espera (Paixão, 2017).

Este dessalinizador proposto foi pintado a preto que absorve maior energia incidente, para começar a dessalinização e atingir o ponto de ebulição da água, deve estar a uma temperatura ambiente mínima (28°C). Com a ebulição da água, o vapor tende a escapar de um tudo de alumínio ou cobre que fica

do lado de fora do dessalinizador com uma parte mergulhado num recipiente contendo água fria, para que ocorra a mudança de estado gasoso para líquido. (Paixão, 2017)



Figura 8: Dessalinizador Electro-Solar. (Paixão, 2017).

2.10.2. Dessalinizador acoplado a concentrador solar

Para o (Joaquim, 2023), Este dessalinizador é exposto aos raios solares, mas acoplado a um concentrador solar (fogão solar), recebe a radiação que o fogão recebe e reflecte, também recebe a radiação directa do sol. Para activar o seu funcionamento depende da energia que recebe directamente do sol, energia reflectida, também depende da temperatura ambiente e a velocidade do vento. Porém nos dias em que não há sol este dessalinizador não funciona. (Sengo, 2019). A água salobre ou salgada é colocada no dessalinizador, após isso o dessalinizador é posto na base do fogão, com o aquecimento solar e a energia reflectida pelo fogão que o dessalinizador recebe, a água aquece e começa o processo de evaporação, vapor este que é conduzido pelo tubo de cobre até um recipiente contido de água fria para o processo de conversão do estado gasoso para líquido, portanto depois da mudança de estados a água dessalinizada é colectada por um recipiente limpo posicionado no final do tubo. (Sengo, 2019)



Figura 9: Dessalinizador acoplado a concentrador solar (Sengo, 2019).

Em muitas situações de tratamento, ocorre a necessidade de se alterar o valor do pH das águas, de forma a atender a determinadas exigências. Para a elevação de pH, os compostos mais utilizados são a soda cáustica (hidróxido de sódio), a cal hidratada (hidróxido de cálcio) e a barrilha (carbonato e bicarbonato de sódio). (Branco, 2013)

A soda cáustica apresenta como principal vantagem a sua elevada solubilidade, possibilitando uma operação mais simples do sistema de dosagens. A cal é mais barata, mas a sua baixa solubilidade e a presença de impurezas como a areia, que provoca corrosão em sistemas de recalque, prejudicam o seu uso. Existe uma cal especial para uso no tratamento de águas, com pureza elevada. A cal tem a vantagem, em relação à soda, de apresentar o íon cálcio, que é bivalente. Isto pode ser importante quando se deseja a ocorrência de floculação, além da alteração do pH. (Alves, 2009), utilizada em reactores anaeróbios desequilibrados, onde além da elevação do pH se deseja sua manutenção naquele patamar mais elevado. Para a redução do pH normalmente empregam-se ácidos minerais, como o clorídrico e sulfúrico. Normalmente o ácido clorídrico comercial (muriático) é mais barato, além do que, quando se trata de um efluente industrial a ser lançado na rede pública de esgotos, a presença de sulfato é mais preocupante por poder ser reduzido a sulfeto em meio anaeróbio, trazendo problemas de odor, toxicidade e corrosividade (Sengo, 2019).

2.10.3. Dessalinização por processo térmico

Neste tipo do processo de dessalinização, envolve as mudanças de fase. Este método de dessalinização tem o efeito do processo hidrológico, em a água salgada é aquecida e pela presença do efeito da temperatura provoca calor que como consequência executa-se o vapor da água, e a água que evapora é doce, ou sem a presença de sais. Os factor importante para este processo é a temperatura do ambiente, a pressão do ambiente e a energia suficiente para vaporização (Saadat, 2017, p. 81).

Segundo (Fabiano A.N. Fernandes, 2006, p. 1), termodinâmica é um conhecimento aplicado para estudar as mudanças de estados ou condições das substâncias puras ou misturas a partir das alterações da temperatura, pressão e estado de agregação. A termodinâmica tem como princípios fundamentais para a compreensão dos processos que as misturas podem ser separados ou reagir entre si para a geração do calor e trabalho. O equilíbrio térmico tem como o principal ponto de partida a termodinâmica.

2.10.4. Potabilidade da água

De acordo com Funasa (2004), A água potável é toda aquela que apresenta parâmetros padronizado para consumo humano, que não ofereça riscos contra saúde, e os tais parâmetros avaliados que constitui na potabilidade são: microbiológicos; físicos; químicos e radioativos (UCHÔA, TAYAMA RODRIGUES, 2016, p. 15).

2.11. Qualidade da água

Os parâmetros da qualidade de água, determinam o impacto dos riscos contra a saúde humana, por esta razão existe padrões legislado pela OMS de modo a garantir o bem-estar social. Segundo (Sidumo, 2017, p. 5) Os parâmetros que indicam a qualidade de água recomendáveis, estão plasmados no anexo I do presente regulamento (Lei nº 16/91 de 3 de agosto), e são ilustrados pela abaixo:

Tabela 1. Composição legislado da água potável em Moçambique

| Parâmetros | | Limite máximo admissível | Unidades |
|------------|-------------------|--------------------------|--|
| | Coliformes totais | Ausente | NMP* / 10.0 ml ou N°. de colónias / 100 ml |
| | Coliformes fecais | Ausente | NMP* / 10.0 ml ou N°. de colónias / 100 ml |
| | Víbio cholerae | Ausente | 1000ml |
| | Amoníaco | 1,5 | mg/l |
| | Nitrato | 50 | mg/l |
| | Nitrito | 3 | mg/l |
| | pH | 6 a 9 | |
| | Cálcio | 50 | mg/l |
| | Cloretos | 250 | mg/l |

CAPÍTULO 3: METODOLOGIA

3.1. Local da Concepção do Experimento

O experimento foi conduzido na Oficina de Engenharia e Tecnologia da Escola Superior de Ciências Marinhas e Costeiras, localizada na cidade de Quelimane, província da Zambézia, Moçambique. A oficina está situada entre as coordenadas 17°52'24.25"S e 36°51'31.68"E, em uma região com alta incidência de radiação solar, fator essencial para o funcionamento do dessalinizador solar. A escolha do local deve-se à infraestrutura disponível para a construção do sistema, bem como à proximidade com condições reais de aplicação, como comunidades costeiras com escassez de água potável. Por outra, o clima tropical da região, caracterizado por temperaturas elevadas e boa disponibilidade de radiação solar ao longo do ano, é ideal para avaliar a eficiência do dessalinizador.

3.2. Material utilizado e Métodos

Concepção do Sistema de dessalinização da água, foram consultadas referências bibliográficas de autores que terão desenvolvido sistemas de dessalinização.

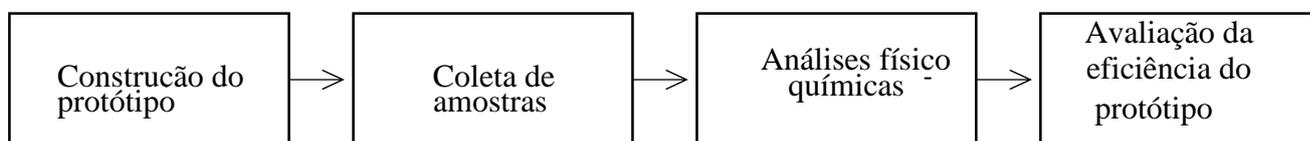


Figura 10 Fluxograma com as etapas aplicadas

Para o Sistema construído, a concepção consistiu na identificação de um Sistema cujo o material de construção está presente no Mercado local e que o mesmo esteja operacional com a radiação solar; para tal foram identificadas as seguintes matérias:

Tabela 2. Apresentação dos matérias usados

| Ordem | Nome do material | Dimensão |
|-------|---------------------|--------------|
| 1 | Tábua/contraplacado | (100x25x2.5) |
| 2 | Ripas /Barrote | (100x4x2.5) |

| | | |
|-------|-----------------------------|--------------|
| 3 | Cola de madeira | (500ml) |
| 5 | Plástico escuro | (100x100) |
| 6 | Vidro | (100x70x0.3) |
| 7 | Tubo plástico de escoamento | (D=1cm) |
| 8 | Torneira e Fita métrica | |
| 9 | Pregos | (2.5' e 3') |
| 10 | Esferovite | (100x70x7) |
| 11 | Cerra de madeira | |
| 13 | Garrafa plástica | (0.5L) |
| 14 | Termómetro | |
| 15 | Mão-de-obra | |
| Total | | |

O presente trabalho foi desenvolvido em quatro fases principais:

- (i) **Revisão bibliográfica:** Realizou-se uma revisão bibliográfica para identificar suporte científico relevante à experiência do projeto.
- (ii) **Concepção do sistema de dessalinização:** A concepção do sistema foi baseada em soluções compatíveis com os recursos materiais e financeiros disponíveis localmente, considerando a realidade do país. Os materiais utilizados (Tabela 2) foram adquiridos no mercado local, incluindo a mão de obra. O sistema foi projetado para atender às condições ambientais do local de execução.
- (iii) **Construção do dessalinizador:** A construção iniciou-se com a preparação da base, utilizando tábuas e pregos para garantir estabilidade e segurança. Os materiais auxiliares incluíram martelo, fita métrica, esquadro, serrote, catana e marcador, fundamentais para a execução eficiente do trabalho.

Em seguida, culminou na colocação de esferovite ou isolamento térmico, para garantir a retenção do calor específico dentro do sistema. O isolamento tem a função de estabilizar o calor de modo que não exista a transferência de calor para o meio externo, na colocação do isolamento possibilita a dessalinização, mesmo em temperaturas menos consideráveis. Sobre o mesmo objectivo colocou-se o plástico negro por cima de isolamento térmico de modo a garantir a retenção de calor proveniente da radiação solar. A posterior fez se a colocação de vidros e a aplicação de cola de vidro e de madeira,

de modo a fixar a estabilidade do vidro e de modo a não permitir a transferência do calor para o meio externo.

Na fase final, foi exposto ao sol para efetuação do processo de dessalinização, visto que o instrumento só é aplicável na presença da radiação solar que influencia na existência de temperatura é calor, que pela qual provoca o movimento da partícula de água que consequentemente influencia no processo hidrológico. Para que exista o processo de dessalinização por esta via, e necessariamente que exista o aspecto climatológico ambiental considerável para a sua maior eficiência na produção ou de água doce. Sendo que a captação das águas salobres abastecer o sistema será no estuário dos bons sinais.



Figura 11: Etapa da construção do dessalinizador solar. a) Concepção da base; b) colocação de Esferovite; c) colocação de vidro; d) exposição do experimento a luz solar.

O sistema de dessalinização foi estabelecido numa miniatura com uma área correspondente 120cm X 60cm. Depois do seu processo de dessalinização a água é direcionada para um tanque plástico para a conservação, o tanque será de 500 litros suspenso a 4 metros de altura, e através de um eletrobomba, e a partir de desse tido processo a água será abastecido a comunidade.

Considera-se este trabalho de protótipo por ser uma simulação idealizada de um produto que se pretende desenvolver e comercializar. Neste protótipo a principal função do protótipo é permitir que os desenvolvedores compreendam como será a versão final do produto, possibilitando testes repetidos para identificar falhas e ajustes necessários antes da produção em massa. o protótipo serve como uma ferramenta crucial no processo de desenvolvimento, permitindo a validação e iteração antes da implementação final.

(iv) Avaliação da qualidade da água e da viabilidade do sistema

A viabilidade do trabalho foi avaliada tendo em conta: A potabilidade da água dessalinizada; A quantidade de água produzida por dia/mês; A quantidade de família abastecida por dia/mês; O custo de água por dia por cada litro/25 litros; O tempo de vida do sistema; Os custos operacionais do sistema.

Para garantir a potabilidade da água dessalinizada foi analisada a qualidade da água (em termos potabilidade) no laboratório da FIPAG.

Apos a construção, o Dessalinizador foi ensaiado sob várias condições meteorológicas (os dados são descritos abaixo) de modo a garantir o ótimo período da sua aplicabilidade e enquanto funcionava:

Era registado a hora de colocação ao sol, a variação da temperatura dentro e fora do dessalinizador, A quantidade de água dessalinizada, Para além disso, foram usados dados de radiação solar, temperatura e humidade do ar a fim de identificar melhor período do ano para o funcionamento do sistema.

3.3. Princípios de funcionamento do dessalinizador solar

O dessalinizador solar é um instrumento que é usado para o auxílio do processo de remoção dos sais através do aquecimento do meio ambiente em que se encontra (Adriano Oliveira da Silva, 2020). A presença da radiação solar, faz com que haja o efeito do aumento da temperatura e consequentemente

provoca o calor que por sua vez permite a condição de mudanças de estado da água, devido da presença da temperatura que vai criando o calor, acaba tendo a função dos processos do ciclo hidrológico evaporação condensação e precipitação. A água que precipita é a água que já foi retirado o sal que passou da água salgada para água doce.

3.4. Análise laboratorial

No sentido de garantir os riscos contra a saúde foi necessariamente recorre-se a análises da água que passou por processo de dessalinização para o laboratório, de modo a ser avaliado o nível de riscos contra a saúde humana, e para caso deste trabalho foi analisado parâmetros organoléptico químicos e físicas que definem o consumo seguro no que diz respeito a saúde social, pela aceitação da organização mundial (OMS), órgão máximo que dita as normas da saúde pública. Para a realização destes análises do nível de potabilidade da água, levou-se amostras de água ao laboratório do Fundo de investimento de água (FIPAG).

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Construção do Dessalinizador

Na construção do dessalinizador solar, foram utilizados materiais disponíveis no mercado interno, analisando as previsões económicas e a sustentabilidade do projecto. O protótipo possui um comprimento de 1 metro, uma largura de 0,28 metros e uma altura de 0,15 metros. A protecção do vidro é de 0,45 metros, o que permite uma melhor captação da luz solar e facilita a condensação do vapor d'água gerado durante o processo de dessalinização. A base inferior do protótipo é rectangular, com uma área calculada em $0,28 \text{ m}^2$ (obtida pela multiplicação do comprimento pela largura). As duas faces laterais também são rectangulares e possuem uma área total de $0,3 \text{ m}^2$. A face superior inclinada, composta por vidro, tem uma área de $0,45 \text{ m}^2$. A face traseira foi calculada considerando a altura total (soma da altura e da inclinação), resultando em uma área de $0,168 \text{ m}^2$.



Figura 12: Dessalinizador construído. Fonte Autor

4.2. Rendimento do dessalinizador.

A figura 11 apresenta a evolução das temperaturas interna e externa do dessalinizador solar ao longo do dia, em intervalos de uma hora. O gráfico é composto por duas colunas: **Temperatura Externa (°C)**: Representa a temperatura ambiente medida fora do sistema, variando entre 24,3°C (às 07h00) e 31,3°C (às 12h00), com declínio progressivo após este horário. **Temperatura Interna (°C)**: Reflete a temperatura dentro do dessalinizador, que atinge 60,2°C como pico (às 13h00), indicando a máxima eficiência no aquecimento e evaporação da água.

Observa-se uma relação direta entre o aumento da radiação solar e o aquecimento interno, com a temperatura interna sempre superior à externa, devido ao isolamento térmico e à retenção de calor proporcionados pelo sistema. A eficiência do dessalinizador é maior durante o período de maior incidência solar (10h00 às 14h00).

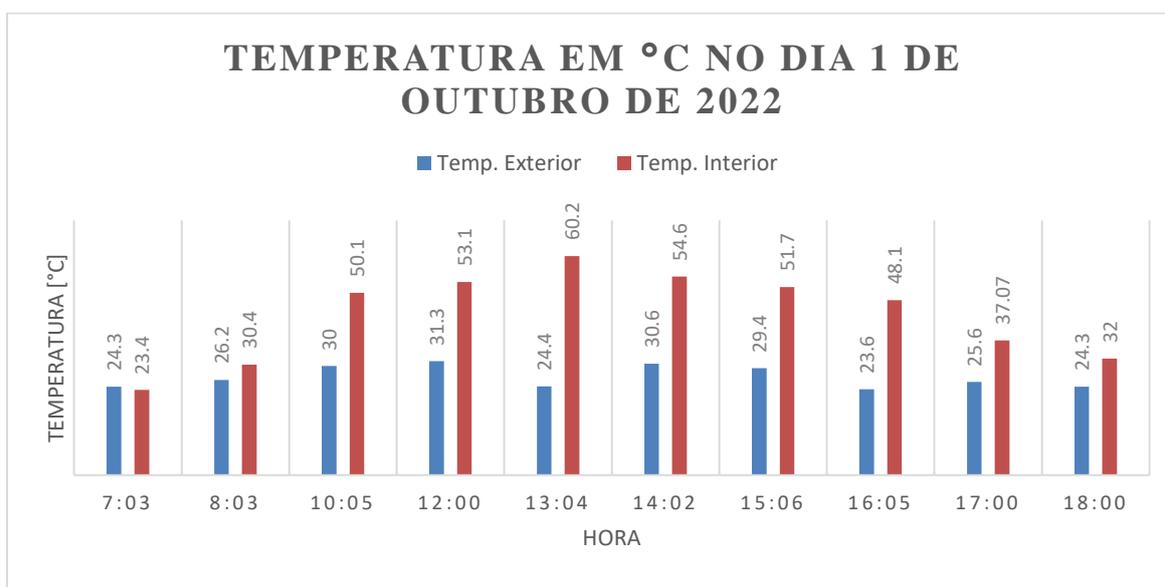


Figura 13: Rendimento da dessalinização, tendo em conta a temperatura interior e exterior do sistema do dia 1 de Outubro, em função do tempo em Horas.

A figura 12 ilustra a quantidade de água dessalinizada em função do tempo ao longo de um dia típico de ensaio. O eixo x representa as horas do dia (07h00 às 18h00), o eixo y indica o volume de água produzido (em litros). A curva demonstra que a produção de água é quase nula nas primeiras horas da manhã, aumentando gradualmente a partir das 10h00, com pico por volta das 14h00, seguido de declínio até o final da tarde. O maior volume de água dessalinizada é produzido durante o período de máxima temperatura interna, alinhado com os dados da Figura 11. A produção de água

é diretamente influenciada pela eficiência térmica do sistema, que depende da intensidade da radiação solar e da temperatura interna.

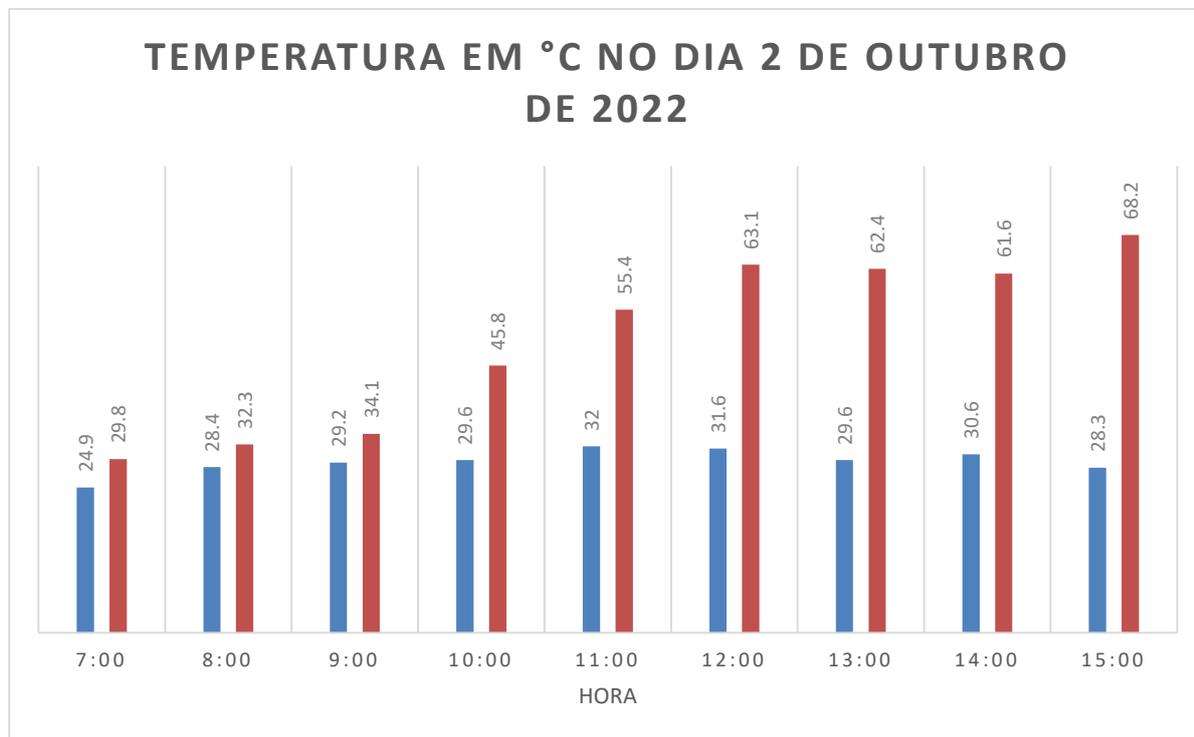


Figura 14: *Rendimento da dessalinização, tendo em conta a temperatura interior e exterior do sistema do dia 2 de outubro, em função do tempo em horas*

A figura 13 representa a temperatura em função da temperatura na média de um ano na cidade de Quelimane, e nota-se que no mês de janeiro é o mês em que na cidade de Quelimane, a precipitação é muito intensa, em fevereiro, março, abril e dezembro esses meses são os que a apresenta maior índice de precipitação. Maio, junho julho, agosto, setembro, outubro, e novembro são meses em que a precipitação é menos intensa. Quanto maior for a temperatura, maior é a quantidade da precipitação.

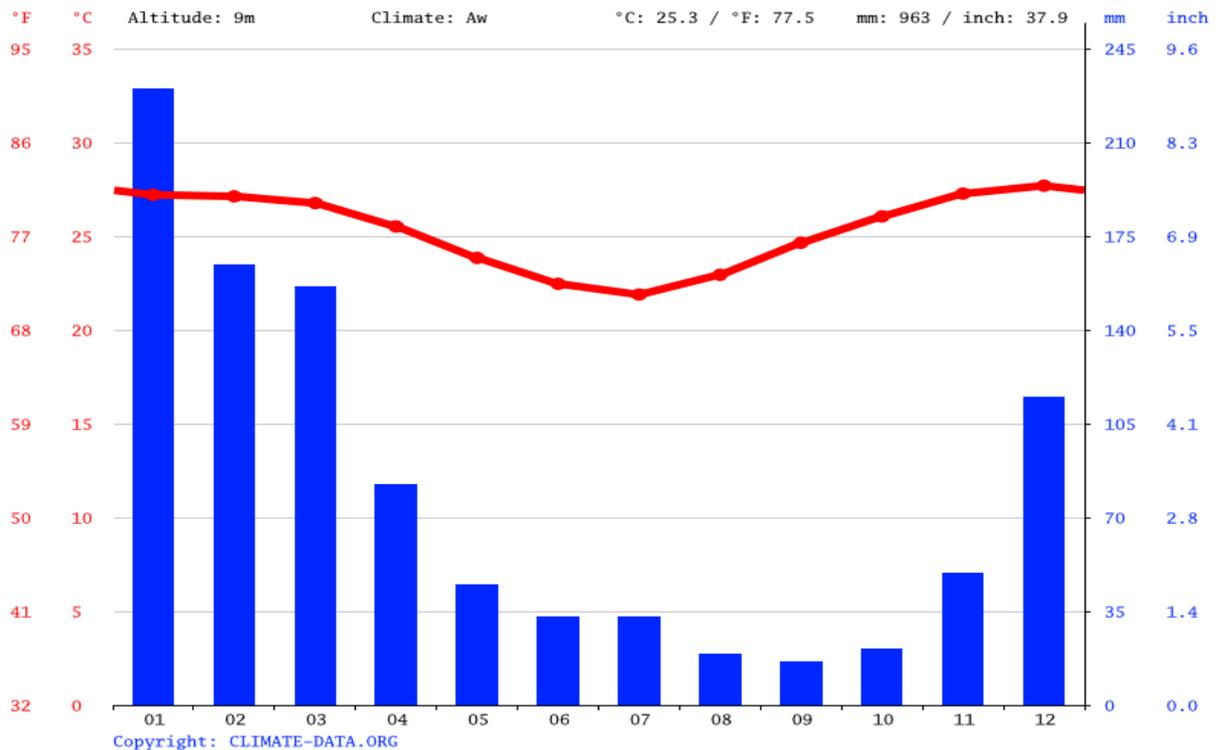


Figura 15: *Rendimento da dessalinização, tendo em conta a relação entre a temperatura atmosférica e a precipitação. Fonte: <https://pt.climate-data.org/africa/mocambique/zambezia/quelimane-3190/#climate-graph>*

A Figura 14 ilustra a variação mensal do nível de obstrução das nuvens ao longo de 30 anos, evidenciando seu impacto na incidência da radiação solar sobre a superfície terrestre. Essa análise é essencial, pois o dessalinizador solar depende diretamente da radiação para realizar o processo de dessalinização. Os dados indicam que em janeiro ocorre o menor índice de obstrução das nuvens, garantindo maior penetração de radiação solar. A nebulosidade aumenta gradativamente nos meses subsequentes, atingindo o pico em julho, período de maior bloqueio da radiação. A partir de agosto, o índice começa a diminuir, com níveis mais baixos registrados novamente em novembro e dezembro.

Os meses de janeiro, novembro e dezembro apresentam condições ideais para o funcionamento do dessalinizador solar, devido à menor nebulosidade e maior disponibilidade de radiação solar. O período de maio a julho, caracterizado por alta obstrução das nuvens, reduz significativamente a penetração da radiação solar. Conseqüentemente, há menor geração de calor dentro do sistema, diminuindo sua eficiência. A eficiência do dessalinizador é altamente sensível à radiação solar. Nos

meses com maior obstrução, o sistema apresenta limitações na produção de água dessalinizada devido à menor evaporação e condensação no interior do equipamento.

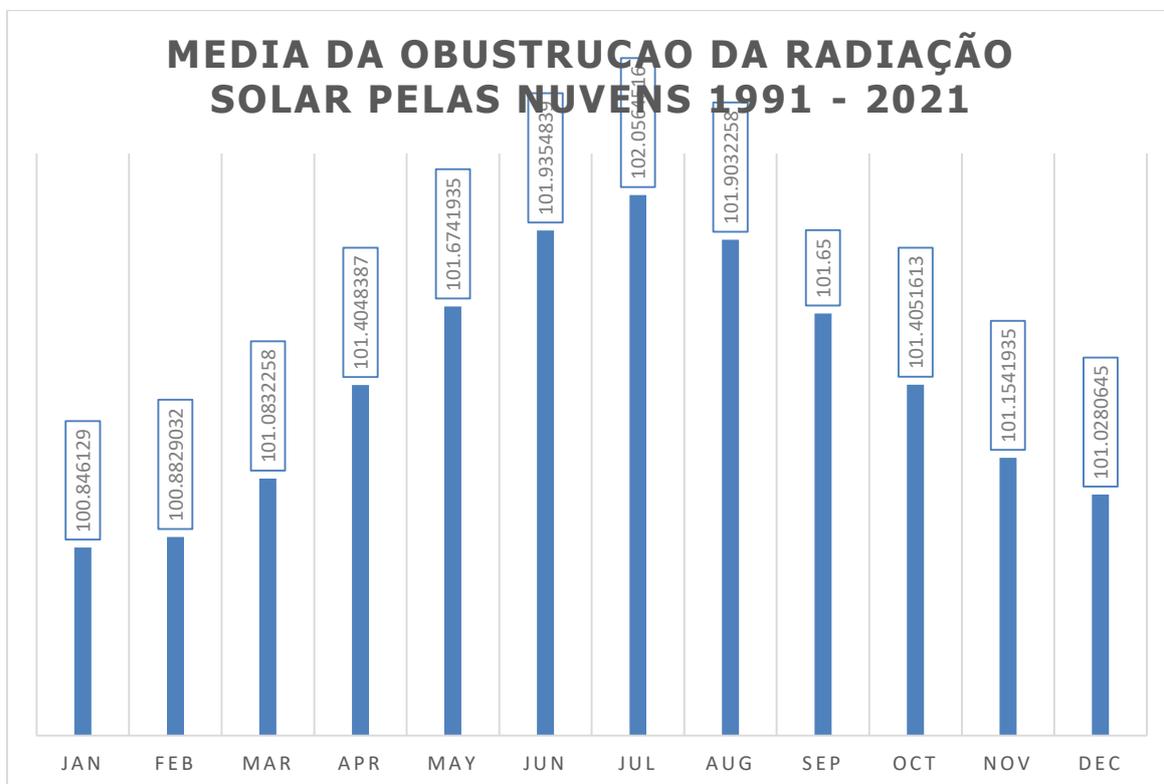


Figura 16: Variação mensal da nebulosidade. nível de obstrução das nuvens ao longo dos 30 anos.

A Figura 15 apresenta a variação anual do índice de obstrução das nuvens ao longo de 30 anos, refletindo a capacidade das nuvens de bloquear a radiação solar. Esse parâmetro é crucial para entender as condições climáticas que afetam a eficiência do dessalinizador solar. O índice de obstrução variou entre 101,35 e 101,48 durante o período analisado. Os valores mais altos foram registrados em 1993 e 2016, com um índice de 101,48, indicando maior obstrução da radiação solar.

Por outro lado, os valores mais baixos, como 101,35, ocorreram em 2007 e em outros anos, como 2000, representando períodos de maior penetração de radiação solar. O índice apresenta flutuações consistentes ao longo dos 30 anos, com pequenas variações interanuais.

Em geral, os anos com maior obstrução coincidiram com padrões climáticos mais nublados, enquanto os anos de menor índice refletem condições mais favoráveis para o funcionamento do dessalinizador.

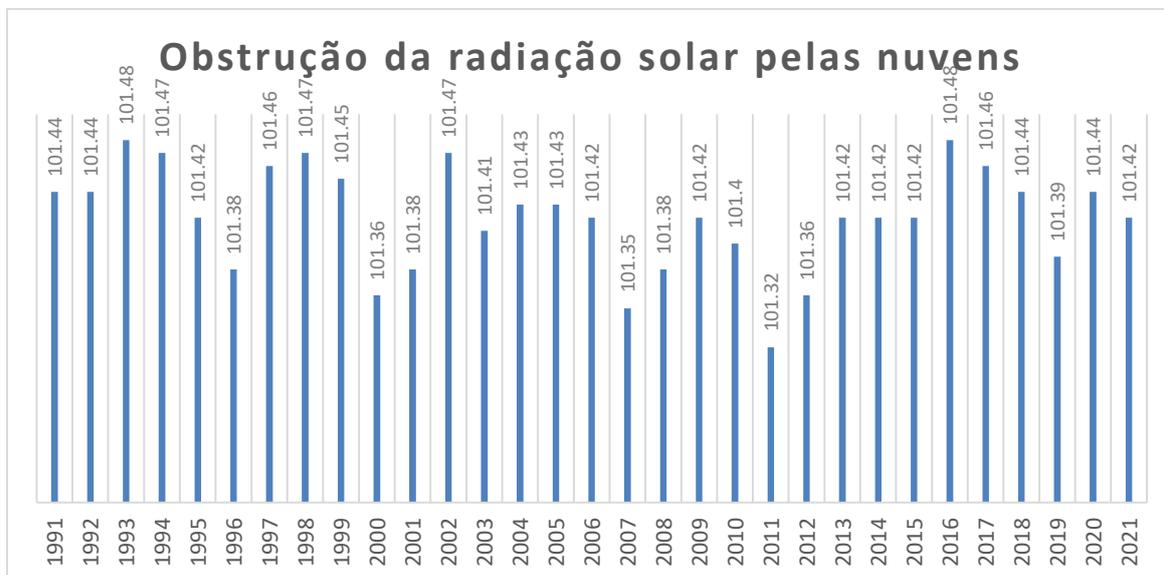


Figura 17: Níveis de obstrução das nuvens ao longo dos 30 anos.

4.3. Avaliação da qualidade da água e viabilidade da inovação

Uma análise da qualidade da água dessalinizada foi realizada no Laboratório do Fundo de Investimento e Patrimônio de Abastecimento de Água (FIPAG), considerando parâmetros físicos, químicos e organolépticos. Os resultados (tabela 3) indicam que a água produzida atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS).

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos da água dessalinizada.

| Parâmetro | Valor Obtido | Limite OMS |
|----------------|--------------|------------|
| pH | 7,3 | 6,5 – 8,5 |
| Cálcio (mg/L) | 15,64 | ≤ 50 |
| Nitrato (mg/L) | 1,8 | ≤ 50 |
| Cor | Incolor | Incolor |
| Sabor | Insípido | Insípido |
| Cheiro | Inodoro | Inodoro |

A análise econômica do sistema foi avaliada com base no custo dos materiais, na eficiência do dessalinizador e no volume de água produzido diariamente.

Custo de construção e operação: Todos os componentes utilizados, como tábuas, vidro, plástico negro e tubos, foram adquiridos localmente, com um custo total limitado em relação às tecnologias importadas. O sistema requer baixa manutenção, devido à simplicidade do design e à durabilidade dos materiais.

4.4. Avaliação do tempo de vida útil do sistema

Para estimar a durabilidade:

Foram analisados os materiais utilizados e suas resistências (tabela 2), Considerando a exposição ao ambiente (radiação solar, humidade, corrosão). Segundo Marinho e Aguiar (2015) relatam que a durabilidade de dessalinizadores solares depende da qualidade dos materiais utilizados, como vidro, madeira tratada, e plásticos resistentes a radiação UV, com uma expectativa de vida útil entre 3 a 5 anos. o presente estudo, com base nas condições locais e na composição dos materiais, a vida útil foi estimada em 1 ano, devido à exposição intensa ao ambiente e à natureza dos componentes empregados.

4.4.1. Cálculo do custo para obter 5L de água

Com base nos dados do rendimento diário:

Produção média diária: 5 litros. Dividimos o custo total (tabela 2) pela vida útil estimada em dias para obter o custo diário para calcular o custo por litro e multiplicar por 5, seguindo a fórmula:

$$\text{custo por 5L} = \frac{\text{Custo total}}{\text{Vida util em dias}} \times 5$$

4.4.2. Preço de venda de 5L de água dessalinizada

Considerar o custo de produção e adicionar uma margem de lucro (e.g., 20 – 50% do custo). Exemplo: Se o custo de 5L for 30mts, vender por 50mts para garantir sustentabilidade financeira.

4.4.3. Comparação com o custo de 5L de água no mercado local

Tendo em conta o preço médio de 5L de água engarrafada ou de outra fonte disponível na região de Quelimane de 80mts. Fez se a comparação com o preço de venda do sistema, destacando vantagens (e.g., sustentabilidade, acessibilidade) de aquisição da água engarrafada (transporte e distancia).

4.4.4. Custo na concepção e construção do dessalinizador solar

Tabela 4. A tabela seguinte mostra o material e custo da aquisição..

| Ordem | Nome do material | Quantidade | Dimensão | Preço /reciclagem |
|-------|-----------------------------|------------|--------------|-------------------|
| 1 | Tábua/contraplacado | 2 | (100x25x2.5) | 860mt |
| 2 | Ripas /Barrote | 2 | (100x4x2.5) | 200mt |
| 3 | Cola de madeira | 1 | (500ml) | 150mt |
| 5 | Plástico escuro | 1 | (100x100) | 95mt |
| 6 | Vidro | 2 | (100x70x0.3) | 1000mt |
| 7 | Tubo plástico de escoamento | 2 | (D=1cm) | 200mt |
| 8 | Torneira | 2 | | 100mt |
| 9 | Fita métrica | 1 | | |
| 10 | Pregos | 1kg | (2.5' e 3') | 50mt |
| 11 | Esferovite | 1 | (100x70x7) | ----- |
| 12 | Cerra de madeira | 1 | | ----- |
| 13 | Garrafa plástica | 2 | (0.5L) | ----- |
| 14 | Termómetro | 1 | | ----- |
| 15 | Mão-de-obra | | | 500mt |
| 16 | Transporte | | | 200mt |
| Total | | | | 3355mt |

4.4.5. Produção e custo por litro

A produção média diária de água dessalinizada foi de 5 litros em condições ideais. O custo por litro foi calculado como competitivo, principalmente em comparação com outras alternativas, como a compra de água engarrafada ou o transporte de água de regiões distantes.

4.5. Impacto econômico

O sistema apresentou uma relação custo-benefício positiva, sendo uma solução acessível para comunidades costeiras com acesso limitado à água potável. Além disso, por depender exclusivamente de energia solar, elimina custos recorrentes de eletricidade ou combustível, tornando-o sustentável a longo prazo.

4.5.1. Comparação com o custo de 5 litros de água no mercado local

O custo de 5 litros de água engarrafada no mercado local é estimado em 80 MT, significativamente superior ao preço de venda da água dessalinizada pelo sistema. Essa diferença evidencia vantagens importantes do dessalinizador solar, como:

(i) Sustentabilidade

O sistema é movido exclusivamente por energia solar, eliminando custos recorrentes com eletricidade ou combustíveis.

(ii) Acessibilidade

O custo reduzido torna a água dessalinizada mais acessível para comunidades de baixa renda.

(iii) Redução de deslocamento

O sistema pode ser instalado localmente, reduzindo custos logísticos relacionados ao transporte de água engarrafada.

4.5. Discussão

Os resultados deste estudo demonstraram que o dessalinizador solar é uma solução eficaz e viável para a produção de água potável em comunidades costeiras com escassez de recursos hídricos. A discussão a seguir aborda os achados em relação à literatura científica, destacando a eficiência do sistema, a qualidade da água produzida e os desafios econômicos e climáticos associados

Eficiência do dessalinizador solar

A eficiência do dessalinizador foi maximizada em períodos de maior incidência de radiação solar, como demonstrado pelos dados das Figuras 1 e 2, onde a temperatura interna do sistema ultrapassou 50°C, promovendo maior evaporação e condensação. Estudos anteriores corroboram que temperaturas internas superiores a 45°C são ideais para a operação de sistemas solares de dessalinização, pois aceleram os processos hidrológicos necessários (Silva & Santos, 2020). No entanto, a eficiência do sistema mostrou-se altamente dependente das condições meteorológicas. Durante meses com alta nebulosidade, como de maio a julho, o rendimento foi reduzido devido à menor penetração da radiação solar. Isso está alinhado com os achados de Coelho e Azeredo (2016), que relataram que a eficiência de dessalinizadores solares é diretamente proporcional à intensidade da radiação incidente.

$$Xt = \frac{A_{prototipo} * produção\ pretendida / 500l}{produção\ actual / dia}$$

Onde:

Xt e área total pretendida para 500litrs/Dia

Através desta equação determinasse a área total para estabelecer uma produção significativa de água

Qualidade da água produzida

Os parâmetros físico-químicos e organoléticos da água dessalinizada atenderam aos padrões estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS). A ausência de contaminação química significativa, como manganês, ferro e nitratos, destaca a segurança do processo, conforme relatado em estudos semelhantes (Marinho, Uchoa & Aguiar, 2015). Além disso, o pH neutro da água

dessalinizada reforça sua adequação para consumo humano, alinhando-se às normativas internacionais (OMS, 2017). A capacidade do sistema de produzir água potável em áreas onde as fontes naturais são salobras ou inadequadas para consumo representa um avanço significativo para regiões como Quelimane, onde o acesso à água doce é limitado (Inácio, 2022). A adoção desta tecnologia em comunidades remotas pode não apenas melhorar a qualidade de vida, mas também mitigar os riscos associados à ingestão de água contaminada

Viabilidade econômica

Os custos de construção e operação do dessalinizador solar foram significativamente inferiores aos de tecnologias convencionais de dessalinização, como osmose reversa, devido à utilização de materiais locais e à independência de fontes de energia externas. Alves (2009) destaca que sistemas de dessalinização solar são ideais para comunidades de baixa renda, especialmente em regiões tropicais onde a radiação solar é abundante. A produção média diária de 5 litros, embora limitada, é suficiente para atender às necessidades básicas de consumo de pequenas famílias. Contudo, para aplicação em maior escala, seriam necessárias adaptações no design para aumentar a capacidade, como sugerido por Branco (2013) em estudos sobre sistemas de destilação solar com concentradores térmicos.

Os resultados obtidos demonstram que o dessalinizador solar é uma solução economicamente viável e ambientalmente sustentável para comunidades costeiras com escassez de água potável. Embora o tempo de vida útil estimado seja relativamente curto, o baixo custo de produção e a possibilidade de reaproveitamento de materiais garantem a viabilidade do sistema. Além disso, a comparação com o mercado local destaca a competitividade econômica e a relevância social do projeto, especialmente em regiões remotas onde o acesso à água potável é limitado.

Pela equação a baixo tem $A_t = 3,76m^2$ $V_t = 3355MTN$ e com essas dimensões e custos produz *5litros/Dia*.

Para ampliar este tipo de dessalinizador utilizou-se a seguinte equação para estimar a produção de *500litros/Dia* e gasto necessario espelhando no prototipo

$$X = \frac{Vt(inicial) * At(final)}{At(inicial)}$$

Onde:

X e o valor pretendido alcançar em mtn;

Vt(inicial) e o custo total do prototipo

At(final) e area total da ampliacao para *500litros/Dia*

At(inicial) e a total do prototipo.

Desafios e limitações

Apesar dos resultados positivos, o estudo identificou desafios relacionados à variabilidade climática. Meses com alta nebulosidade ou baixa radiação solar podem comprometer a eficiência do sistema, como também observado por Saadat (2017). Uma solução potencial seria integrar o dessalinizador a sistemas híbridos, que combinem energia solar com outras fontes, como energia elétrica ou biomassa, para garantir operação contínua. Além disso, embora o custo inicial do sistema seja acessível, o volume produzido pode não ser suficiente para demandas maiores. Isso sugere a necessidade de novos estudos que explorem modelos escaláveis e com maior rendimento.

Impactos ambientais e sustentabilidade

O dessalinizador solar mostrou-se uma alternativa ambientalmente sustentável, com baixa emissão de carbono e sem geração de resíduos químicos. Marinho, Uchoa e Aguiar (2015) ressaltam que tecnologias solares contribuem para a mitigação das mudanças climáticas, especialmente em regiões costeiras vulneráveis, como Moçambique.

O uso de energia solar, uma fonte renovável, reforça o alinhamento do sistema com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), particularmente os relacionados ao acesso à água limpa e energia acessível e limpa (ODS 6 e ODS 7, respectivamente).

CAPÍTULO 5: CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÃO

5.1. Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o uso de água dessalinizada por meio de um dessalinizador solar para atender à escassez de água selecionada em comunidades costeiras, com foco na qualidade da água produzida e nas previsões econômicas do sistema. A partir dos resultados obtidos, é possível tirar as seguintes conclusões:

O sistema demonstrado é eficaz na produção de água potável de boa qualidade. A água dessalinizada atende aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Organização Mundial da Saúde (OMS), com pH adequado, ausência de contaminantes significativos como manganês, ferro e nitratos, e características organolépticas desenvolvidas (incolor, insípida e inodora). A produção média de água foi de 5 litros por dia, suficiente para atender às necessidades básicas de pequenas comunidades.

A eficiência do dessalinizador solar mostrou-se altamente dependente das condições climáticas, especialmente da radiação solar. Em períodos de alta nebulosidade, como de maio a julho, a eficiência do sistema foi reduzida, o que é consistente com estudos anteriores que mostram que a radiação solar é um dos principais fatores limitantes da dessalinização solar. Portanto, a capacidade de produção de água do sistema pode variar significativamente de acordo com a estação do ano.

O custo inicial do dessalinizador solar foi baixo, devido ao uso de materiais acessíveis e à dependência exclusiva de energia solar, uma fonte renovável e gratuita. Isso torna o sistema uma opção viável economicamente, especialmente em comunidades com poucos recursos financeiros. No entanto, a produção limitada de água exige a implementação de sistemas mais eficientes ou em maior escala para atender a uma demanda mais significativa. Uma análise econômica mostrou que, embora o sistema seja acessível, ele é mais adequado para uso em pequenas comunidades ou como solução complementar ao completo de água convencional.

5.2. Recomendação

Apesar de seus benefícios, o dessalinizador solar enfrenta desafios relacionados à variabilidade climática, especialmente em períodos de baixa radiação solar. Para superar essas limitações, recomenda-se a pesquisa e o desenvolvimento de sistemas híbridos que integrem outras fontes de energia, como a energia elétrica, ou o uso de concentradores solares para aumentar a eficiência do processo. Também é importante investigar alternativas para aumentar a capacidade de produção de água para atender a uma demanda maior.

6. Referencias bibliográficas

- Adriano Oliveira da Silva, Y. J. (2020). Potabilização de água salobra por meio de um dessalinizador solar portátil com refletores de radiação integrados. *Agua subterraneas*, 3.
- Alves, R. D. (2009). *Sistema de captação de energia solar para uma torre de dessalinização térmica com recuperação de calor*. Universidade Federal do Ceará.
- Antonio Marcos de Oliveira Siqueira, A. L. (2019). Princípios de funcionamento de diferentes métodos de dessalinização de água do mar e análise paramétrica de um dessalinizador de múltiplo efeito (MED). *The Journal of Engineering and Exact Sciences* , 3.
- Araújo, A. C. (2013). Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água. *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária* , 1.
- Branco, T. A. (2013). *O desafio de abastecimento descentralizado de água: avaliação do potencial de dessalinização por energia solar*. Lisboa.
- Cássia Maria Bonifácio, M. T. (2015). Parâmetros de qualidade da água no monitoramento ambiental. *Recursos Hídricos: gestão, planejamento e técnicas em pesquisa*, 9.
- Coelho, Bárbara Alexandra Belles Azeredo. (2016). POTENCIAL DE HIBRIDAÇÃO DE SISTEMAS DE DESSALINIZAÇÃO POR ENERGIA SOLAR. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do ambiente*, 15.
- Da Silva, R. B. (2019). *Química*. Ceara: ABEU-EdUECE.
- Fabiano A.N. Fernandes, S. P. (2006). *Termodinamica Química*. 1.
- Gaio, S. S. (2016). Produção de água potável por dessalinização:tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica. *Dessertacao*, 20;27.
- Inacio, C. (2022). AVALIAÇÃO DA INTRUSÃO SALINA NOS POÇOS DO MUNICIPIO DE QUELIMANE. *Monografia*.

- Joaquim, A. A. (2023). Estudo de viabilidade socioeconômica do uso de dessalinizadores solares na localidade de Chirimane - Distrito de Inhassunge. *Monografia*, 8.
- L.T. Wong, W. C. (2001). Solar radiation model. *Applied energy*, 1.
- Luna, F. M. (2016). Desenvolvimento e testes de um dessalinizador solar com pre-aquecimento de agua. *Dessertacao* , 15.
- Marcelo Libânio – UFMG, E. v.–U.–U.–U.–U. (2006). VIGILÂNCIA E CONTROLADA QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO. *MINISTÉRIO DA SAÚDE*, 44.
- Marinho, F. J., Uchoa, T. R., & Aguiar, R. L. (2015). DESSALINIZADOR SOLAR ASSOCIADO A COLETOR DE ÁGUAS DE CHUVAS. *Enciclopedia Biosfera*, 3.
- Martinazzo, C. A. (2004). Modelos de estimativa de Radiação solar para elaboração de Mapas solarimétricos. *Disertacao para obtecao do titulo de Mestre em Engenharia*, 1.
- Paixão, D. F. (2017). *CONCEPÇÃO, CONSTRUÇÃO E VIABILIDADE DE INSTALAÇÃO DE UM SISTEMA ELECTROSOLAR PARA A DESSALINIZAÇÃO DAS ÁGUAS SALOBRAS DO ESTUÁRIO D O RIO BONS SINAIS*. Quelimane: Universidade Eduardo Mondlane.
- Roberto Z. Freire, G. H. (2005). THERMAL COMFORT BASED PREDICTIVE CONTROLLERS FOR BUILDING HEATING SYSTEMS. *indoor thermal comfort control problem in buildings*, 2.
- Saadat, A. H. (2017). Desalination Technologies for Developing Countries:. *Reviw article*, 81.
- Santos, A. A. (2013). ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO DO PROCESSO DA DESSALINIZACAO DA AGUA DO MAR. *Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Ramo das Construções Civis, apresentada à Escola*, 11.
- Sengo, E. D. (2019). *Concepção e Construção de Dessalinizador Impulsionado por um Concentrador Solar*. Quelimane: Universidade Eduardo Mondlane.
- Sidumo, V. L. (2017). Avaliação das Condições de Potabilidade da Água dos Poços do Bairro 25 de Setembro e Samora Machel, na cidade de Mocuba. *Monografia*, 5.

Simone, S. (2018). Avaliação da Qualidade da água dos poços na cidade de Quelimane. *Monografia*, 12.

UCHÔA, TAYAMA RODRIGUES. (2016). PESQUISA AÇÃO PARTICIPATIVA EM SISTEMA DE DESSALINIZADOR SOLAR ASSOCIADA A COLETOR DE AGUA FLUVIAL PARA FORNECER AGUA POTAVEL. *Monografia* (p. 15). Brazil: LAGOA SECA/PB.

WHO, V. S. (2007, 2004;).

7. Anexos

