



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia da Energia Solar**

Dissertação

**Estudo da viabilidade do uso de fontes renováveis para a  
dessalinização de água na Ilha de Santiago (Cabo Verde)**

**Josiane Patricia Vaz Tavares**

Orientador(es) | António Domingos Heitor da Silva Reis

Évora 2020

---

---

---

---



**Universidade de Évora - Escola de Ciências e Tecnologia**

**Mestrado em Engenharia da Energia Solar**

Dissertação

**Estudo da viabilidade do uso de fontes renováveis para a  
dessalinização de água na Ilha de Santiago (Cabo Verde)**

**Josiane Patricia Vaz Tavares**

Orientador(es) | António Domingos Heitor da Silva Reis

Évora 2020

---

---

---

---



A dissertação foi objeto de apreciação e discussão pública pelo seguinte júri nomeado pelo Diretor da Escola de Ciências e Tecnologia:

Presidente | Paulo Manuel Ferrão Canhoto (Universidade de Évora)

Vogais | António Domingos Heitor da Silva Reis (Universidade de Évora) (Orientador)  
Germilly Reki Morais Barreto (Universidade de Évora) (Arguente)

## Resumo

A dessalinização da água do mar é uma tecnologia hoje indispensável para o fornecimento de água em Cabo Verde. No entanto este processo requer um grande consumo energético que faz com se torne uma tecnologia muito dispendiosa.

Nesta dissertação foi estudada a viabilidade do uso da energia solar para o fornecimento de energia para dois processos de dessalinização, um a partir da osmose inversa com uso de energia fotovoltaica e o outro a partir da destilação de múltiplo efeito usando energia solar térmica. Estas opções permitem o aproveitamento do abundante recurso solar disponível no país para mitigar a carência de água existente no mesmo.

Foram dimensionados os sistemas solares fotovoltaico e térmico, sendo depois feita uma análise energética para a confirmação da disponibilidade da energia necessária para o processo. Elaborou-se uma análise económica para ambas as tecnologias com o objetivo de escolher o que melhor se adapta ao país.

**Palavras-chave:** Dessalinização, osmose inversa, destilação múltiplo efeito, energia solar, análise económica

## Abstract

### **Feasibility study of the use of renewable sources for water desalination in Santiago Island (Cape Verde)**

The desalination of sea water is an indispensable technology for the supply of water in Cape Verde. However, this process requires a large amount of energy which makes it a very expensive technology.

In this dissertation, the feasibility of using solar energy to supply energy for two desalination processes was studied, one from reverse osmosis coupled to photovoltaic energy and the other from multi-effect distillation combined with solar thermal energy. Thus, allowing the use of the abundant solar resource available in the country to mitigate the lack of water in the country.

The solar systems were dimensioned, as well as an energy analysis to confirm the solar availability in supplying the necessary energy for the process. An economic analysis was carried out for both technologies in order to choose the one that best suits the country.

**Keywords:** Desalination, reverse osmosis, multiple effect distillation, solar energy, economic analysis

# Índice

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | Introdução.....   | 1  |
| 1.1   | Stress hídrico: Cabo Verde .....  | 3  |
| 1.2   | Salinidade da água .....  | 4  |
| 1.3   | Dessalinização .....  | 5  |
| 1.3.1 | Tecnologias de dessalinização.....                                      | 6  |
| 1.3.2 | Comparação dos métodos.....   | 15 |
| 1.3.3 | Fontes Energéticas.....   | 16 |
| 1.4   | Enquadramento sobre a situação geográfica e meteorológica de Cabo Verde | 17 |
| 1.4.1 | Localização geográfica.....   | 17 |
| 1.4.2 | Clima .....   | 17 |
| 1.4.3 | Recurso Hídrico em Cabo Verde.....                                      | 18 |
| 1.4.4 | Disponibilidade hídricas .....  | 19 |
| 1.4.5 | Recurso Solar em Cabo Verde.....  | 20 |
| 1.4.6 | Dessalinização em Cabo Verde .....                                      | 23 |
| 2     | Setor Energético Atual.....   | 26 |
| 2.1   | Legislação .....  | 26 |
| 2.1.1 | Exercício da atividade .....  | 26 |
| 2.1.2 | Direitos do produtor .....  | 27 |
| 2.1.3 | Deveres do produtor .....   | 27 |
| 2.2   | Consumo atual da ilha de Santiago.....                                  | 28 |
| 2.2.1 | Eletricidade Produzida.....   | 28 |
| 2.2.2 | Mix energético da ilha .....  | 29 |
| 2.2.3 | Combustíveis usados para a produção da energia elétrica da ilha.....    | 30 |
| 2.2.4 | Tarifa da eletricidade .....  | 30 |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.3   | Disponibilidade a instalar parques eólicos e solares na ilha de santiago..... | 31 |
| 2.3.1 | Recurso eólico .....  | 32 |
| 2.3.2 | Recurso solar .....   | 34 |
| 3     | Dimensionamento do sistema.....   | 35 |
| 3.1   | Descrição da situação atual.....  | 35 |
| 3.2   | Metodologia do estudo.....  | 36 |
| 3.3   | Descrição da central da Cidade da Praia.....                                  | 37 |
| 3.4   | Osmose inversa combinada com energia fotovoltaica.....                        | 41 |
| 3.4.1 | Dimensionamento do parque fotovoltaico.....                                   | 42 |
| 3.5   | Destilação de múltiplo efeito .....   | 53 |
| 3.5.1 | Dimensionamento.....  | 54 |
| 4     | Análise Económica.....  | 63 |
| 4.1   | Indicadores da viabilidade económica usados .....                             | 63 |
| 4.2   | Casos em Estudo.....  | 65 |
| 4.2.2 | Sistema MED.....  | 68 |
| 4.2.3 | Discussão de resultados .....   | 70 |
| 5     | Conclusões.....   | 72 |
| 6     | Referências .....   | 74 |

## Índice de figuras

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Distribuição dos recursos hídricos no planeta [4].....                       | 1  |
| Figura 2 - Escassez de água potável prevista para 2040 [2].....                         | 2  |
| Figura 3 - Distribuição da salinidade nos oceanos [7] .....                             | 4  |
| Figura 4 - Esquema do processo de dessalinização.....                                   | 6  |
| Figura 5 - Diagrama das tecnologias de Dessalinização .....                             | 6  |
| Figura 6 - Destilador solar direto [4].....   | 7  |
| Figura 7 - Esquema do processo de destilação Flash de Múltiplo Estágio [11].....        | 8  |
| Figura 8 - Esquema do processo de destilação múltiplo efeito [11].....                  | 10 |
| Figura 9 - Esquema do processo de destilação por compressão de vapor [4] .....          | 11 |
| Figura 10 - Esquema do processo de destilação humidificação – desumidificação [12] 12   |    |
| Figura 11 - Princípio de funcionamento da dessalinização por osmose inversa [12].....   | 13 |
| Figura 13 - Esquema de funcionamento de filtração por eletrodialise [4] .....           | 14 |
| Figura 14 - Localização geográfica de Cabo Verde [14].....                              | 17 |
| Figura 15 - Localização geográfica da zona SAHEL no mapa africano .....                 | 18 |
| Figura 16 - Precipitação anual na cidade de Praia, Santiago, entre 1875 e 1977 [15] ... | 19 |
| Figura 17 - Mapa da disponibilidade solar anual em Cabo Verde [16].....                 | 20 |
| Figura 18 - Mapa de radiação global anual da ilha de Santiago [16] .....                | 21 |
| Figura 19 - Mapa de horas da radiação direta anual da ilha de Santiago [16].....        | 21 |
| Figura 20 - Mapa de zonas de nebulosidade da ilha de Santiago [16] .....                | 22 |
| Figura 21 - Recurso eólico da ilha de Santiago [16] .....                               | 32 |
| Figura 22 - Localização das ZDER Eólicos para ilha de Santiago [20] .....               | 33 |
| Figura 23 - Localização das ZDER solares para ilha de Santiago [20].....                | 34 |
| Figura 24 - Esquema da metodologia de estudo.....                                       | 36 |
| Figura 25 - Localização da central da Praia .....                                       | 37 |
| Figura 26 - Circuito de distribuição de água da cidade da Praia [27] .....              | 38 |
| Figura 27 - Esquema proposta para dessalinização por osmose inversa .....               | 42 |
| Figura 28 - Funcionalidade do PVGIS .....   | 43 |
| Figura 29 - Esquema para a realização do dimensionamento .....                          | 43 |
| Figura 30 - Disponibilidade na área circundante a central .....                         | 47 |
| Figura 31 - Esquema proposta para dessalinização por destilação múltiplo efeito .....   | 54 |



|   |    |
|---|----|
| Figura 32 - Especificações do coletor térmico escolhido ..... | 57 |
| Figura 33 - Balanço energético entre as duas tecnologias..... | 63 |

## Índice de tabelas

|   |    |
|---|----|
| Tabela 1 - Classificação da água quanto a salinidade [8].....   | 4  |
| Tabela 2 - Proporção dos iões constituintes na água do mar [9] .....                                    | 4  |
| Tabela 3 -Comparação dos diferentes métodos de dessalinização .....                                     | 15 |
| Tabela 4 - Possíveis fontes energéticas para os diferentes processos.....                               | 16 |
| Tabela 5 - Combustíveis usados na produção da energia elétrica [18- 23] .....                           | 30 |
| Tabela 6 - ZDER eólicos para ilha de Santiago [20].....   | 33 |
| Tabela 7 - ZDER solares para ilha de Santiago [20] .....  | 34 |
| Tabela 8 -Consumos em combustível para a produção de energia para a dessalinização<br>[18-23] .....     | 41 |
| Tabela 9 - Especificações dos módulos fotovoltaicos escolhido [22]. .....                               | 45 |
| Tabela 10 - Especificações do inversor escolhido.....   | 46 |
| Tabela 11 - Resultado do dimensionamento do campo fotovoltaico para o sistema da<br>osmose inversa..... | 48 |
| Tabela 12 - Possível configuração do campo fotovoltaico.....  | 50 |
| Tabela 13 -Configuração do campo fotovoltaico .....   | 50 |
| Tabela 14 - Resultado do dimensionamento do campo fotovoltaico para o sistema MED<br>.....              | 55 |
| Tabela 15 - Configuração do campo fotovoltaico para o sistema MED .....                                 | 55 |
| Tabela 16 - Temperaturas médias do ar e do mar de Cabo Verde [25].....                                  | 58 |
| Tabela 17 - Resultado do dimensionamento do campo solar térmico para o sistema MED<br>.....             | 60 |
| Tabela 18 - Valores de CAPEX para sistema da osmose inversa .....                                       | 66 |
| Tabela 19 - Resultado da análise económica para o sistema da osmose inversa. ....                       | 67 |
| Tabela 20 - Valores de CAPEX para o campo fotovoltaico do sistema MED.....                              | 68 |
| Tabela 21 - Valores de CAPEX para o campo solar térmico do sistema MED .....                            | 68 |
| Tabela 22 - Resultado da análise económica para o sistema da destilação múltiplo efeito<br>.....        | 69 |

## Índice de gráficos

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1 - Recurso solar médio horário para cada mês do ano.....  | 23 |
| Gráfico 2 - Evolução da capacidade instalada e a produção de água na central da Praia [18 - 23] .....                | 24 |
| Gráfico 3 - Variação das perdas na distribuição de água [18 - 23] .....  | 25 |
| Gráfico 4 - Evolução da produção energética para a ilha de Santiago em GWh [18- 23] .....                            | 28 |
| Gráfico 5 - Mix energético da ilha de Santiago [18- 23].....   | 29 |
| Gráfico 6 - Variação do preço dos combustíveis e a tarifa de eletricidade paga para a produção de água [28-32] ..... | 31 |
| Gráfico 7 -Evolução da capacidade diária vs produção de água anual [21-26]. .....                                    | 38 |
| Gráfico 8- Consumo energético anual da central [18- 23] .....  | 39 |
| Gráfico 9 - Custo anual da eletricidade [18- 23] .....   | 40 |
| Gráfico 10 - Produção de energia prevista para a central.....  | 51 |
| Gráfico 11 - Perfil do consumo diário e a produção diária da central.....  | 52 |
| Gráfico 12 - Produção energética estimada do campo fotovoltaico para o sistema MED .....                             | 56 |
| Gráfico 13 - Eficiência térmica do coletor .....   | 58 |
| Gráfico 14 - Produção energética estimada do campo solar térmico para o sistema MED. ....                            | 62 |
| Gráfico 15 - Evolução do cash flow do sistema fotovoltaico.....  | 67 |
| Gráfico 16 - Evolução do cash flow do sistema de destilação múltiplo efeito.....                                     | 70 |

## Nomenclatura

|                     |  |
|---------------------|--|
| $A_{col}$           | Área dos coletores térmicos [m <sup>2</sup> ]                          |
| $A_{mod}$           | Área dos módulos fotovoltaicos [m <sup>2</sup> ]                       |
| $A_{PV}$            | Área fotovoltaica [m <sup>2</sup> ]                                    |
| $A_T$               | Área térmica [m <sup>2</sup> ]   |
| $C_{esp}$           | Consumo energético específico [Wh/m <sup>3</sup> ]                     |
| $CF_i$              | Cash flow no ano i [€]   |
| $E_{E\_mensal}$     | Energia elétrica mensal necessária para a dessalinização [Wh]          |
| $E_{T\_mensal}$     | Energia térmica mensal necessária para a dessalinização [Wh]           |
| $G^*$               | Irradiação solar em condição standard de teste [1000W/m <sup>2</sup> ] |
| $I$                 | Investimento inicial [€]   |
| $I_{CC\_mod}$       | Corrente de curto circuito dos módulos [A]                             |
| $I_{max\_inv}$      | Corrente máxima de entrada no inversor[A]                              |
| $N_{col}$           | Número de coletores térmicos   |
| $N_{inv}$           | Número de inversores   |
| $N_{mod}$           | Número de módulos  |
| $N_{max\_mod\_inv}$ | Número máximo de módulos por inversor                                  |
| $N_{max\_mod\_S}$   | Número máximo de módulos em série                                      |
| $N_{max\_mod\_P}$   | Número máximo de módulos em paralelo                                   |
| $N_{max\_Fil\_P}$   | Número máximo de fileiras em paralelo                                  |
| $N_{mod\_Fil}$      | Número de módulos por fileira  |
| $N_{mod\_inv}$      | Número de módulos por inversor   |
| $P$                 | Potência [W]   |
| $P_{col}$           | Potência do coletor térmico [W]  |

|                |   |
|----------------|---|
| $P_{inv}$      | Potência do inversor [W]  |
| $P_{mod}$      | Potência dos módulos fotovoltaicos [W]                            |
| $P_{PV}$       | Potência fotovoltaica[W]  |
| PR             | Performance ratio [%]   |
| $R_{SA}$       | Recurso solar médio para o mês de agosto [Wh/m <sup>2</sup> /mês] |
| $R_{Sm}$       | Recurso solar médio mensal [Wh/m <sup>2</sup> /mês]               |
| $Q_i$          | Energia elétrica produzida no ano i [Wh]                          |
| $V_{AP}$       | Volume de água produzido [m <sup>3</sup> ]                        |
| $V_{oc\_mod}$  | Voltagem de circuito aberto dos módulos [V]                       |
| $V_{max\_inv}$ | Voltagem de máxima de entrada no inversor [V]                     |
| $\eta_{mod}$   | Eficiência dos módulos fotovoltaicos [%]                          |
| $\eta_C$       | Eficiência dos cabos [%]  |
| $\eta_I$       | Eficiência dos inversores [%]                                     |
| $\eta_{CS}$    | Eficiência do campo solar [%]                                     |
| $\eta_0$       | Eficiência ótica do coletor térmico                               |
| t              | Taxa de atualização [%]   |
| $t_a$          | Temperatura ambiente [°C]   |
| $t_m$          | Temperatura média do fluido no interior do coletor [°C]           |
| $t_e$          | Temperatura de entrada no coletor [°C]                            |
| $t_s$          | Temperatura de saída do coletor [°C]                              |

## Abreviatura

|       |  |
|-------|--|
| CAPEX | Despesas de capitais                               |
| DGE   | Direção Geral de Energia                           |
| INGRH | Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos |
| LCOE  | Custo nivelado de energia elétrica                 |
| MED   | Destilação de múltiplo efeito                      |
| OPEX  | Despesas de operação e manutenção                  |
| ppm   | Partes por milhão                                  |
| PVGIS | Photovoltaic Geographical Information System       |
| TIR   | Taxa Interna de Retorno                            |
| TLCC  | Custo total do projeto (CAPEX + OPEX)              |
| VAL   | Valor atual líquido                                |
| ZDER  | Zonas de desenvolvimento para energias renováveis  |

# 1 Introdução

A água potável sendo um recurso essencial à vida fez com que em 28 de julho de 2010 a Assembleia Geral das Nações Unidas declarasse através da Resolução A/RES/64/292 que “o acesso a uma água potável própria de qualidade e a instalações sanitárias é um direito do homem, indispensável para o pleno gozo do direito à vida”. A mesma resolução sublinha o fato de 884 milhões de pessoas no mundo não terem acesso a água potável e saneamento de qualidade, tendo como resultado doenças e conseqüentemente a morte anual de dois milhões de pessoas [1]. Atualmente 3,7 mil milhões de pessoas são afetadas pela escassez de água, e estima-se que este número poderá aumentar para até 5,7 mil milhões em 2050. É também estimado que 3,5 milhões de pessoas morrem anualmente como resultado do fornecimento inadequado de água e saneamento, reforçando o papel da água como um recurso global crítico [2].

A procura pela água de qualidade própria para consumo humano é uma necessidade que visa aumentar à medida que a população mundial cresce. A superfície do nosso planeta é coberta por 70% de água, onde apenas cerca de 2,5% dessa água é doce, e desta somente cerca de um terço é própria para o consumo humano [3]. Com essa quantidade limitada de água doce utilizável é necessário buscar soluções para atender à crescente demanda por água potável, desta forma a dessalinização aparece como uma das possíveis soluções para esse problema.

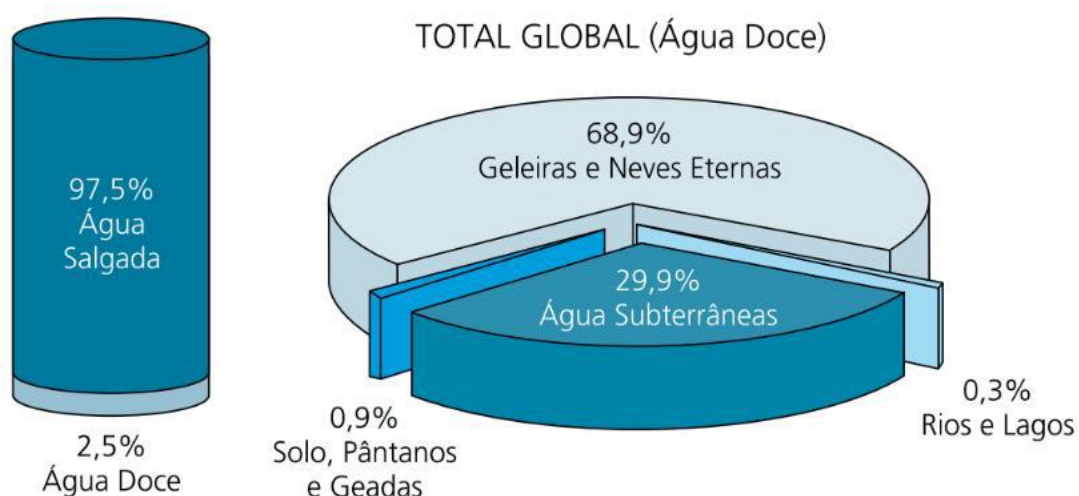
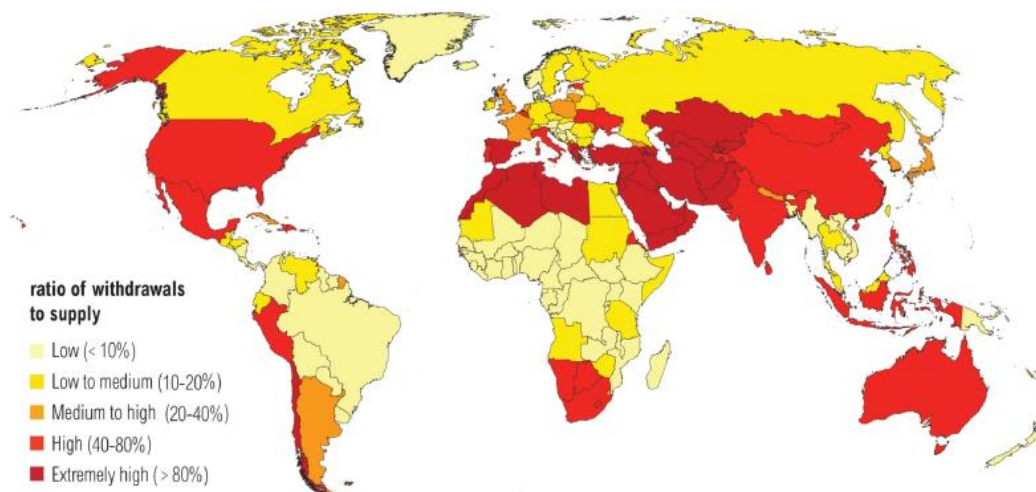


Figura 1 - Distribuição dos recursos hídricos no planeta [4]

O mercado global de dessalinização teve um forte crescimento nos últimos anos impulsionado pelo aumento na demanda por água potável em resultado do aumento populacional. A dessalinização da água do mar suporta 1% do consumo global de água, o que representa uma produção de 86,8 milhões de m<sup>3</sup>/ano [5], tendo uma forte representatividade no Médio Oriente e o Norte da África (áreas mais afetadas pela escassez de água).

Estima-se que o mercado de dessalinização global deverá acelerar a uma taxa de 9% entre os anos de 2018 a 2022, contudo regiões como Europa, Oriente Médio e África (EMEA) representam 74% desse crescimento. A figura 2 mostra a disponibilidade de água projetado a nível de país para 2040 [2].



*Figura 2 - Escassez de água potável prevista para 2040 [2]*

Pode se observar que as regiões mais afetadas pela falta de água são o norte da África, o Médio Oriente e principalmente os países da região do Golfo. A fim de colmatar a falta da água potável no futuro, a solução passará pela dessalinização da água salgada.



## 1.1 Stress hídrico: Cabo Verde

Devido à sua localização geográfica, a escassez de água é e sempre foi um dos principais problemas enfrentados em Cabo Verde. Desde a sua descoberta tem sofrido recorrentes episódios de seca resultando em crises alimentícias e como consequência disso a fome e a emigração forçada. Uma das piores secas e fome registada no país ocorreu na década de 1940 em que se estima uma taxa de mortalidade de aproximadamente 50% da população, onde a ilha de Santiago perdeu 65% da população entre a emigração e a morte dos habitantes [6].

Cabo Verde apresenta ainda uma geomorfologia que facilita o rápido escoamento das águas das chuvas para os oceanos, o que dificulta as recargas dos aquíferos de água doce contribuindo assim para que o país sofra de extrema escassez de água. Por outro lado, o aumento da população, o desenvolvimento urbano, o aumento das necessidades de irrigação, o turismo e a indústria são situações que tendem a agravar esta carência.

Outro fator agravante para o stress hídrico do país são as mudanças climáticas uma vez que áreas áridas e semi-áridas como o caso de Cabo Verde têm uma menor resistência às mudanças climáticas, pelo que qualquer alteração significativa nos ecossistemas tem um impacto nesses locais. Desta forma pode-se dizer que estes impactos são um grande obstáculo à segurança alimentar, saúde, meio ambiente e redução da pobreza uma vez que muitas famílias cabo-verdianas garantem o seu sustento a partir do setor agrícola. Os principais riscos climáticos para o suprimento de água enfrentados pelo país são as secas, as inundações e a erosão do solo. Considerando o perfil climático do país, é apropriado garantir um planeamento adequado e contribuir para a mitigação das alterações climáticas, para isso, sugere-se o uso da energia solar para a dessalinização de água permitindo assim que a concessionária de água garanta o acesso a água reduzindo a contribuição para as ditas mudanças climáticas.

## 1.2 Salinidade da água

A salinidade da água define a fração de sais dissolvidos numa dada quantidade de água. Mesmo nos oceanos a salinidade da água não é constante, o mesmo varia consoante a latitude e longitude do local, sendo por norma menor em águas mais frias e maior em águas mais quentes como se pode observar na figura 3. Para Cabo Verde por exemplo a salinidade varia entre 35 000 e 36 600 ppm de iões dissolvidos.

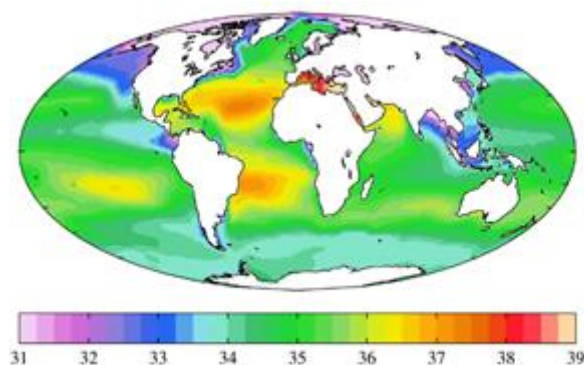


Figura 3 - Distribuição da salinidade nos oceanos [7]

A tabela 1 apresenta a classificação da água consoante a sua salinidade:

Tabela 1 - Classificação da água quanto a salinidade [8]

| Água Doce | Água Salobra     | Água Salgada        | Salmoura    |
|-----------|------------------|---------------------|-------------|
| <500 ppm  | 500 a 30 000 ppm | 30 000 a 50 000 ppm | >50 000 ppm |

As proporções dos constituintes da água salgada permanecem constante independentemente da sua salinidade.

Tabela 2 - Proporção dos iões constituintes na água do mar [9]

| Elementos | Cloreto | Sódio | Sulfato | Magnésio | Cálcio | Potássio |
|-----------|---------|-------|---------|----------|--------|----------|
| [%]       | 55      | 31    | 7,7     | 4        | 1,2    | 1,1      |

A qualidade da água destinada ao consumo humano não deve exceder o valor de 250 ppm para as concentrações de iões cloreto e sulfato, nem 200 ppm para a concentração de iões sódio [10].

### **1.3 Dessalinização**

A dessalinização é um processo que ocorre na natureza e faz parte do ciclo da água. A água dos oceanos é evaporada pelo sol e condensa sob a forma de nuvens que acabam por precipitar, os rios, lagos e lençóis freáticos fazem parte das reservas naturais da água precipitada. No entanto, as reservas naturais não se encontram igualmente distribuídas pelo planeta existindo assim zonas com uma forte carência no que diz respeito a água propícia para o consumo humano e é então necessário recorrer às técnicas de engenharia para se obter água potável.

O processo de dessalinização requer sempre um consumo energético para separar a água do sal numa determinada quantidade de água salgada, daqui obtém-se sempre uma porção de água dessalinizada e outra porção de água com uma elevada concentração de sal (salmoura), o que pode ser observada pela figura 4. O vetor energético a ser utilizado pode ser térmico, mecânico ou elétrico no entanto as fontes podem ser variadíssimas. Dentro das renováveis podemos usar a fotovoltaica como fonte de energia elétrica, solar térmica e a geotérmica como fonte de calor e eólica como fonte de energia mecânica.

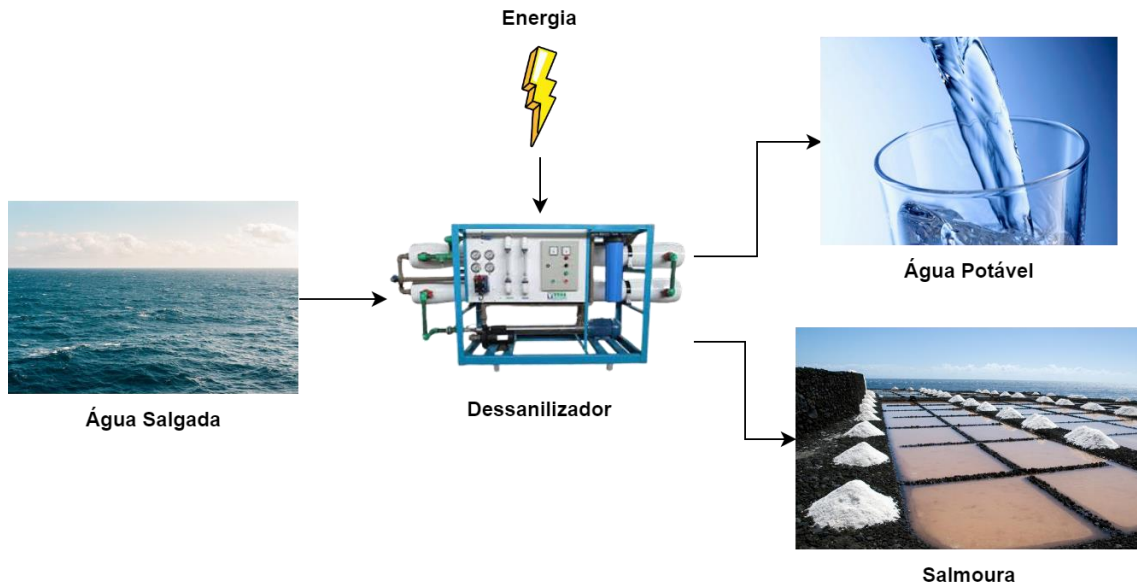


Figura 4 - Esquema do processo de dessalinização

### 1.3.1 Tecnologias de dessalinização

Apesar de as tecnologias de dessalinização poderem ser classificadas de várias formas, neste trabalho serão agrupadas quanto ao processo de dessalinização, se através de mudança de fase ou através de filtração por membranas, como mostrado na figura 5.

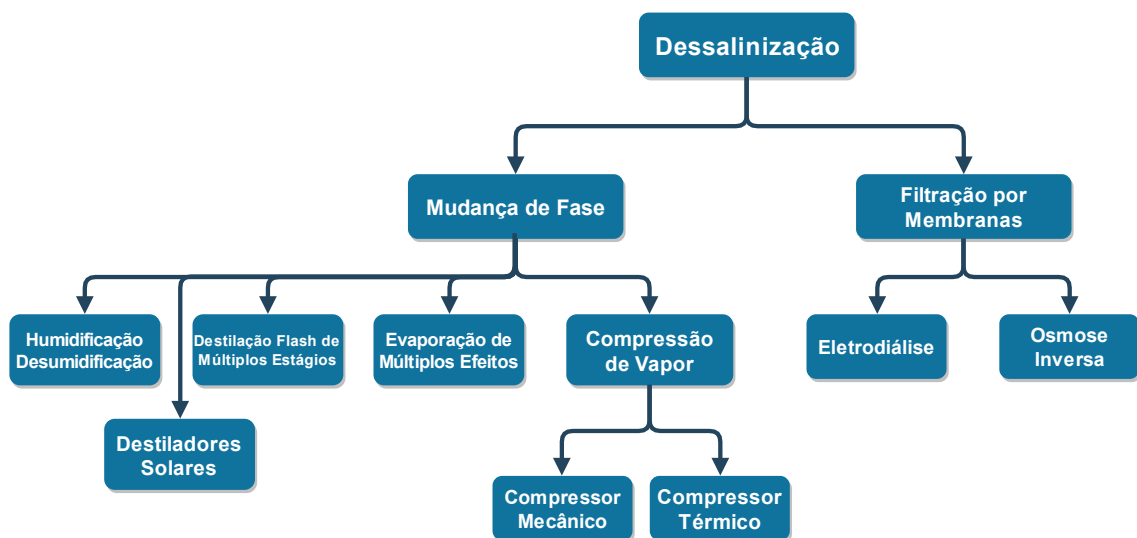


Figura 5 - Diagrama das tecnologias de Dessalinização

### 1.3.1.1 Processos de mudança de fase

Nestes processos a água salgada é dessalinizada de forma similar ao processo natural do ciclo da água em que a água salgada aquece, evapora, condensa e precipita sob a forma de água potável. A destilação pode ser feita usando fontes de energia térmica, proveniente de fontes convencionais de combustíveis fósseis, energia nuclear, e fontes de energia renováveis tais como energia solar e geotérmica.

Os fatores importantes a serem considerados para estes métodos de dessalinização são a temperatura e pressão necessária para a evaporação da água, assim como a energia necessária para atingir esse objetivo.

#### 1.3.1.1.1 Destiladores Solares Diretos

Estes destiladores normalmente são constituídos por uma cobertura transparente, como vidro ou plástico, que transmite a radiação de baixo comprimento de onda e reflete a radiação de grandes comprimentos de onda criando assim um efeito de estufa, uma superfície absorvedora preferencialmente de cores escuras, por onde circula uma fina camada de água de forma a promover a evaporação. Depois de evaporada a água condensa na cobertura que deve ter uma temperatura mais baixa para que promova a condensação, a água já destilada escorre por gravidade e é canalizada até um reservatório.

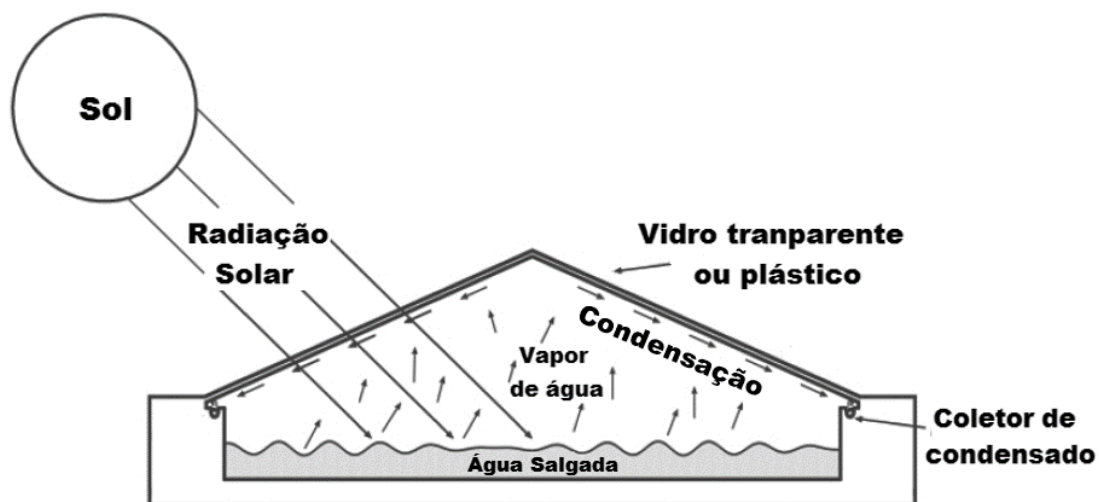


Figura 6 - Destilador solar direto [4]

Embora restringidos por uma produção de pequenos volumes de água, 2 a 7 L/(m<sup>2</sup>/dia) podem ser uma solução simples de dessalinização onde não haja possibilidade de uma produção centralizada. A sua simplicidade permite que possam ser construídos por praticamente qualquer pessoa e com muitos poucos recursos.

### 1.3.1.1.2 Destilação Flash de Múltiplo Estágio

Este processo usa várias câmaras a diferentes pressões e temperaturas, uma caldeira e vários permutadores de calor. A água a destilar começa por passar num permutador de calor na câmara com menor pressão e temperatura até à câmara com maior pressão e temperatura, desta forma garante um pré-aquecimento. Depois de pré-aquecida a água entra na caldeira onde atinge a temperatura máxima do sistema tipicamente de (90 °C a 115 °C) [4], ao entrar na primeira câmara, com uma pressão abaixo da atingida na caldeira, parte da água evapora-se rapidamente e condensa nos permutadores da água de entrada, desta forma o calor latente da água evaporada é usado no pré-aquecimento. A água condensada é recolhida e a que não se evaporou é enviada para a próxima câmara onde ocorre exatamente o mesmo processo, este processo ocorre entre 16 a 32 vezes [4], em que há uma diminuição na pressão de estágio após estágio, até que se atinja a pressão atmosférica.

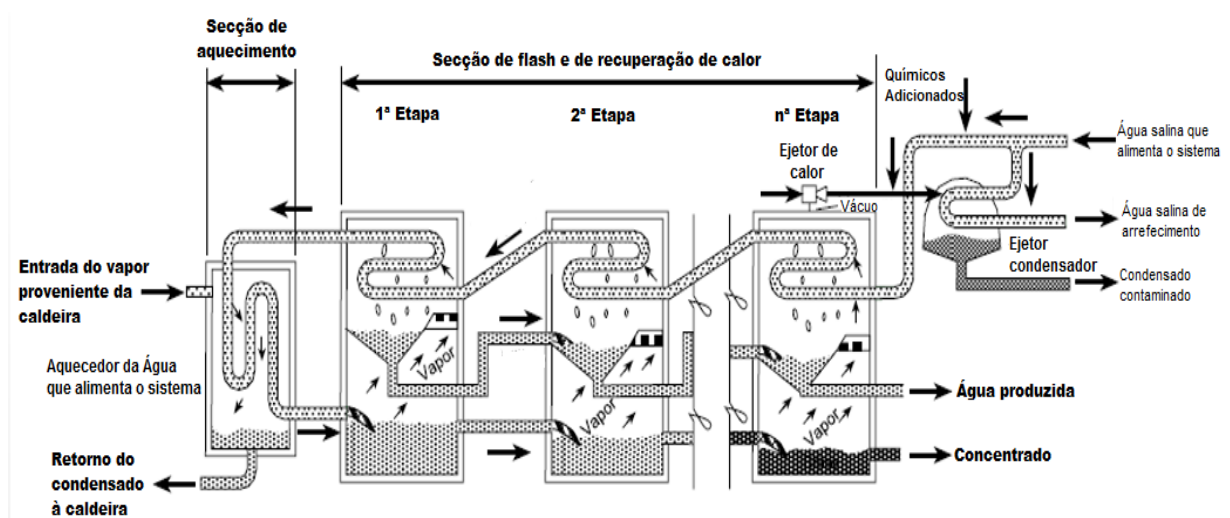


Figura 7 - Esquema do processo de destilação Flash de Múltiplo Estágio [11]

Quanto maior o número de estágios maior será a eficiência do processo, no entanto maior será também o custo de investimento da central assim como a sua manutenção. Quanto maior a temperatura maior facilidade haverá na evaporação e por consequente no rendimento do processo. No entanto, isso também pode aumentar a corrosão do sistema, o que faz aumentar o custo de manutenção e/ou o custo do investimento em materiais mais resistentes. As centrais deste tipo têm capacidade de produção entre 4 000 e 60 000 m<sup>3</sup>/dia e o consumo energético deste processo é cerca de 81 kWh térmicos e 3 kWh elétricos por cada m<sup>3</sup> de água destilada.

#### **1.3.1.1.3 Destilação Múltiplo Efeito**

Este processo ocupa a terceira posição no mercado global de dessalinização e é um dos mais importantes para este estudo.

Neste processo a água de alimentação é inicialmente aspergida sobre um permutador de calor de uma fonte quente, a parte da água evaporada é canalizada para o seguinte estágio que funciona como fonte quente transferindo o calor latente para a evaporação da água de alimentação e condensando já sob forma de água destilada que é canalizada e recolhida para um acumulador do destilado. O processo é repetido várias vezes, 2 a 16 vezes, com a temperatura e a pressão a diminuir do gradualmente até que a energia térmica da água evaporada já não seja suficiente para fazer evaporar a água de alimentação.

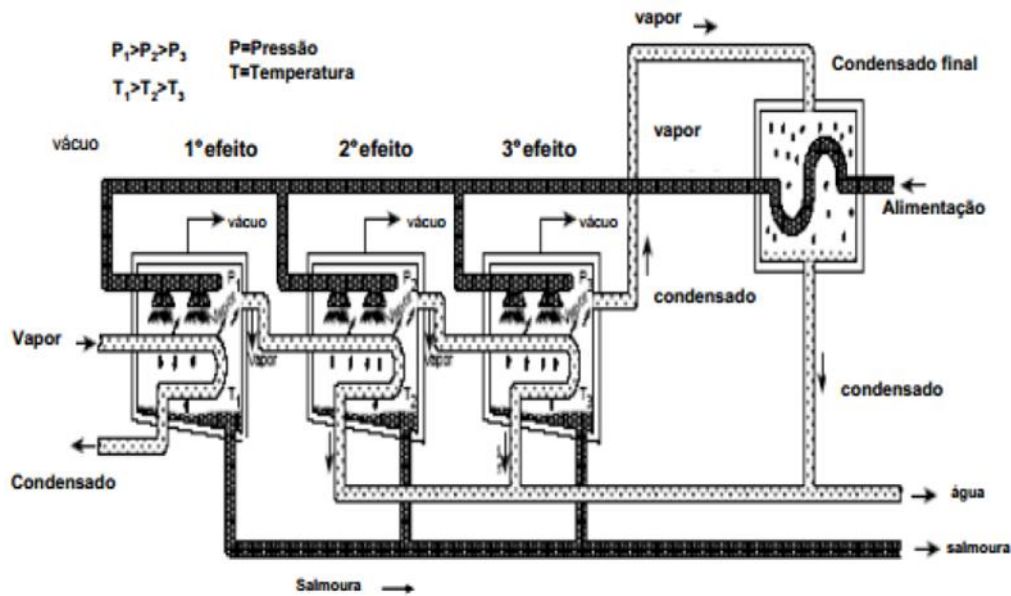


Figura 8 - Esquema do processo de destilação múltiplo efeito [11]

Tipicamente a temperatura da fonte quente deste sistema situa-se na gama de 60 a 70 °C, no entanto pode chegar até cerca de 55 °C, o que reduz bastante a energia necessária a introduzir ao sistema assim como a perda em calor sensível pelo destilado como pela salmoura final. Isto permite rendimentos energéticos bastante bons assim como a diminuição dos efeitos corrosivos da água salgada. A capacidade das instalações são por norma entre 2 000 e 30 000 m<sup>3</sup>/dia, tendo um consumo energético térmico compreendido entre 46 a 63 kWh/m<sup>3</sup> dependendo do número de estágios [4].

#### 1.3.1.1.4 Destilação por compressão de vapor

Normalmente esses processos de compressão de vapor são práticos para instalações de pequena escala, de 20 a 2 500 m<sup>3</sup>/dia. As plantas são muito compactas e podem ser projetadas para serem portáteis e requerem um mínimo de pré-tratamento.



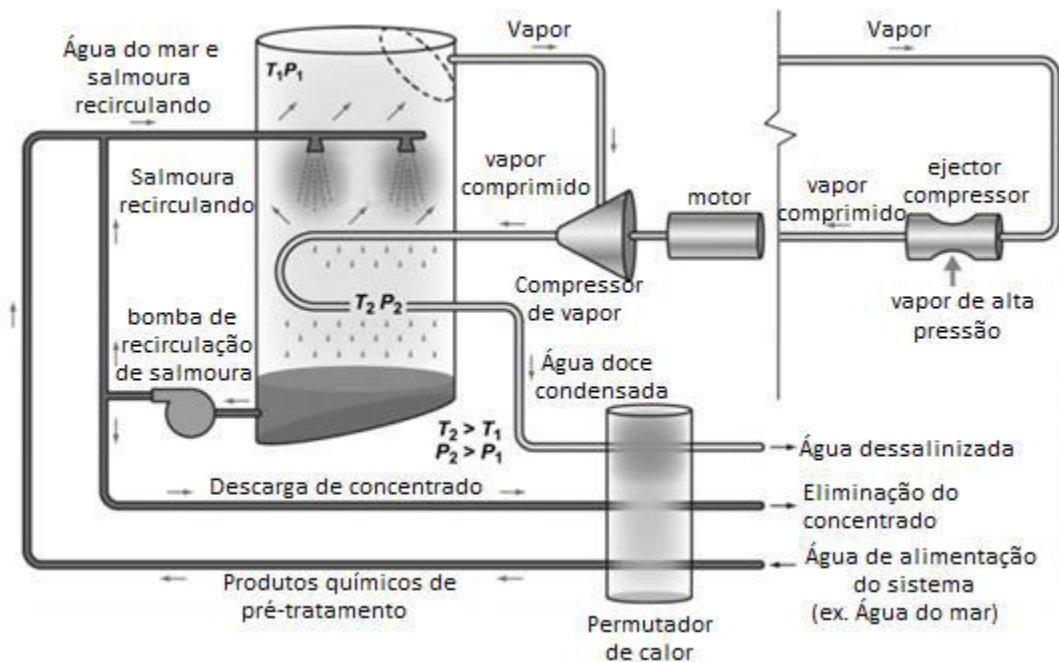


Figura 9 - Esquema do processo de destilação por compressão de vapor [4]

Este processo é por norma combinado com a Destilação Múltiplo Efeito, com a diferença que aqui o vapor extraído é comprimido e uma vez que a rápida compressão provoca um aumento de temperatura, este vapor volta a ser permutado dentro das câmaras libertando aí o calor adicional adquirido na compressão e o calor latente ao condensar.

São utilizados dois métodos de operação, compressão mecânica de vapor (MVC) em que o compressor é acionado eletricamente e compressão de vapor térmico (TVC) usando um jato de vapor. O seu consumo energético é cerca de 7 a 12 kWh/m<sup>3</sup> elétricos para MVC e para o TCV cerca de 63 kWh/m<sup>3</sup> térmicos e 1,8 kWh/m<sup>3</sup> elétricos [4].

### 1.3.1.1.5 Humidificação - Desumidificação

Neste processo a água salgada é aquecida com o intuito de aumentar a taxa de evaporação quando entra no evaporador/humidificador, onde esta entra em contacto com ar com baixa humidade recolhido do exterior. Assim que o ar atinge a sua humidade de saturação é enviado para o condensador onde parte da água passa ao estado líquido e é recolhida num

reservatório já sob forma de água potável, enquanto que a outra que está contida no ar na forma de vapor é enviada de volta para o exterior.

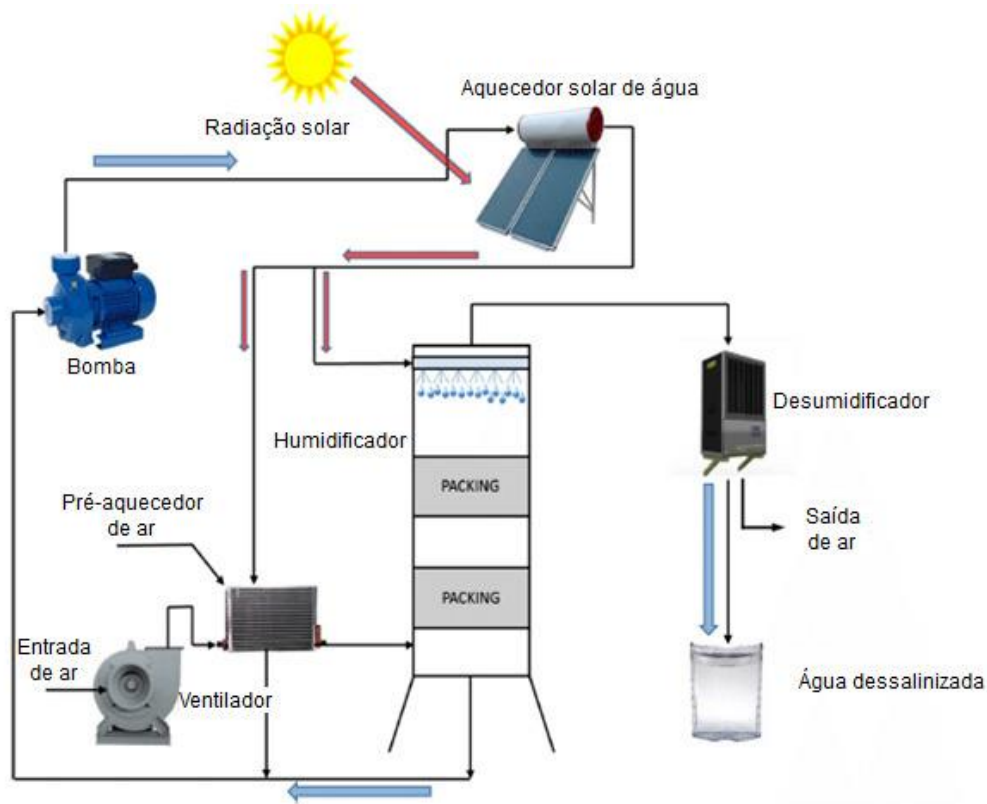


Figura 10 - Esquema do processo de destilação humidificação – desumidificação [12]

Este processo apresenta ainda baixas taxas de rendimento energético e económico, no entanto tem sido alvo de bastantes estudos promissores. Uma vez que neste processo não é crucial elevadas temperaturas este pode ser combinado a sistemas de refrigeração pois no processo de evaporação da água é retirado calor ao ar para a mudança de fase da água.

### 1.3.1.2 Processos de filtração por membranas

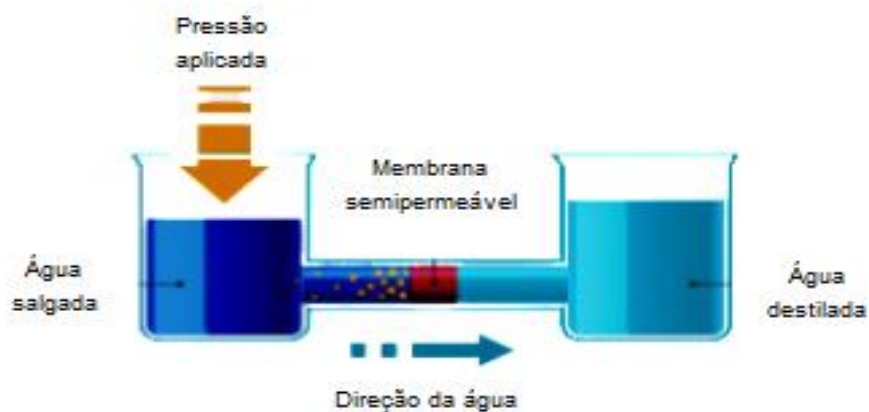
#### 1.3.1.2.1 Osmose Inversa

A osmose inversa é a tecnologia que atualmente domina o mercado de dessalinização mundial, especialmente fora do Oriente Médio. É uma das mais pertinentes para esta dissertação por ser a tecnologia usada em Cabo Verde para a dessalinização da água.

É um processo de separação onde uma solução salina é pressurizada, acima da sua pressão osmótica, contra uma membrana permeável à água e impermeável aos sais nela dissolvidos, resultando numa solução altamente concentrada e noutra com baixa concentração de sais. Este processo repete-se até a concentração de sais chegar à desejada, a água produzida a partir desta tecnologia apresenta uma qualidade inferior ao dos processos de mudança de fase.

Quanto maior a salinidade da água maior será a pressão osmótica e por isso maior a pressão necessária a aplicar, para água salobra varia de 15 a 25 bar e para sistemas de água do mar de 54 a 80 bar. Isto também significa que a energia gasta no processo está diretamente relacionada com a salinidade da água, por este motivo neste processo sempre que possível usa-se água salobra ao invés de água do mar.

É essencial fazer o pré-tratamento da água de entrada para minimizar a degradação das membranas bem como o pós-tratamento químico de forma a neutralizar o pH da água e a eliminar potenciais substâncias prejudiciais para o consumidor, contudo estes tratamentos têm um elevado peso no custo final da água.



*Figura 11 - Princípio de funcionamento da dessalinização por osmose inversa [12]*

Estima-se ainda que, o consumo elétrico desse sistema é de 3,5-5 kWh/m<sup>3</sup> de água potável obtida.

### 1.3.1.2.2 Eletrodialise

A eletrodialise é um processo de dessalinização por membranas que consiste na remoção de componentes iónicos (sais) de uma solução aquosa salina através de membranas semipermeáveis, umas catiónicas e outras aniónicas, aplicando uma pequena tensão DC nos eléctrodos.

Na solução as moléculas de cloreto de sódio (sal) dissociam-se em iões de sódio e de cloro, as membranas são colocadas em paralelo e alternadamente formando vários compartimentos e sob a aplicação de uma tensão eléctrica permitem a passagem dos iões da mesma polaridade, fazendo com que os iões migrem para os respectivos polos, atravessando as membranas ou sendo por elas detidos. Desta forma no compartimento situado entre as membranas é obtida a água potável e no compartimento alternado sai um concentrado salino. São necessários vários processos de pré-tratamento, tanto para proteger as membranas como para remoção de matéria orgânica.

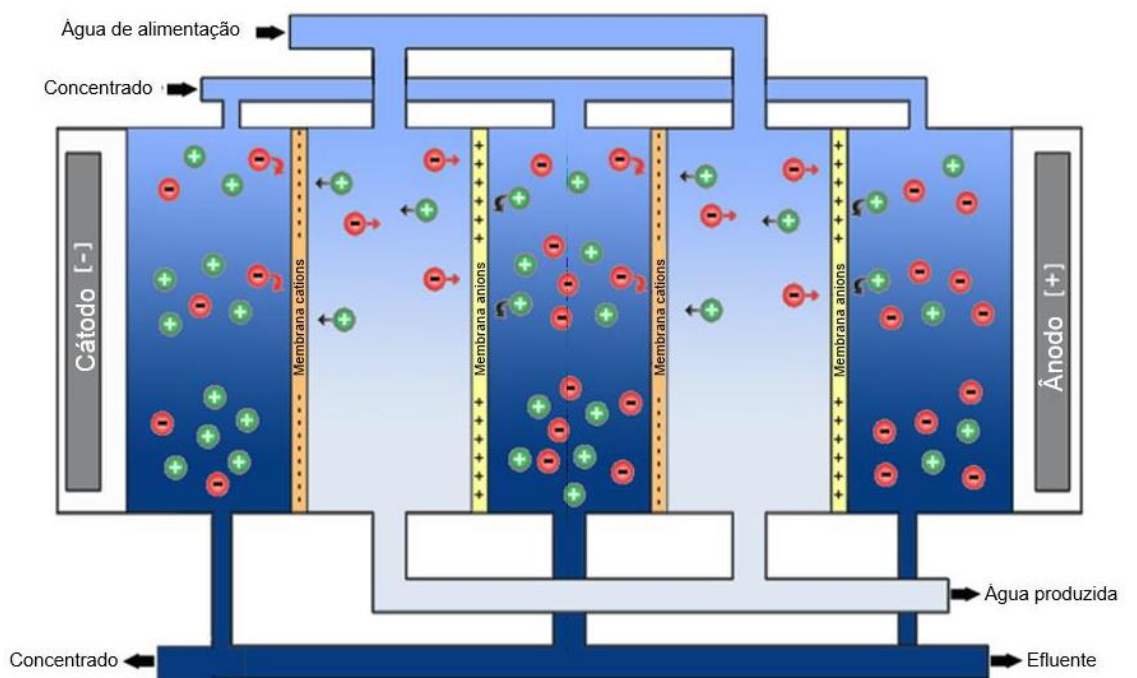


Figura 12 - Esquema de funcionamento de filtração por eletrodialise [4]

A eletrodialise tem capacidade para uma alta taxa de recuperação, ou seja, é possível obter uma boa porção água potável por porção de concentrado. A energia necessária é proporcional à quantidade de sais que se necessita remover, a qualidade da água de alimentação não é tão exigente como na osmose inversa e a necessidade de pré-tratamento químico é baixa.

É maioritariamente usado em pequenas a médias instalações, desde 100 m<sup>3</sup>/dia até 20000 m<sup>3</sup>/dia, normalmente para águas salobras com concentrações salinas de 1000 a 5000 ppm. Uma vez que o consumo energético é proporcional à salinidade da água de alimentação, esta técnica por norma só é economicamente mais vantajosa que a osmose inversa para concentrações de até 10 000 ppm, contudo tem capacidade para dessalinização de águas com concentrações salinas de até 36 000 ppm. O consumo energético elétrico é de cerca de 0,6 kWh/kg de sal removido, o equivalente a 2,64 kWh/m<sup>3</sup> para concentrações de 2 500 ppm ou 5,5 kWh/m<sup>3</sup> para concentrações de 5 000 ppm.

### 1.3.2 Comparação dos métodos

Pelo facto de a humidificação-desumidificação não ser ainda um método comercial não entrará na seguinte tabela.

Tabela 3 -Comparação dos diferentes métodos de dessalinização

| Processo                |                                      | Fonte energética | Consumo Energético  | Qualidade da água | Capacidade de dessalinização |
|-------------------------|--------------------------------------|------------------|---------------------|-------------------|------------------------------|
| Mudança de fase         | Destilação Flash de Múltiplo Estágio | Térmica          | Alto                | Alta              | Alta                         |
|                         | Evaporação de Múltiplos Efeitos      |                  | Médio               |                   |                              |
|                         | Compressão de Vapor                  |                  | Térmico<br>Mecânico |                   |                              |
| Filtração por Membranas | Osmose Inversa                       | Elétrica         | Baixo               | Média             | Média                        |
|                         | Eletrodialise                        |                  |                     |                   | Baixa                        |


Da análise da tabela pode se dizer que os processos de mudança de fase precisam de um consumo energético maior em comparação com as tecnologias de filtração por membranas, sendo a destilação flash de múltiplo estágio a tecnologia com um maior consumo energético, mas em contrapartida esses processos apresentam uma melhor qualidade de água produzida e uma maior capacidade de dessalinização.

### 1.3.3 Fontes Energéticas

Uma vez que a necessidade de dessalinização normalmente coincide com a abundância do recurso solar, é oportuno usar este recurso como fonte energética para a dessalinização.

Pelo que para satisfazer as necessidades elétricas dos sistemas apresentados a opção mais simples seria o uso de painéis fotovoltaicos enquanto que para satisfazer as necessidades térmicas seria o uso de coletores solares térmicos. Na tabela 4 estão representadas algumas tecnologias solares capazes de fornecer energia para os processos de dessalinização apresentados anteriormente.

Tabela 4 - Possíveis fontes energéticas para os diferentes processos

| Processos                                   |                 | Fonte energética   |   |
|---|-----------------|--|---|
| <b>Osmose Inversa</b>                       |                 |  |   |
| <b>Eletrodialise</b>                        |                 |  |   |
| <b>Destilação por Compressão de Vapor</b>   | <b>Mecânico</b> |  |   |
|   | <b>Térmico</b>  |  |   |
| <b>Destilação de Múltiplo Efeito</b>        |                 | Temperatura máxima de operação de 70 °C  |  |
| <b>Destilação Flash de Múltiplo Estágio</b> |                 | Temperatura de máxima de operação entre 90 °C e 115 °C                               |  |

## 1.4 Enquadramento sobre a situação geográfica e meteorológica de Cabo Verde

### 1.4.1 Localização geográfica

Cabo Verde é um pequeno país de origem vulcânica, com uma superfície de 4033 km<sup>2</sup>, localizado no oceano Atlântico entre os paralelos 14° 48' e 17° 12' de latitude Norte e os meridianos 22°44'e 25°22' de longitude Oeste, a cerca de 500 km da Costa Ocidental da África. O país é constituído por 10 ilhas (das quais 9 são habitadas) e 8 ilhéus divididas em dois grupos de acordo com a sua localização e direção dos ventos alísios do Nordeste, Barlavento (ao vento e ao norte do país) e Sotavento (contra o vento e ao sul do país), contabilizando uma superfície total de 4033 Km<sup>2</sup> [13].



Figura 13 - Localização geográfica de Cabo Verde [14]

### 1.4.2 Clima

As ilhas de Cabo Verde contam com um clima árido e semiárido, marcado por longas secas, sendo o seu clima influenciado pela zona Sahel (uma faixa de zonas áridas que passa por 12 países Africanos).



*Figura 14 - Localização geográfica da zona SAHEL no mapa africano*

O mesmo está muito dependente de três grandes correntes de ventos: Ventos alísios do Nordeste (húmidos e frescos), ventos do Este (quentes e secos) e frente intertropical (quentes e húmidos). O país conta com temperaturas médias anuais de 25 °C, sendo na época fria dezembro a fevereiro uma média de 22 °C e na época mais quente entre julho a novembro a média de 27 °C com uma humidade relativa elevada de 75 a 80% dependendo da altitude do local.

### **1.4.3 Recurso Hídrico em Cabo Verde**

Cabo Verde é um país pobre em recursos hídricos, resultado das baixas precipitações com os valores médios de 230 mm distribuídos de forma muito irregular no país dependendo da altitude do local, desta forma para as zonas situadas abaixo de 400 m de altitude apresentam valores médios máximos de 300 mm e 700 mm para as zonas situadas a mais de 500 m de altitude.

O arquipélago conta com duas estações, a das chuvas muito irregulares por vezes com um caráter torrencial, de agosto a outubro com uma duração média de 15 a 25 dias nas áreas áridas e 45 a 55 dias nas semiáridas e a estação seca, de dezembro a junho, os meses de julho e novembro considerados meses de transição.



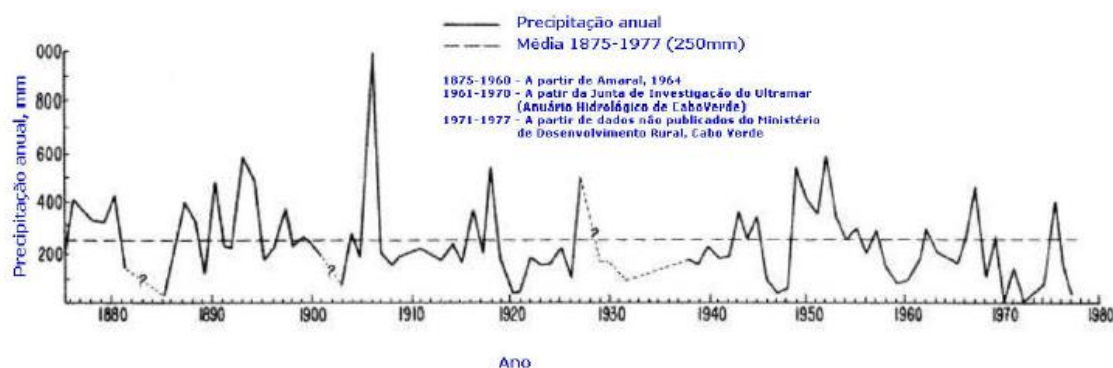


Figura 15 - Precipitação anual na cidade de Praia, Santiago, entre 1875 e 1977 [15]

A figura acima mostra a variação das precipitações ao longo dos anos em Cabo Verde, pode-se constatar que a ocorrência de chuvas torrenciais onde os níveis de precipitação chegaram aos 1000 mm e anos de seca em que se chega a registar valores nulos de precipitação por ano.

#### 1.4.4 Disponibilidade hídricas

Há centenas de anos atrás a população de Cabo Verde dependia exclusivamente das águas subterrâneas, atualmente essa situação já não se verifica devido à diminuição na quantidade e na qualidade deste recurso (em algumas zonas a salinidade em 1995 era duas a três vezes superior à medida em 1991).

A água que hoje é distribuída a população provém de captações subterrâneas, superficiais e principalmente da dessalinização da água do mar. Parte da água utilizada na agricultura provem de barragens que nas épocas de seca acabam por secar.

Estima-se que o volume global de água subterrânea no arquipélago ronda os 124 milhões de  $m^3$ / ano, contudo só é explorada cerca de 99 409  $m^3$ /dia, contribuindo a ilha de Santiago com 54,3% desse valor, desses 44% provem das nascentes, 28,9% os poços e 28% os furos. Dessa quantidade total, a exploração depende da pluviometria anual [15].

Na ilha de Santiago estão inventariados 1074 poços com diâmetros entre 1,5 e 3 m e profundidades entre 2,5 e 15 m, apresentando uma produtividade fraca, com caudais na

ordem de 10-15m<sup>3</sup>/dia. Até ao início dos anos setenta os poços asseguravam mais de 50% dos recursos hídricos destinados ao abastecimento às populações e para a agricultura [15].

As nascentes e as galerias drenantes, são também importantes para a produção de água em Cabo Verde, na ilha de Santiago estão inventariados pelo INGRH um total de 1199 nascentes, a maioria das quais localizadas no planalto central da ilha, entre os maciços do Pico da Antónia e da Serra Malagueta [15].

A ilha de Santiago conta ainda com o aquífero pico de Antónia que é o principal da ilha, com uma profundidade de aproximadamente 300 metros e permite captações com caudais de exploração de 40 m<sup>3</sup>/h durante 10 h/dia [15].

#### 1.4.5 Recurso Solar em Cabo Verde

Cabo verde apresenta excelentes níveis de radiação solar, grande parte do território conta com uma disponibilidade solar anual de 1800 a 2200 kWh/m<sup>2</sup>, o que representa muitos dias de muitas horas de exposição solar. Este recurso tem uma baixa variabilidade anual, o que garante uma certa estabilidade no fornecimento de energia através deste vetor energético [16].

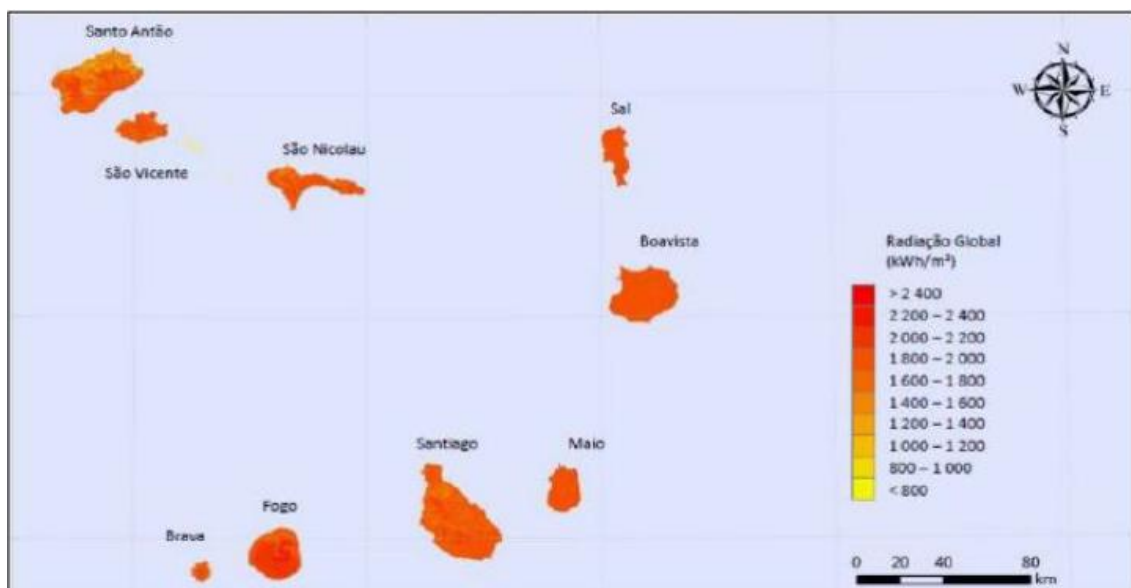


Figura 16 - Mapa da disponibilidade solar anual em Cabo Verde [16]

São apresentadas abaixo mapas do recurso solar da ilha de Santiago, para a classificação deste recurso para cidade da Praia, onde se situa a central de dessalinização em estudo.

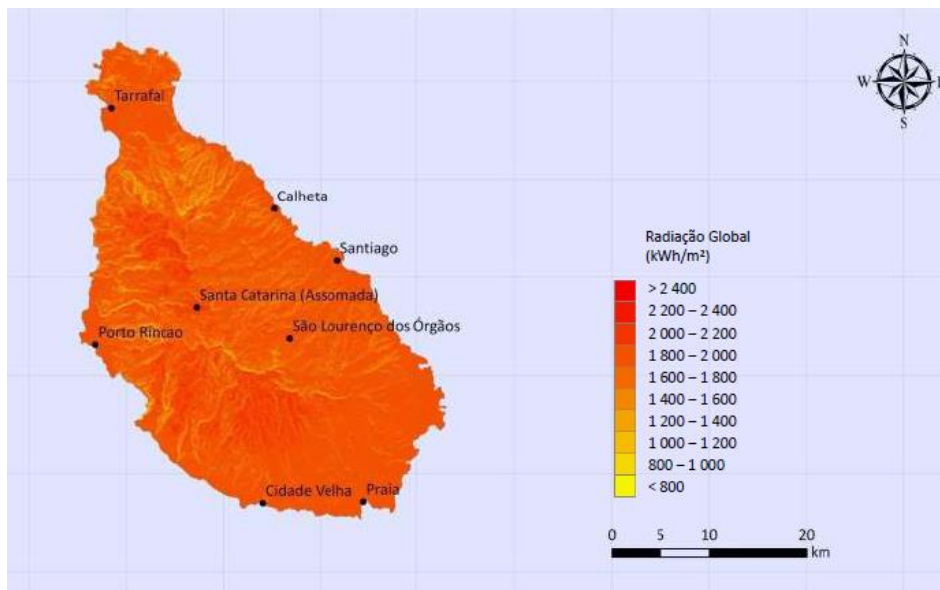


Figura 17 - Mapa de radiação global anual da ilha de Santiago [16]

A ilha de Santiago apresenta um ótimo recurso solar, muito semelhante ao resto do país com uma disponibilidade da radiação solar global anual de 2000 a 2200 kWh/m<sup>2</sup>.

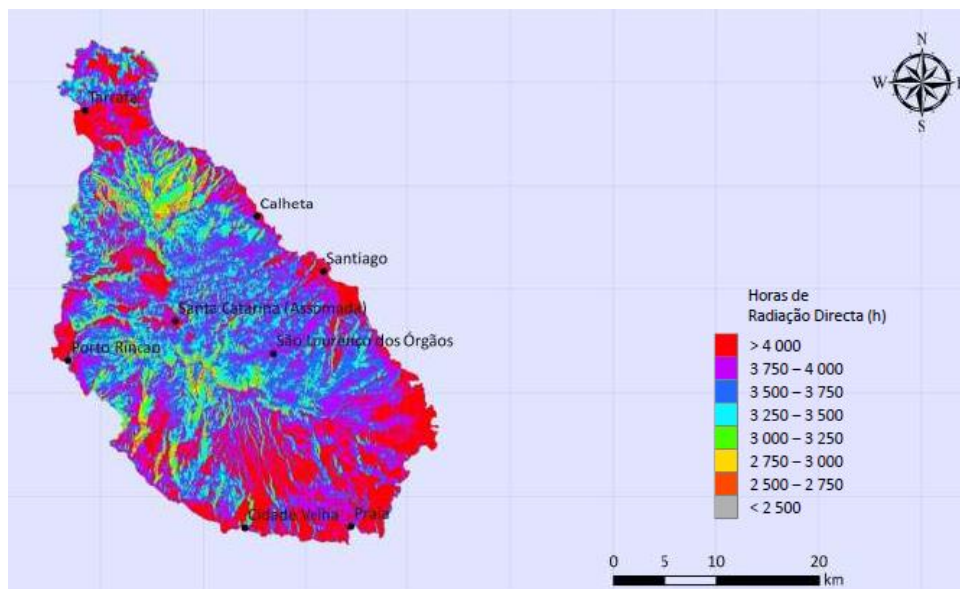
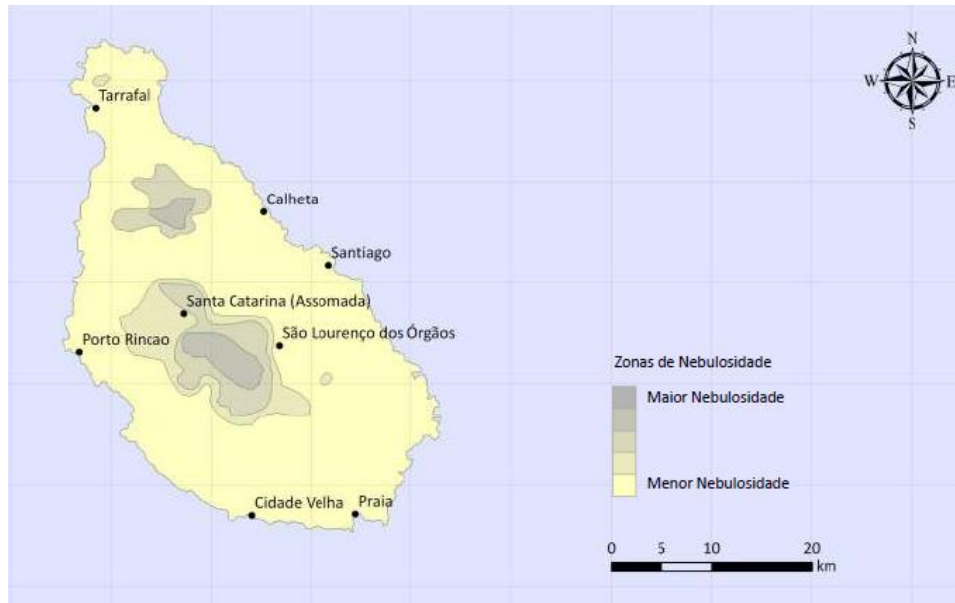


Figura 18 - Mapa de horas da radiação direta anual da ilha de Santiago [16]

Pelo mapa acima representado pode-se notar que a cidade da Praia apresenta uma disponibilidade de radiação direta na ordem de 4000 horas anuais.



*Figura 19 - Mapa de zonas de nebulosidade da ilha de Santiago [16]*

Outro fator importante para o estudo da classificação do recurso solar do local em questão é a nebulosidade. Pelo mapa acima apresentado pode observar-se que a cidade da Praia é uma zona de baixa nebulosidade.

O gráfico 1 apresenta o recurso solar médio horário para cada mês do ano para o local em estudo (cidade da Praia, zona do Palmareijo), obtido pelo PVGIS.

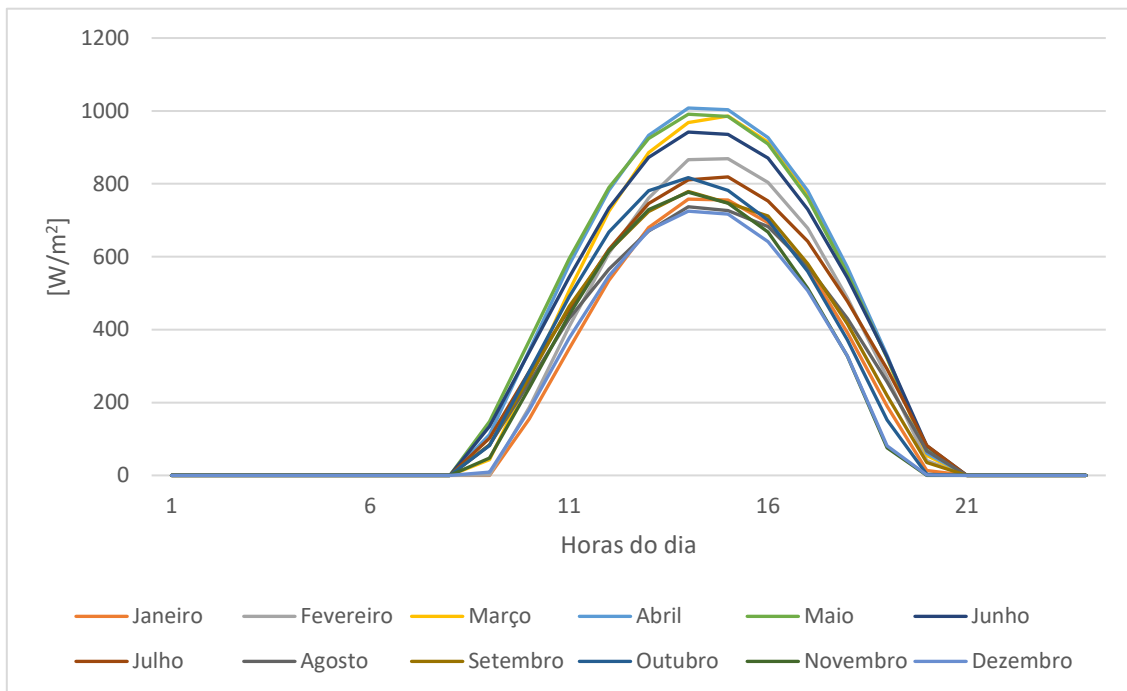


Gráfico 1 - Recurso solar médio horário para cada mês do ano

#### 1.4.6 Dessalinização em Cabo Verde

Tendo em conta que o país é constituído por ilhas pode-se afirmar que o problema não se encontra no acesso à água mas sim na sua qualidade, deste modo há que se recorrer a várias soluções para obter esse recurso que é um condicionante do desenvolvimento económico e do bem-estar social de uma sociedade.

A dessalinização é uma tecnologia indispensável para o fornecimento de água potável, atenuando assim a carência de água sofrida pela população Cabo-verdiana fornecendo água de qualidade para cerca 80% dos habitantes do país [17].

A primeira unidade de dessalinização de Cabo Verde foi instalada no aeroporto internacional da ilha do Sal em 1959, começando assim a história da dessalinização no país com uma capacidade diária de 21,6 m<sup>3</sup>. Aos poucos esses processos foram se

tornando cada vez mais necessárias e ganhando força, tanto que a 31 de dezembro de 2018, a principal empresa responsável pela distribuição de água, nas principais ilhas do país (Santiago, São Vicente e Sal), Electra, dispunha de 3 centrais de produção de água dessalinizada a partir de osmose inversa, contabilizando uma capacidade instalada de 46400 m<sup>3</sup>/dia.

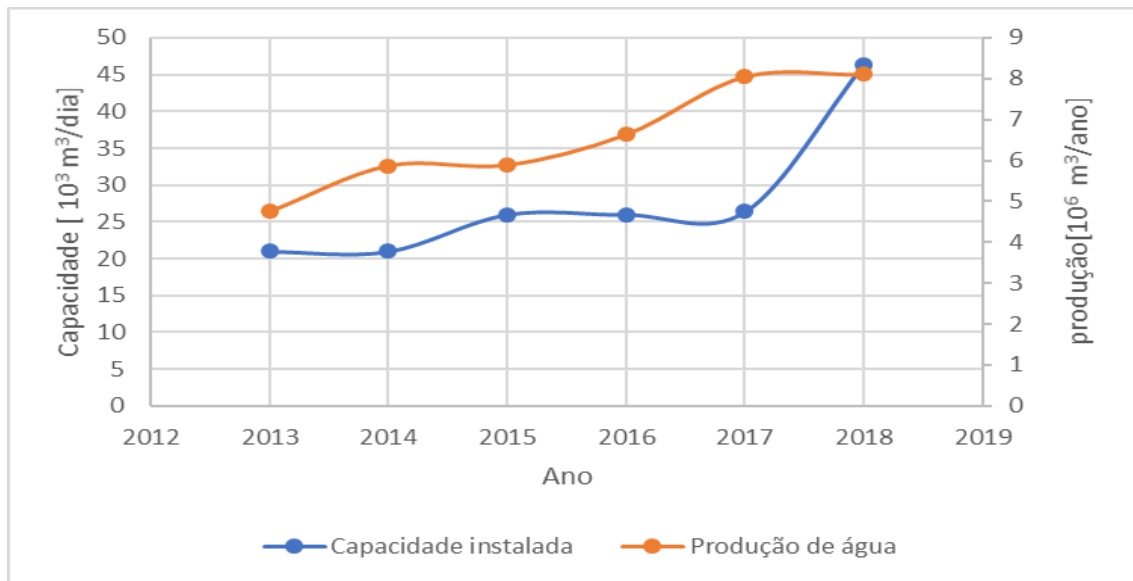


Gráfico 2 - Evolução da capacidade instalada e a produção de água na central da Praia [18 - 23]

Da análise do gráfico 1 pode constatar-se que apesar de se ter registado um aumento de 43,1% da capacidade instalada do ano 2017 para o ano 2018 devido a construção de mais duas centrais de dessalinização, uma na ilha do Sal e a outra em São Vicente, não houve um aumento significativo na produção de água no mesmo período devido ao fato dessas centrais não terem entrado em funcionamento em 2018.

Cabo Verde conta com mais 5 produtores e distribuidores independentes de água para além da Electra, sendo eles, Águas de Ponta Preta (APP), Águas e Energia da Boavista (AEB) e Águas do Porto Novo (APN), Águas de Santiago (ADS), Água Fogo e Brava (Aguabrava) [18].

### 1.4.6.1 Perdas na distribuição de água

O arquipélago de Cabo Verde tem enfrentado um grande desafio no que concerne as perdas na distribuição de água, devido às fugas nas tubulações e reservatórios antigos. O gráfico 2 representa as perdas em percentagem relativamente a água produzida pela Electra durante a distribuição. O pico das perdas para a ilha de Santiago ocorreu no ano 2017 em que 64,7% da produção foi perdida e o pico para o total da Electra ocorreu em 2014 com uma perda de 47,9%. O que reflete num grande desperdício de energia e com consequências diretas no preço final da água cobrada ao consumidor.

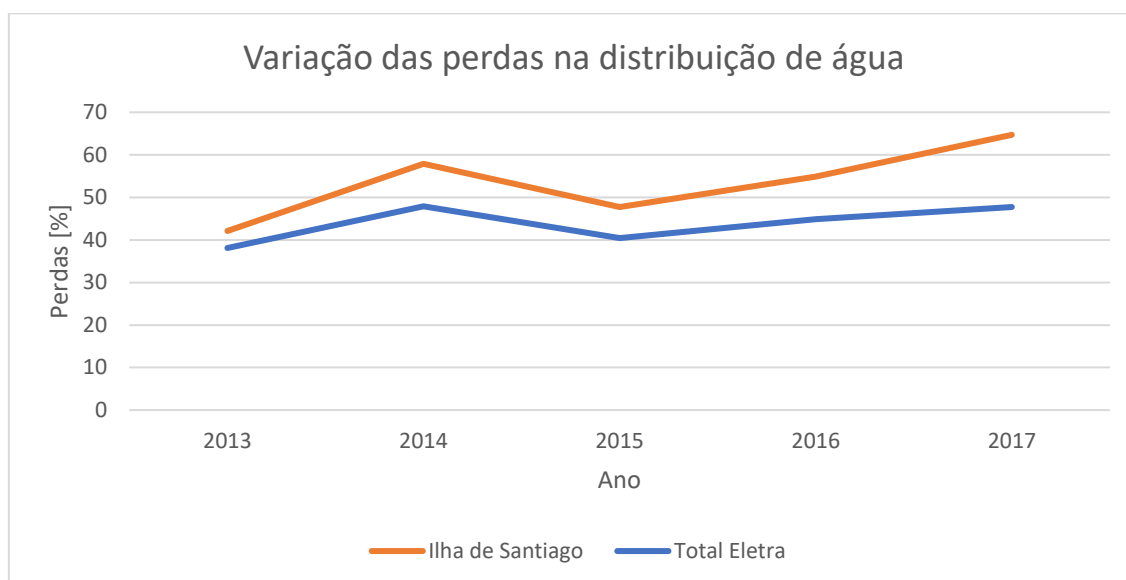


Gráfico 3 - Variação das perdas na distribuição de água [18 - 23]

## 2 Setor Energético Atual

Como referido no capítulo anterior a empresa responsável pela produção e distribuição da eletricidade em quase todo o território, é a Electra, contudo adquire parte da eletricidade de uma empresa independente, a Cabeólica, para o fornecimento desse recurso. A produção de energia elétrica no referido país procede-se através de três processos, térmico, solar e eólica, sendo o principal processo o térmico, que utiliza combustíveis fósseis como o fuelóleo e o gasóleo.

### 2.1 Legislação

O exercício da atividade de produção independente e de auto-produção de energia elétrica, independentemente da fonte, é gerida pelo Decreto-Lei nº 1/2011 [19].

#### 2.1.1 Exercício da atividade

A atividade de produção de energia elétrica com base em fontes de energia renováveis divide-se 3 regimes [19]:

##### **Regime para micro-produção**

Aplicável à auto-produção com a potência de ligação de até 100 kVA, precisa apenas de um registo a realizar pelo produtor no Sistema de Registo de auto-produção (SRA). Quanto a remuneração da energia entregue à rede é estabelecida por um regime especial, ou seja, o produtor tem direito de vender ao mesmo preço de compra da energia;

##### **Regime simplificado para eletrificação rural descentralizada**

Aplica-se à produção independente e auto-produção quando realizada para abastecer rede autónoma situada em localidades geograficamente isoladas, necessita apenas de uma licença a atribuir pela Direção Geral de Energia;



### **Regime Geral**

Aplicável à produção independente e auto-produção não previstas nos restantes regimes, requer de licença que é atribuída pela Direção Geral de Energia e no que diz respeito a remuneração da eletricidade produzida, o produtor nesse regime tem direito a receber um valor fixo (não atualizado com a inflação) por cada kWh de energia ativa injetado na rede durante um período de 15 anos após a data de ligação à rede.

#### **2.1.2 Direitos do produtor**

- Consumir e ou ceder a terceiros a energia elétrica por si produzida;
- Entregar à rede elétrica pública, através da entidade titular da concessão de transporte e distribuição de energia elétrica, totalidade da energia elétrica produzida;
- Ligar-se quando necessário por ramal à rede explorada pela concessionária referida na alínea anterior, através do ponto de entrega previamente acordado com a concessionária e validado pela DGE.

#### **2.1.3 Deveres do produtor**

- Entregar a energia elétrica produzida em conformidade com as normas técnicas aplicáveis e de modo a não causar perturbação no normal funcionamento da rede;
- Prestar à DGE, à Entidade Reguladora e ao operador da rede, todas as informações que lhe forem solicitadas;
- Permitir e facilitar o livre acesso do pessoal técnico da DGE, da Entidade Reguladora e do operador da rede, à instalação de produção e suas dependências, bem como aos equipamentos de medida, de modo a realizarem as suas funções de fiscalização.

## 2.2 Consumo atual da ilha de Santiago

A ilha de Santiago no final de 2018 contava com 4 centrais produtores de eletricidade, 2 térmicas, 1 solar e 1 eólica contabilizando uma potência disponível instalada de 75,5 MW, em que as centrais térmicas contabilizam 63,2 MW (83,65%), a central solar 3 MW (3,97%) e a central eólica 9,3 MW (12,38%).

### 2.2.1 Eletricidade Produzida

Do total da energia elétrica produzida em 2018 na ilha de Santiago 88,79% foi entregue à rede, 2,45% foi destinada aos consumos interno da Electra, 7,93% foram consumidos na dessalinização e os restantes 0,83% na bombagem de água dessalinizada.

Registou-se uma perda (técnica e não técnica) de 36,00% de toda energia que foi entregue à rede, sendo assim a energia elétrica consumida pelos clientes totalizava um valor de 126 GWh e a energia gasta no processo de dessalinização no ano em questão foi de 18,94 GWh.

Na tabela representada abaixo pode notar-se a evolução do consumo da ilha entre os anos de 2013 a 2018, mais precisamente, a eletricidade produzida, a entregue à rede e a consumida, assim como as perdas elétricas.

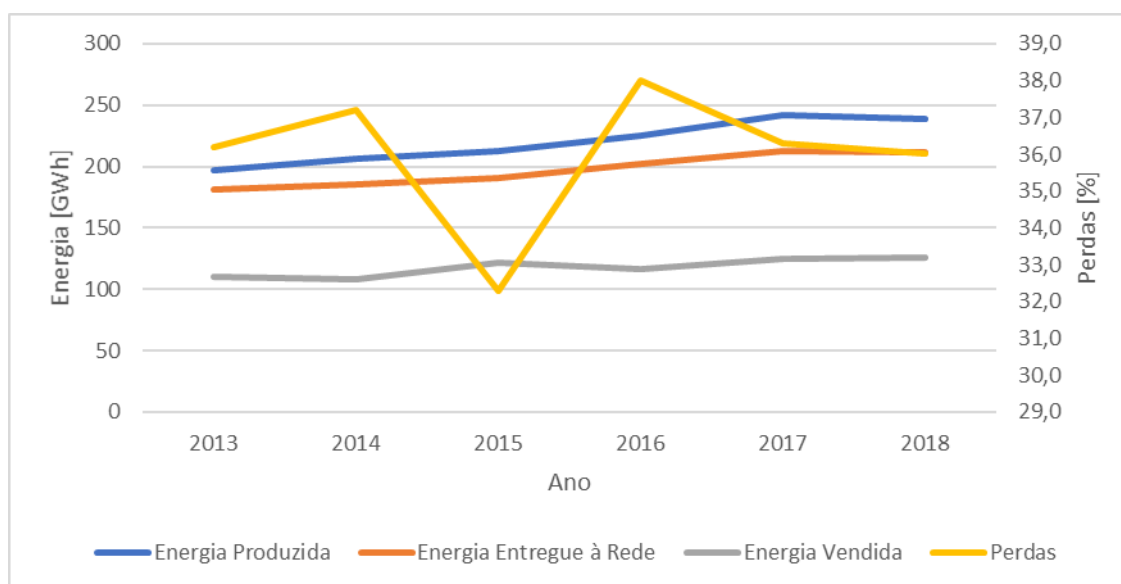


Gráfico 4 - Evolução da produção energética para a ilha de Santiago em GWh [18- 23]

Pode observar-se que ao longo dos anos a produção da energia elétrica aumentou mediante ao aumento da procura, as perdas elétricas (técnica e não técnicas) são enormes podendo chegar a 37% da energia que é efetivamente produzida.

### 2.2.2 Mix energético da ilha

Do total da eletricidade produzida na ilha a maior parte é proveniente do processo térmico revelando assim a forte dependência do país face aos combustíveis fósseis, a outra parcela da produção corresponde a energias renováveis, que juntos formam o sistema energético total da ilha. Mostra-se com o gráfico 4 o Mix energético da ilha.

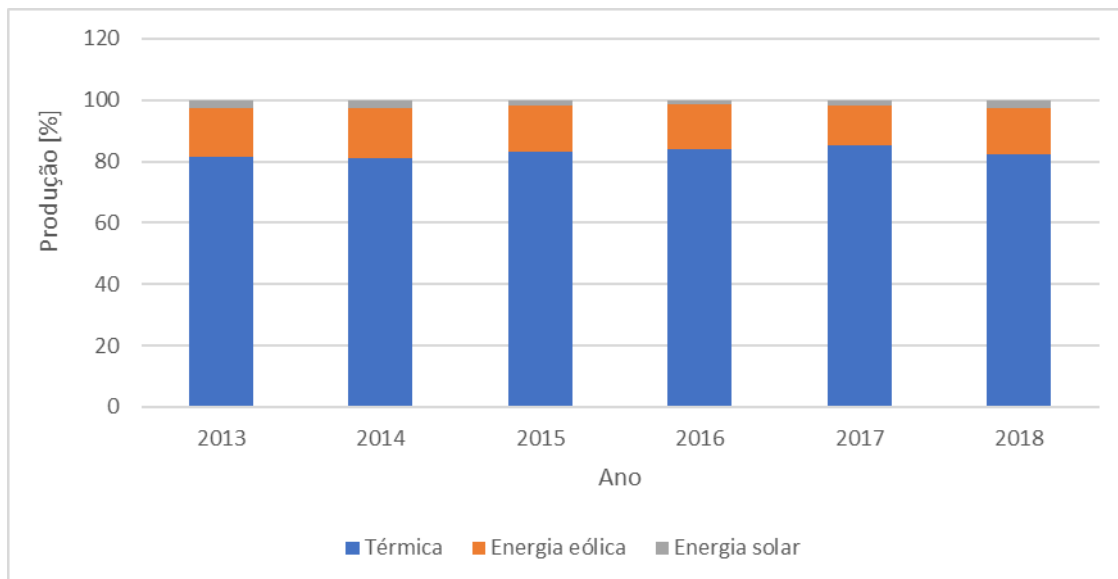


Gráfico 5 - Mix energético da ilha de Santiago [18- 23]

De notar que a contribuição das energias renováveis na ilha é ainda relativamente baixa, todavia, uma estratégia que poderá aumentar esse valor seria o uso de fontes renováveis como vetor energético para a dessalinização, uma vez que esta é uma tecnologia que requer um grande consumo energético, o que resultaria numa grande redução na importação dos combustíveis fósseis e a dependência energética do país.

### 2.2.3 Combustíveis usados para a produção da energia elétrica da ilha

Na tabela 5 estão representadas o equivalente de combustíveis fósseis utilizados no processo térmico para a produção da energia elétrica consumida na ilha de Santiago e os seus respetivos custos. De reparar que começou a ser utilizado o fuel óleo 380 no ano 2018 por uma questão de estratégia para a redução dos gastos com os combustíveis. Com isso pode se verificar que nos últimos 6 anos foi gasto cerca de 143,8 milhões de euros em combustíveis para satisfazer as necessidades elétricas da ilha.

*Tabela 5 - Combustíveis usados na produção da energia elétrica [18- 23]*

| Ano  | Gasóleo [L] | Fuelóleo 180 [L] | Fuelóleo 380 [L] | Custos [€] |
|------|-------------|------------------|------------------|------------|
| 2013 | 1433845     | 35178216         | -                | 28150900   |
| 2014 | 1217082     | 36828545         | -                | 27400700   |
| 2015 | 550873      | 38743004         | -                | 20887000   |
| 2016 | 386502      | 41562764         | -                | 17496900   |
| 2017 | 130360      | 45862446         | -                | 23678300   |
| 2018 | 34591       | 29680404         | 13853061         | 26163900   |

### 2.2.4 Tarifa da eletricidade

A tarifa de eletricidade em Cabo Verde tem sofrido alterações de ano para ano devido as oscilações do preço dos combustíveis.

As tarifas de eletricidade na ilha de Santiago assim como no país apresentam uma certa instabilidade devido a variabilidade dos preços dos combustíveis utilizados para a produção da energia elétrica, ou seja, como mostra o gráfico abaixo a variação do preço da tarifa elétrica segue geralmente a variação dos preços dos combustíveis.

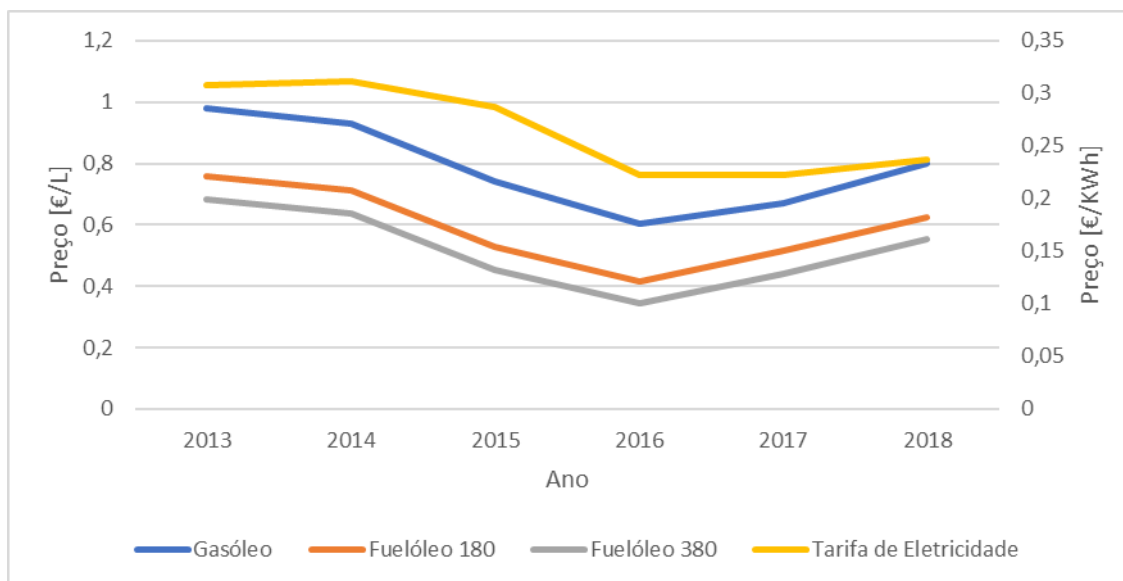


Gráfico 6 - Variação do preço dos combustíveis e a tarifa de eletricidade paga para a produção de água [28-32]

## 2.3 Disponibilidade a instalar parques eólicos e solares na ilha de santiago

A ilha de Santiago assim como o resto do país apresenta boas condições para o aproveitamento das energias renováveis, principalmente a energia solar e a eólica. Para o melhor aproveitamento do potencial renovável do país foi elaborado o Plano Energético Renovável de Cabo Verde (PERCV1) cujo principal objetivo é identificar e reservar as áreas com um bom potencial para o desenvolvimento e instalação de projetos das energias renováveis. Com isso foram definidas e localizadas as Zonas de Desenvolvimento das Energias Renováveis (ZDER), ou seja, zonas destinadas a acolher projetos de aproveitamento das energias renováveis (solar, eólica, hídrica, geotérmica, resíduos sólidos urbanos e marítima).

A energia eólica e o solar representam atualmente a totalidade do aproveitamento renovável para a produção da energia elétrica na ilha e no país. Sendo que a eólica representa a maior fatia. Dada a sua localização, Cabo Verde encontra-se sob influência dos ventos alísios, ventos bastante constantes provenientes de uma única direção, nordeste, sendo esta característica fundamental para o aproveitamento do recurso eólico o que torna esta região especialmente promissora para o aproveitamento deste recurso.

### 2.3.1 Recurso eólico

Para a caracterização do recurso eólico da ilha de Santiago foi usado um mapa com as velocidades do vento representado abaixo e pode-se notar que na referida ilha as velocidades médias do vento variam entre os 6 m/s e os 8 m/s consoante a elevação do terreno, com uma orientação predominante do Nordeste. A baixa variabilidade na velocidade do vento registada no país representa baixos desvios em termos de previsão da potência, uma vez que esta varia com o cubo da velocidade do vento o que proporciona uma certa confiança num possível projeto eólico.

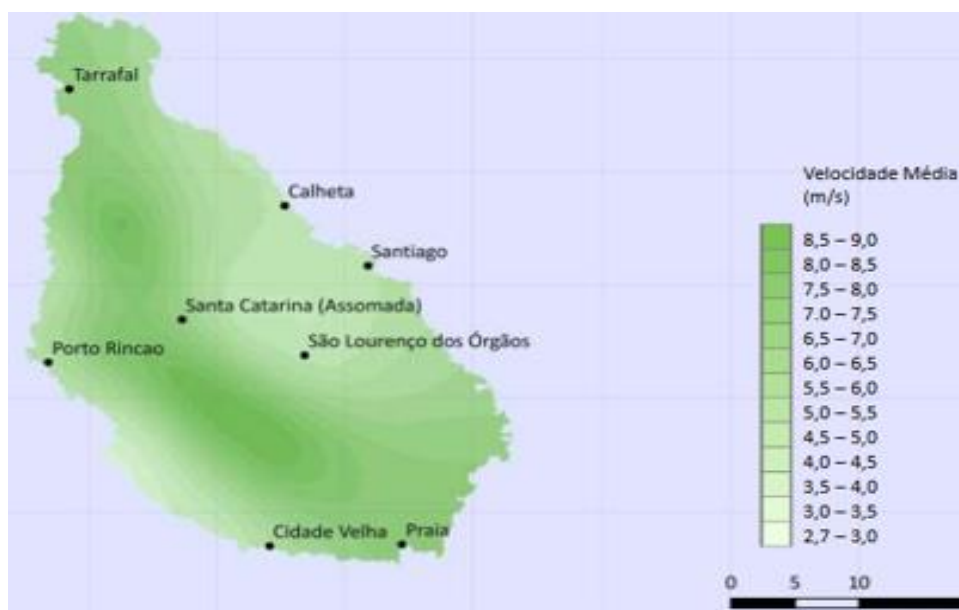


Figura 20 - Recurso eólico da ilha de Santiago [16]

Considera-se que as melhores zonas para acolher projetos eólicos ficam a uma altitude de 500 a 900 metros apresentando uma velocidade média do vento na ordem dos 7 m/s. Existem áreas com velocidades do vento maiores, mas em contrapartida são locais escarpados de difícil acesso e sem viabilidade para instalação de aerogeradores eólicos.

No mesmo estudo elaborado pela GESTO ENERGIAS, foram definidas as ZDER para a ilha de Santiago. Para a definição das ZDER eólico foram estudados o recurso eólico, análises ambientais, ordenamento do território, orografia do terreno.

Depois do estudo feito, foram apresentadas 3 ZDER eólicas para a referida ilha e a potência aproveitável dos projetos estabelecidos para essas zonas, sendo exibidas na tabela abaixo:

Tabela 6 - ZDER eólicos para ilha de Santiago [20]

| ZDER                      | Potência [MW] | Área [km <sup>2</sup> ] |
|---------------------------|---------------|-------------------------|
| ZDER.ST.1-Terras Altas    | 96,9          | 36,31                   |
| ZDER.ST.2-Praia Baixo     | 6,8           | 0,52                    |
| ZDERST.3-Monte da Chaminé | 5,95          | 0,43                    |

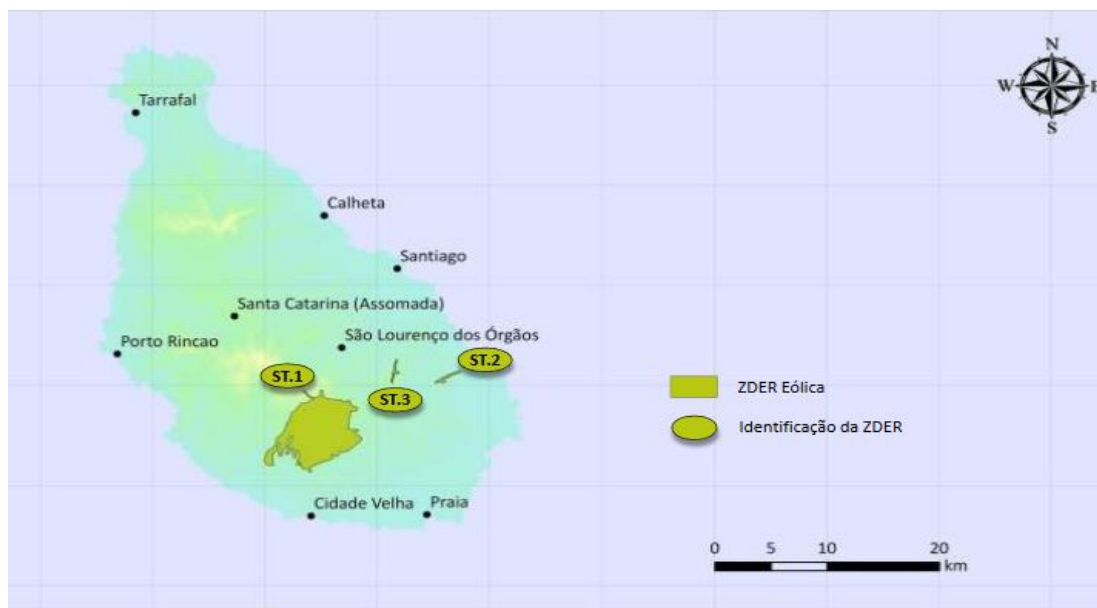


Figura 21 - Localização das ZDER Eólicas para ilha de Santiago [20]

O mapa acima representado mostra a localização das ZDER eólicas para a ilha de Santiago.

### 2.3.2 Recurso solar

O recurso solar já foi classificado anteriormente, contudo, também foram definidas ZDER solares, projetos a serem albergados por essas zonas bem como as suas potências aproveitáveis, serão apresentadas na tabela a seguir:

Tabela 7 - ZDER solares para ilha de Santiago [20]

| ZDER-Solar | Potência [MW] | Área [km <sup>2</sup> ] |
|------------|---------------|-------------------------|
| ZDER.ST.8  | 53            | 1,08                    |
| ZDER.ST.9  | 89            | 1,78                    |
| ZDER.ST.10 | 73            | 1,46                    |
| ZDER.ST.11 | 147           | 2,93                    |
| ZDER.ST.12 | 35            | 0,62                    |
| ZDER.ST.13 | 17            | 0,35                    |
| ZDER.ST.14 | 53            | 1,05                    |
| ZDER.ST.15 | 84            | 1,67                    |
| ZDER.ST.16 | 162           | 3,24                    |

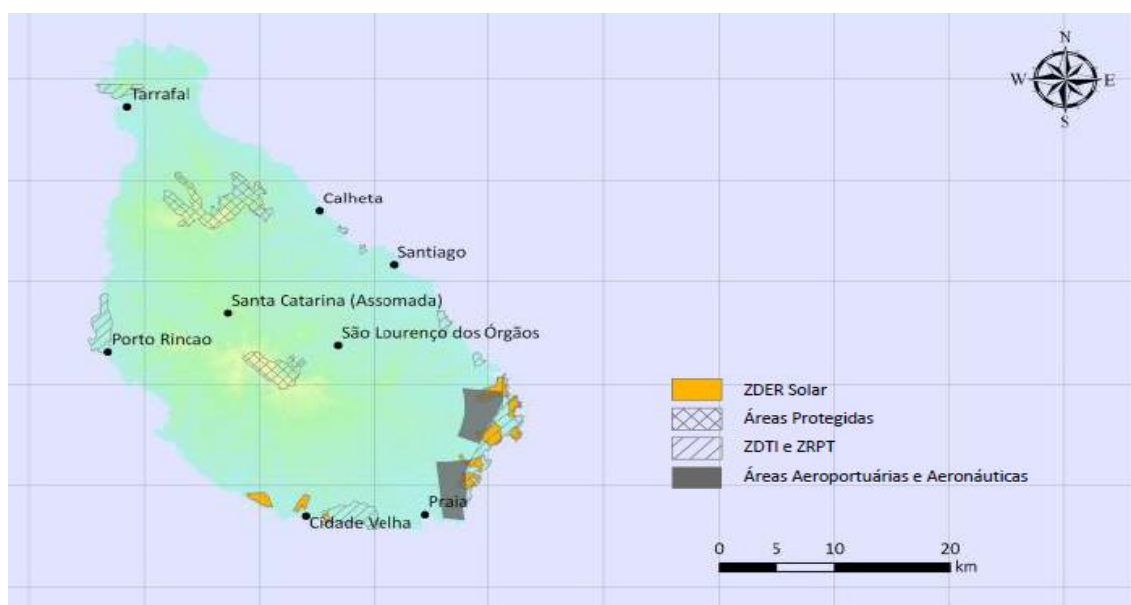


Figura 22 - Localização das ZDER solares para ilha de Santiago [20]

No mapa acima podemos observar a localização das ZDER solares para a ilha de Santiago.



O potencial a instalar no que tange a energia solar e a energia eólica na ilha de Santiago é na ordem dos 822,65 MW, o que ultrapassaria a potência instalada no país, ou seja, o país tem potencial para ser 100% renovável [20].

## **3 Dimensionamento do sistema**

### **3.1 Descrição da situação atual**

A dessalinização é atualmente responsável por um grande consumo energético, sendo Cabo Verde um país onde praticamente toda energia elétrica é produzida à base de combustíveis fósseis importados, a dessalinização implica uma grande despesa anual. Assim sendo, propõe-se uma mudança na fonte energética para a dessalinização de água, o uso de energia solar.

## 3.2 Metodologia do estudo

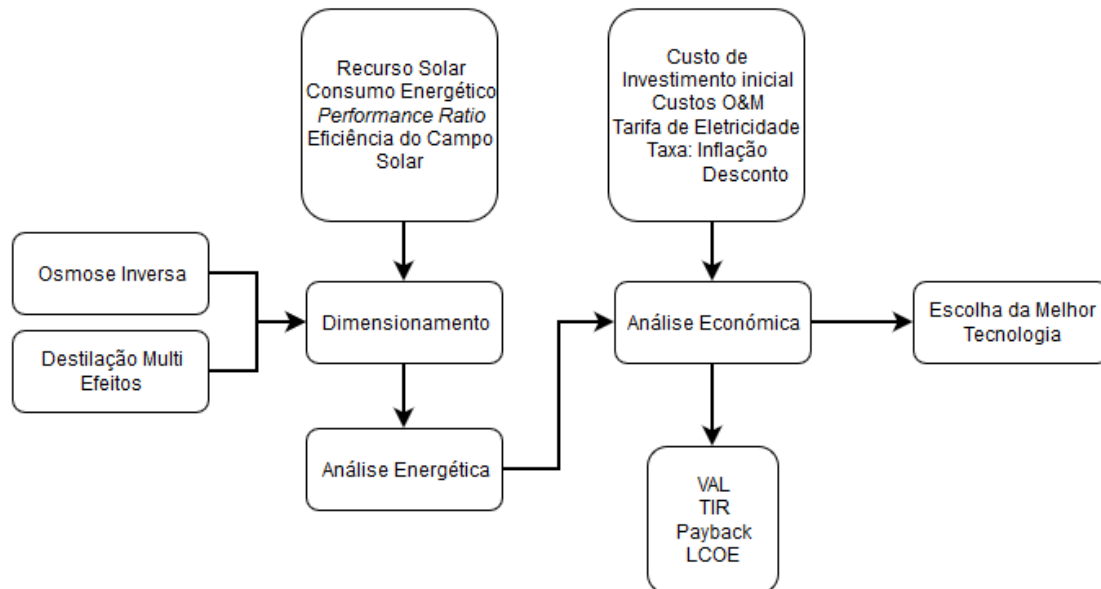


Figura 23 - Esquema da metodologia de estudo

Numa primeira instância serão dimensionados dois sistemas para o suprimento da energia necessária para o processo de dessalinização (osmose inversa a partir a energia solar fotovoltaica e a destilação múltiplo efeito combinada com a energia solar térmica) a partir desta será realizado uma análise energética para a confirmação da disponibilidade energética. De seguida pretende-se fazer uma comparação energética entre as duas tecnologias e posteriormente realizar-se-á uma análise económica com o objetivo de verificar a viabilidade dos dois projetos e a escolha do melhor entre ambas as tecnologias mediante as condições do local do estudo.

### 3.3 Descrição da central da Cidade da Praia

A central dessalinizadora em estudo fica localizada na ilha de Santiago, cidade da Praia, mais concretamente, no Palmarejo Grande a  $14,90^\circ$  Norte e  $23,55^\circ$  Oeste e é a maior central dirigida pela Electra. A central se encontra dividida em 3 unidades usando a tecnologia da osmose inversa, com capacidade para a produção diária de  $5000 \text{ m}^3$  cada.



*Figura 24 - Localização da central da Praia*

Esboçou-se um gráfico com a evolução da capacidade diária instalada e o volume da água dessalinizada pela central em estudo, num período de 6 anos (2013-2018).

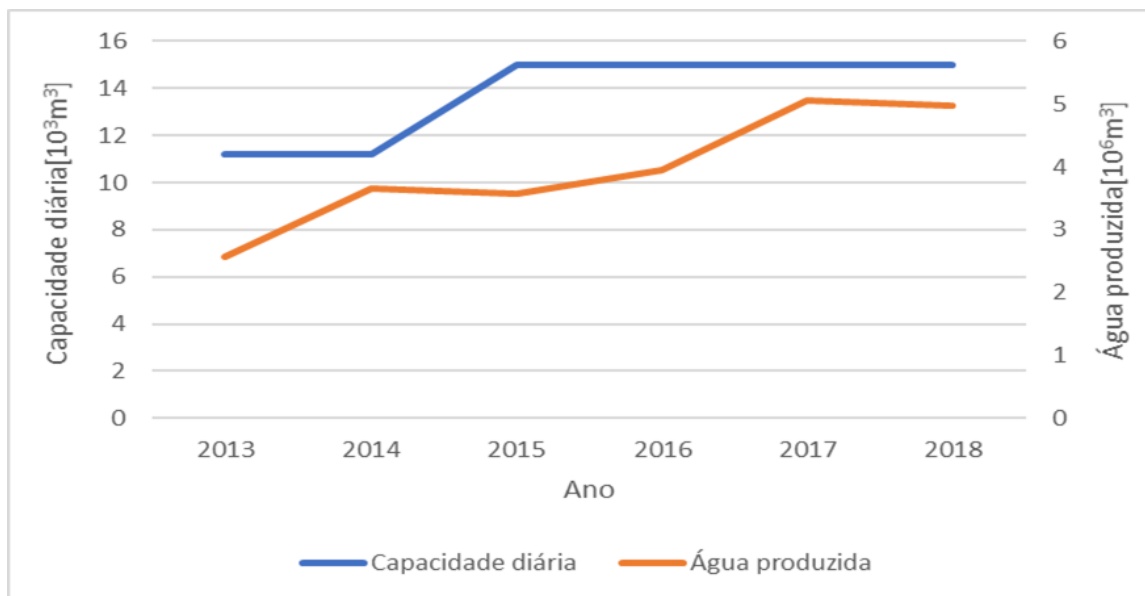


Gráfico 7 -Evolução da capacidade diária vs produção de água anual [21-26].

De notar que ao longo desse período houve um aumento na capacidade instalada e consequentemente no volume de água produzido anualmente.

A água produzida pela Electra só é distribuída para o consumo depois de confirmadas as condições estabelecidas nos protocolos da Organização Mundial da Saúde.

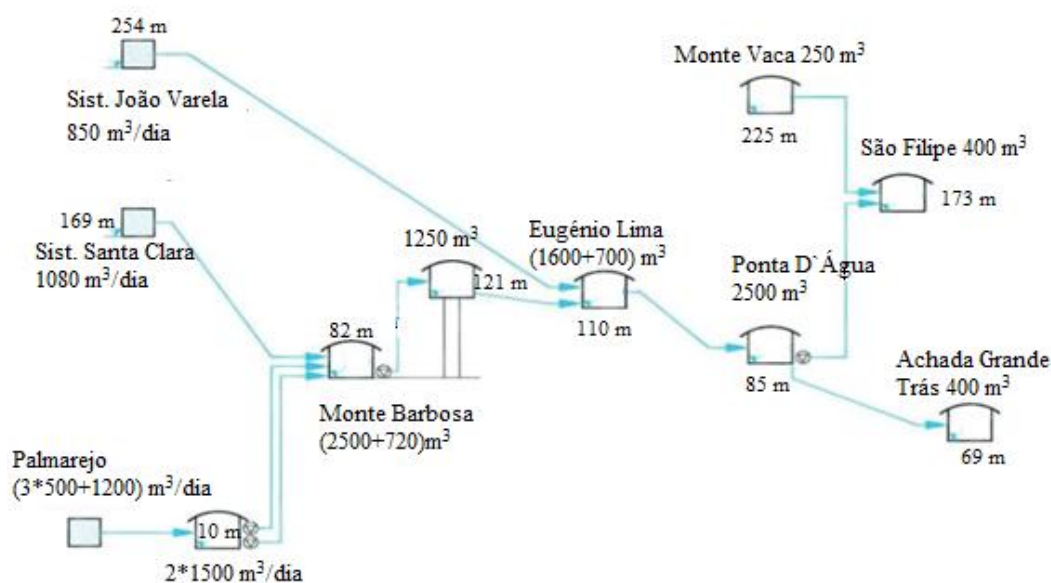


Figura 25 - Circuito de distribuição de água da cidade da Praia [27]

O circuito da distribuição de água a partir da central dessalinizadora da Praia dispõe de dois reservatórios de capacidade volumétrica de 1500 m<sup>3</sup> cada, através do qual a distribuição é feita em rede ramificada, ao longo das condutas principais nas principais artérias da cidade como mostra a Figura 25.

### 3.2.1 Consumo energético

Da análise do gráfico anterior é possível prever um aumento no consumo anual de energia no referente período, uma vez que o volume de água produzido é proporcional aos consumos energéticos. Neste quadro delineou-se um gráfico com os consumos energéticos para a produção anual de água e os consumos específicos anuais.

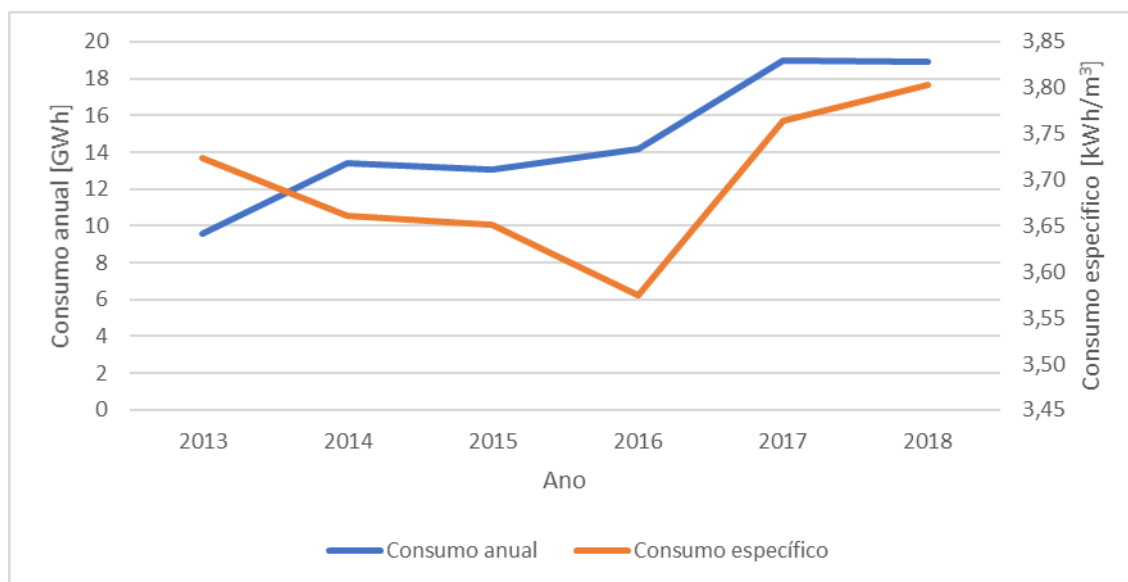


Gráfico 8- Consumo energético anual da central [18- 23]

Confirma-se com o gráfico 7 que os consumos energéticos foram aumentando ao longo dos anos e no que tange ao consumo específico para cada m<sup>3</sup> de água produzida pode-se notar que esse valor sofreu um ligeiro aumento ao longo desses anos, possivelmente devido a degradação e perda de eficiência da central.

A Electra dispõe de uma tarifa especial de eletricidade para a produção interna de água. Achou-se pertinente apresentar a tarifa de eletricidade paga pela empresa, e o custo anual deste recurso tendo em conta o consumo elétrico indicado anteriormente.

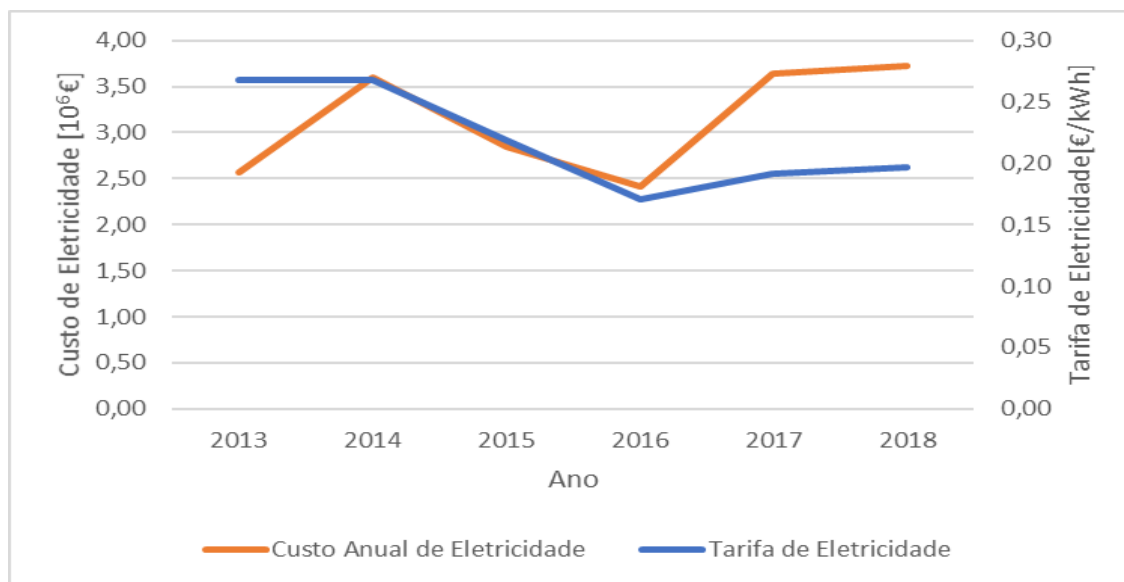


Gráfico 9 - Custo anual da eletricidade [18- 23]

Da análise do gráfico é possível constatar uma grande instabilidade na tarifa de eletricidade e isto deve-se ao fato da grande variabilidade nos preços de combustíveis fósseis importados, dado que o preço destes tem um elevado peso na tarifa de eletricidade.

Chega-se à conclusão que a Electra gastou nos últimos 6 anos aproximadamente 18,78 milhões de euros na aquisição de eletricidade para a produção de água potável para suprir as necessidades da população da Praia.

Tendo em conta que no processo de dessalinização foi usado somente eletricidade proveniente de combustíveis fósseis, nomeadamente, o gasóleo, fuel óleo 180 e 380. É mostrada na tabela abaixo a quantidade desses combustíveis queimados na central termoelétrica da Electra para a geração da eletricidade destinados a dessalinização de água nos últimos 6 anos.

*Tabela 8 -Consumos em combustível para a produção de energia para a dessalinização [18-23]*

| <b>Ano</b>  | <b>Gasóleo [L]</b> | <b>Fuelóleo 180 [L]</b> | <b>Fuelóleo 380 [L]</b> |
|-------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|
| <b>2013</b> | 85461,7            | 2096733,8               | -                       |
| <b>2014</b> | 97924,1            | 2963153,9               | -                       |
| <b>2015</b> | 40640,3            | 2858242,4               | -                       |
| <b>2016</b> | 28866,2            | 3104149,0               | -                       |
| <b>2017</b> | 12004,9            | 4223480,9               | -                       |
| <b>2018</b> | 332,6              | 285351,1                | 133185,0                |

De notar pela tabela 8, no ano 2018 a central termoelétrica da Praia começou a laborar com o fuelóleo 380 e reduzindo consideravelmente o uso do gasóleo por questões económicas. Por outro lado, o fuelóleo é mais poluente que o gasóleo o que traz consequências negativas tanto para o ambiente como para a população.

### **3.4 Osmose inversa combinada com energia fotovoltaica**

Tendo em conta que já existe todo um sistema preparado para a dessalinização por osmose inversa, sendo esta uma das tecnologias mais exploradas e com melhor eficiência energética, é tecnologicamente viável mudar o paradigma quanto a fonte de energia, ou seja, a implementação de módulos fotovoltaicos para o fornecimento de energia elétrica em detrimento dos combustíveis convencionais.

Será recomendável o uso da energia solar fotovoltaica por esta ter sofrido uma redução significativa nos custos e ser ainda possível aproveitar os excedentes de produção para alimentação da rede elétrica. Esta medida iria contribuir de forma bastante positiva para a economia do país uma vez que se deixaria de estar à mercê dos instáveis mercados petrolíferos e principalmente porque se reduziria significativamente o valor das importações bem como as emissões de gases com efeito de estufa.

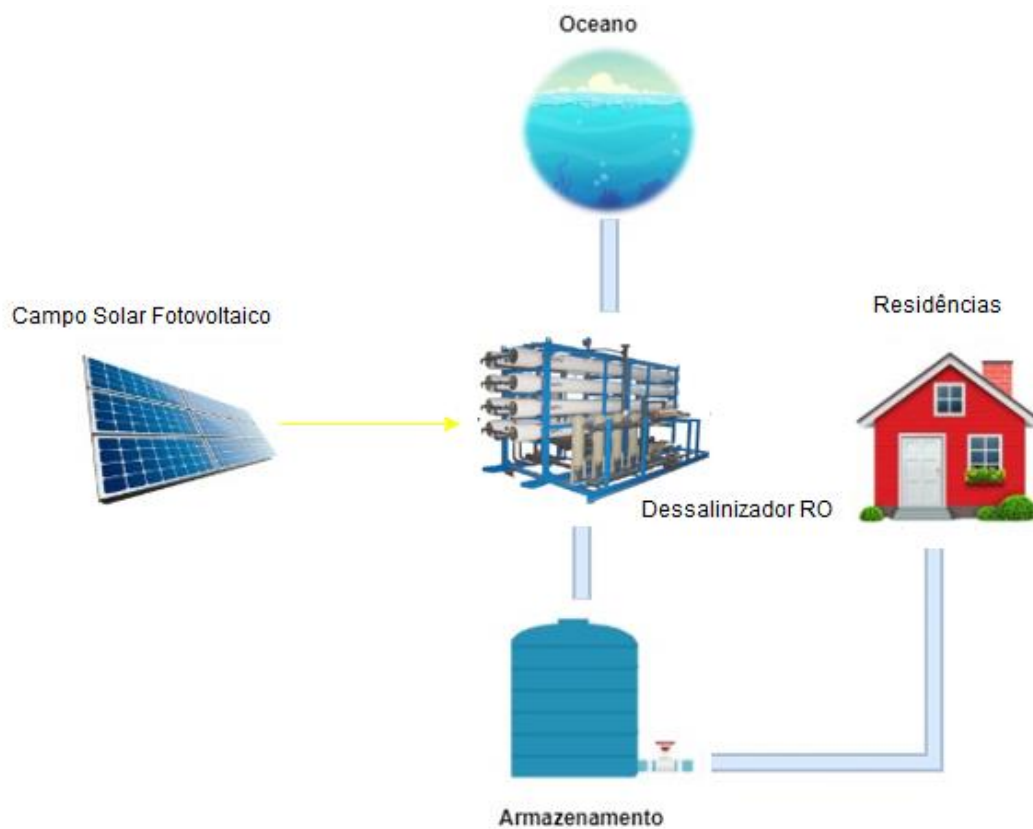


Figura 26 - Esquema proposta para dessalinização por osmose inversa

### 3.4.1 Dimensionamento do parque fotovoltaico

O dimensionamento é um dos pontos mais importantes deste trabalho, tem como o principal objetivo estabelecer a potência necessária a instalar de modo a garantir energia elétrica suficiente para a dessalinização por osmose inversa.

Foi feito de modo a atender a demanda energética para todos os dias do ano, ou seja, com base na radiação referente ao pior mês do ano (agosto) no plano inclinado.

O sistema dimensionado será ligado à rede de modo a evitar o armazenamento elétrico, desta forma pode-se conectar à rede sempre que necessário. Posteriormente será feito a simulação no software, PVGIS, como uma forma de comprovar o dimensionamento.



## PVGIS

A plataforma online Photovoltaic Geographical Information System, PVGIS, permite analisar a disponibilidade solar, estimar a produção de energia solar de um sistema fotovoltaico conectados à rede ou em ilha e obter dados típicos do ano meteorológico para nove variáveis climáticas na América, África, Ásia e Europa.

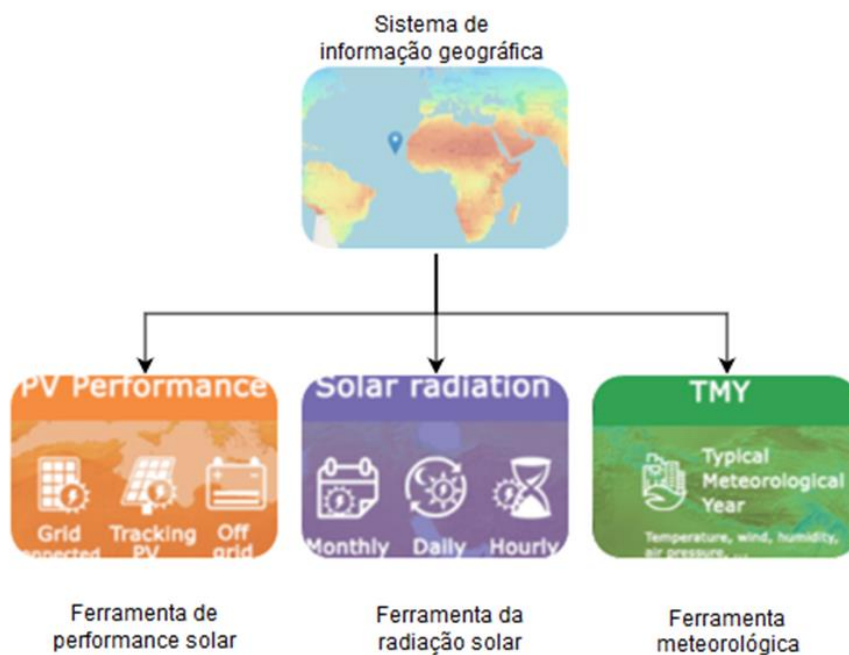


Figura 27 - Funcionalidade do PVGIS

Para o dimensionamento do parque fotovoltaico foram considerados alguns pressupostos tal como ilustrado na seguinte figura:

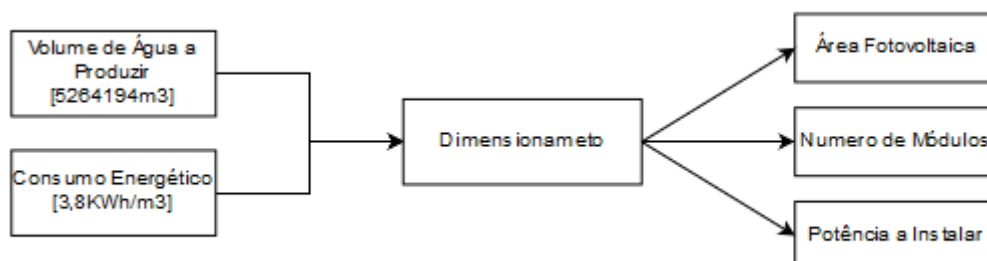


Figura 28 - Esquema para a realização do dimensionamento

### Pressupostos para o dimensionamento

O volume de água que se pretende produzir anualmente é de 5264194 m<sup>3</sup>, que é através da média da quantidade da água produzida dos dois últimos anos e acrescentado uma margem de 5%. Assumindo que o consumo de água é constante ao longo do ano, portanto, estima-se a necessidade de garantir 13735 m<sup>3</sup> de água por dia para suprir as necessidades dos clientes da Electra.

O consumo energético considerado foi de 3,8 kWh/m<sup>3</sup> por ser o pior consumo energético da central de dessalinização nos últimos 6 anos.

Considerou-se ainda um recurso solar médio de 165,23 kWh/m<sup>2</sup> para o mês de agosto (obtido através do software PVGIS para o local onde se vai instalar a central),

A eficiência do campo fotovoltaicos de 18,34%, chegou-se a esse valor com base na seguinte equação:

$$\eta_{CS} = \eta_{mod} * \eta_C * \eta_I \quad (1)$$

Em que:

$\eta_{mod}$  é a Eficiência dos módulos fotovoltaicos (19,0%);

$\eta_C$  é a Eficiência dos cabos (98,0%);

$\eta_I$ - Eficiência dos inversores (98,5%).

Foi considerado uma *performance ratio* de 75%. Esta é usada para avaliar o desempenho de um sistema fotovoltaico, por meio da comparação da produção real de energia e a teórica de uma central fotovoltaica. Inclui perdas por fatores ambientais como o caso da sujidade, o sombreamento, a temperatura dos módulos, a irradiação solar e outros fatores como o envelhecimento dos módulos, eficiência dos módulos e dos inversores. Em geral, sistemas fotovoltaicos eficientes atingem uma *performance ratio* de cerca de 80% [21].

A energia anual necessária para produzir o volume de água estabelecido acima é de cerca de 20GWh, calculada a partir da seguinte equação:

$$E_{nec} = C_{esp} * V_{AP} \quad (2)$$

Onde,

$C_{esp}$  representa o consumo específico [kWh/m<sup>3</sup>];

$V_{AP}$  o volume de água produzir [m<sup>3</sup>].

Tendo em conta que a produção de água é praticamente constante para todos os meses do ano, estimou-se a energia mensal necessária de 1,67 GWh para a dessalinização de água.

Outros requisitos importantes para que se possa realizar o dimensionamento são as características dos componentes que vão constituir o campo solar, tais como:

### Módulos fotovoltaicos

Os módulos fotovoltaicos escolhidos são de silício monocristalino, com uma potência de 310W da ERA SOLAR, pelo que serão apresentadas as especificações do mesmo na tabela abaixo representada:

Tabela 9 - Especificações dos módulos fotovoltaicos escolhido [22].

| <b>Especificações dos módulos</b> |        |
|-----------------------------------|--------|
| Potência [W]                      | 310    |
| Eficiência [%]                    | 19     |
| Voltagem de máxima potência [V]   | 33,5   |
| Corrente de curto circuito [A]    | 9,95   |
| Corrente de máxima potência [A]   | 9,25   |
| Voltagem de circuito aberto [V]   | 39,2   |
| Área [m <sup>2</sup> ]            | 1,6335 |

## Inversores

Os inversores seleccionados foram da SMA SOLAR com uma potência de 112,5 KW. As características do mesmo serão apresentadas na tabela abaixo:

Tabela 10 - Especificações do inversor escolhido

| Especificações do Inversor            |       |
|---------------------------------------|-------|
| Potência [kW]                         | 112,5 |
| Voltagem máxima DC [V]                | 1000  |
| Corrente máxima de curto circuito [A] | 210   |
| Corrente máxima [A]                   | 140   |

Para calcular a área de módulos fotovoltaica necessária para que o parque solar seja capaz de fornecer a energia anteriormente estipulada de 20 GWh recorreu-se a seguinte equação:

$$\begin{aligned}
 A_{PV} &= \frac{E_{E\_mensal}}{R_{SA} * \eta_{CS} * PR} & (3) \\
 &= 73345 \text{ m}^2
 \end{aligned}$$

Em que,

$A_{PV}$  é a área fotovoltaica necessária para a central [ $\text{m}^2$ ],

$E_{E\_mensal}$  é a energia elétrica mensal necessária para a dessalinização [Wh];

$R_{SA}$  é o recurso solar médio para o mês de agosto [ $\text{Wh}/\text{m}^2/\text{mês}$ ];

$\eta_{CS}$  é a eficiência do campo solar [%];

$PR$  é a *performance ratio* [%].

Com isso chega-se a conclusão que precisa-se de 73,3 hectares de área para que se possa instalar o parque fotovoltaico. Viu-se através de imagens satélite que há uma enorme área disponível na zona circundante à central dessalinizadora suficiente para albergar o parque dimensionado, como mostra a figura 29.



Figura 29 - Disponibilidade na área circundante a central

Foi usada a seguinte equação para calcular o número de módulos fotovoltaicos a constituir a central, tendo em conta a área necessária para a mesma:

$$N_{mod} = \frac{A_{PV}}{A_{mod}} \quad (4)$$

$$N_{mod} = 44900$$

Onde,

$N_{mod}$  é o número de módulos fotovoltaicos a constituir a central;

$A_{mod}$  é a área dos módulos fotovoltaicos [ $m^2$ ].

Conclui-se então que serão necessários 44900 módulos para constituir o parque fotovoltaico.

Para determinar a potência fotovoltaica a instalar usou-se a seguinte equação:

$$P_{PV} = N_{mod} * P_{mod} \quad (5)$$

$$P_{PV} = 13919 \text{ kWp}$$

Em que,

$P_{PV}$  é a potência fotovoltaica a instalar [Wp];

$P_{mod}$  é a potência dos módulos fotovoltaicos[W].

A tabela 11 mostra de forma resumida o resultado do sistema dimensionado.

*Tabela 11 - Resultado do dimensionamento do campo fotovoltaico para o sistema da osmose inversa*

| Área Necessária [m <sup>2</sup> ] | Número de Módulos | Potência [kW] |
|-----------------------------------|-------------------|---------------|
| 73345                             | 44900             | 13919         |

### 3.4.1.1 Configuração do sistema fotovoltaico:

Para se determinar a futura configuração do sistema fotovoltaico foram feitos os seguintes cálculos:

- Número máximo de módulos por inversor:

$$N_{max\_mod\_Inv} = \frac{P_{Inv}}{P_{mod}} = 362 \quad (6)$$

Onde,

$N_{max\_mod\_Inv}$  é o número máximo de módulos por inversor;

$P_{Inv}$  é a Potência do inversor [W].

- Número máximo de módulos em série por fileira:

$$N_{max\_mod\_S} = \frac{V_{max\_Inv}}{V_{OC\_mod}} = 25 \quad (7)$$

Em que,

$N_{max\_mod\_S}$  é o número máximo de módulos em série;

$V_{oc\_mod}$  a voltagem de circuito aberto dos módulos [V];

$V_{\max\_inv}$  a Voltagem de máxima de entrada no inversor [V].

- Número máximo de fileiras em paralelo:

$$N_{\max\_Fil\_P} = \frac{I_{\max\_Inv}}{I_{CC\_mod}} = 21 \quad (8)$$

Sendo,

$N_{\max\_Fil\_P}$  o número máximo de fileiras em paralelo;

$I_{\max\_Inv}$  a corrente máxima de entrada no inversor [A];

$I_{CC\_mod}$  a corrente de curto circuito dos módulos [A].

Tendo em conta um número máximo de módulos por inversor de 362 módulos, fileiras de 25 módulos em série e sabendo que potência do inversor é de 112,5 kW, conclui-se que se pode ter no máximo 14 fileira de módulos em paralelo para esse sistema, através do seguinte cálculo:

$$N_{\max\_Fil\_P} = \frac{N_{\max\_mod\_Inv}}{N_{\max\_mod\_S}} = 14 \quad (9)$$

Onde,

$N_{\max\_mod\_Inv}$  o número máximo de módulos por inversor.

Posteriormente calculou-se o número de módulos fotovoltaicos ideal a constituírem um *array* (módulos conectados a um único inversor), multiplicando o número máximo de módulos por fileira (módulos conectados em série) e o número máximo de fileiras em paralelo e obteve-se um valor de 350 módulos. Com isso procedeu se ao cálculo do número de inversores necessário para o sistema através da seguinte equação:

$$N_{Inv} = \frac{N_{mod}}{N_{mod\_Inv}} \quad (10)$$

$$N_{inv} = 129$$

Em que,

$N_{Inv}$  é o número de inversores;

$N_{mod\_Fil}$  é o número de módulos por fileira.

De uma forma resumida determinou-se a seguinte configuração do sistema a ser implementado:

*Tabela 12 - Possível configuração do campo fotovoltaico*

|                                    |     |
|------------------------------------|-----|
| Número de módulos por <i>array</i> | 350 |
| Número módulos por fileira         | 25  |
| Número de fileira em paralelo      | 14  |
| Número de <i>array</i> /inversor   | 129 |

Para se maximizar a eficiência do inversor assim como otimizar o investimento económico resolveu-se sobrecarregar o inversor em 10% sobre a potência do *array* uma vez que raramente se reúnem as condições necessárias para o *array* atingir a sua máxima potência. Obteve-se os seguintes resultados:

*Tabela 13 -Configuração do campo fotovoltaico*

| <b>Módulos por<br/>Fileira</b> | <b>Fileiras em<br/>Paralelo</b> | <b>Módulos por<br/>array</b> | <b>Número de array</b> |
|--------------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------|
| 25                             | 16                              | 400                          | 113                    |

### 3.4.1.2 Análise energética

Decidiu-se fazer um balanço energético de forma a entender se o dimensionamento feito supriria as necessidades energéticas assim como perceber os possíveis excedentes.



### 3.4.1.2.1 Produção energética da central

Uma vez definida potência do campo solar, realizou-se uma simulação usando o software, PVGIS, para se determinar a energia elétrica mensal a ser produzida pela central, sendo os módulos orientados a Sul e inclinados à latitude do local (15°).

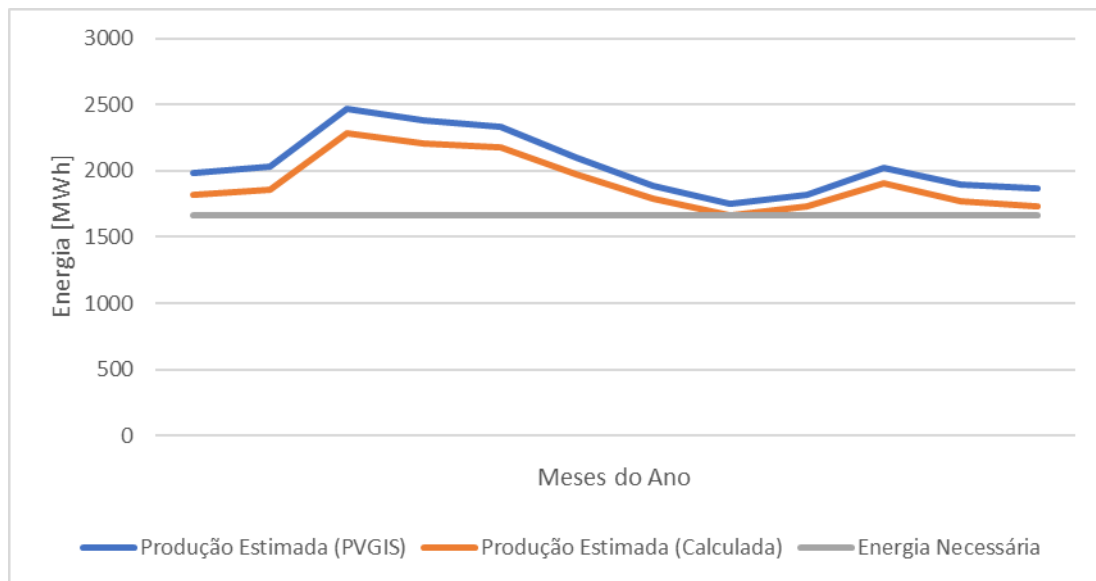


Gráfico 10 - Produção de energia prevista para a central

Neste gráfico está representada a produção mensal da energia prevista para a central fotovoltaica a ser instalada com base no software PVGIS, a calculada através da equação que se apresenta a seguir, e a energia necessária para a dessalinização através do processo da osmose inversa.

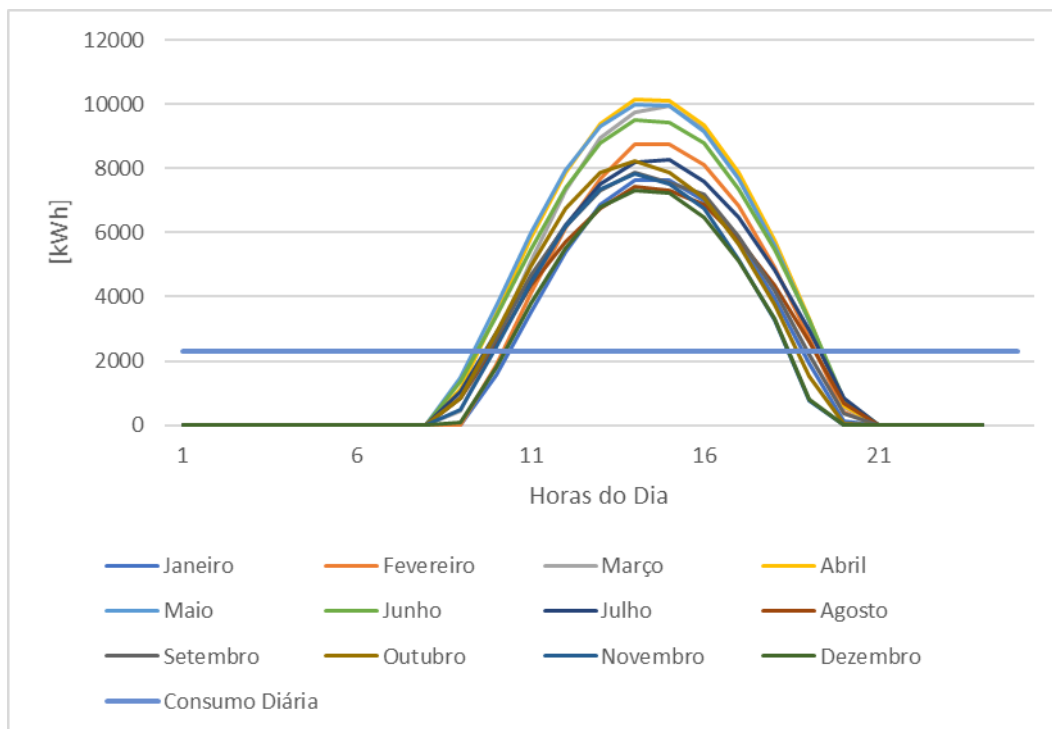
$$E = R_{Sm} * A * \eta_{CS} * PR \quad (11)$$

Em que:

$R_{Sm}$  representa o recurso solar mensal [kWh/m<sup>2</sup>]

Pode-se observar pelo mesmo gráfico que a produção é suficiente para o fornecimento de energia para a dessalinização e percebe-se ainda que há um excedente energético significativo que pode ser entregue à rede elétrica.

Foi usada a equação 11 para se prever a energia produzida ao longo do dia pelo parque fotovoltaico usando o recurso solar médio horário de cada mês do ano, o resultado é ilustrado no gráfico 11:



*Gráfico 11 - Perfil do consumo diário e a produção diária da central*

Pelo gráfico nota-se que nos períodos em que há a disponibilidade solar a produção da energia elétrica é muito superior ao consumo da central, desta forma pode-se injetar na rede grande parte de energia que não é consumida durante o dia pela central, fornecendo assim energia à rede que é justamente o período em que há uma grande demanda de energia, ajudando assim a estabilizar a rede pública de eletricidade. O sistema poderá ir buscar energia à rede pública durante a noite para o funcionamento da central dessalinizadora, escoando a produção elétrica dos sistemas de energia eólica que têm excedentes durante este período. Desta forma tem-se uma relação de benefício mútuo entre a central e a rede pública de eletricidade.

### Redução da emissão de CO<sub>2</sub>

É sabido que a produção de eletricidade tem impactos no ambiente de acordo com a fonte de energia primária utilizada, para a dessalinização de água na cidade da Praia esta é produzido a partir da queima do fuelóleo. Para calcular a pegada ecológica desse processo foi usada a seguinte equação:

$$E_{CO_2} = C * F_E \quad (12)$$
$$E_{CO_2} = 5600,35 \text{ tonCO}_2$$

Em que,

C é o consumo energético para dessalinização (20 GWh);

F<sub>E</sub> é o fator de emissão do CO<sub>2</sub> pela queima do fuelóleo (284,02 ton/GWh) [23].

Desta forma poderia evitar-se a emissão de cerca de 5600,35 tonCO<sub>2</sub> para a atmosfera e pela tabela 25 pode-se observar a quantidade de combustíveis fósseis utilizados na produção de energia para a dessalinização, gasto esse que poderia ser evitado com o uso das energias renováveis.

## 3.5 Destilação de múltiplo efeito

O segundo ponto deste estudo é propor como fonte energética para o processo de dessalinização a energia solar térmica. Para a escolha do processo de dessalinização baseada em processos térmicos teve como principal requisito a eficiência energética. Optou-se então por fazer um estudo sobre a implementação de um sistema de dessalinização baseada em destilação de múltiplo efeito (MED) com recurso a energia solar térmica.

O sistema será constituído por um evaporador MED, um campo de coletores planos para o fornecimento de calor e um outro campo de módulos fotovoltaico para o prover a energia elétrica para o funcionamento das bombas. A configuração do sistema estudado está apresentada na figura 31.

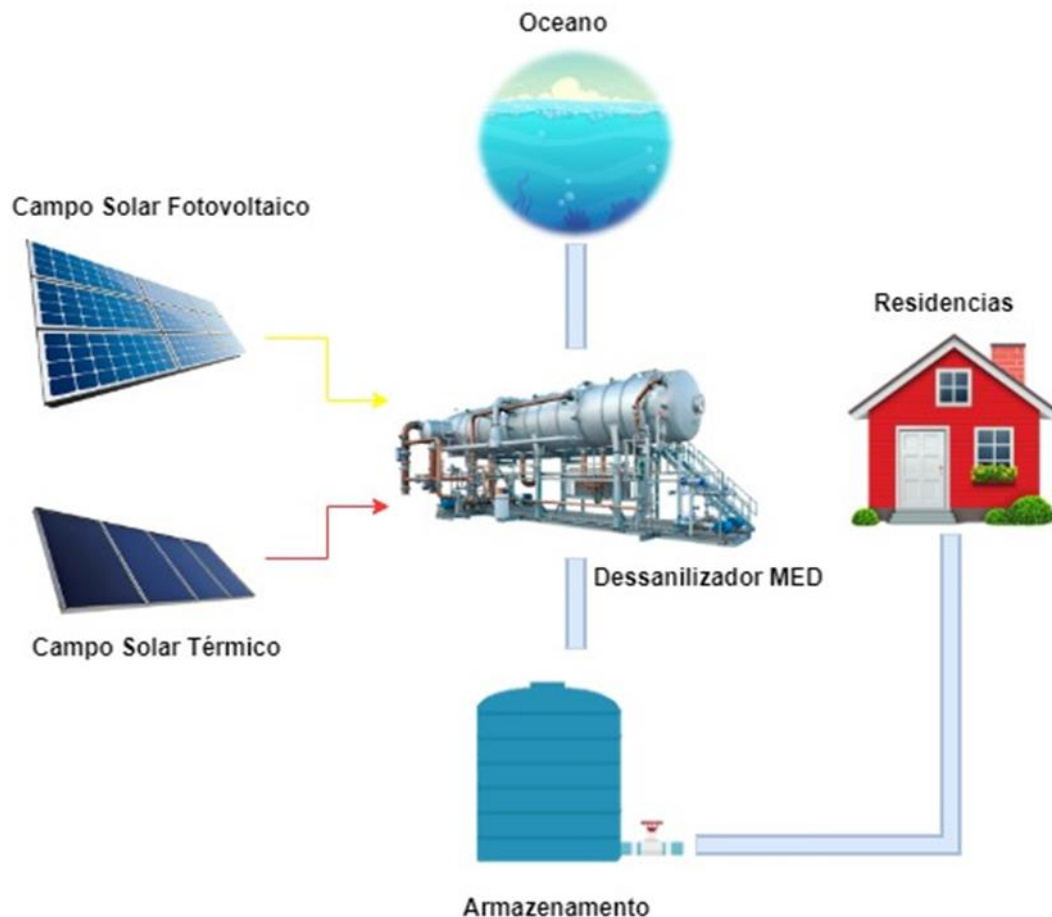


Figura 30 - Esquema proposta para dessalinização por destilação múltiplo efeito

### 3.5.1 Dimensionamento

O dimensionamento para esta tecnologia será feito em duas fases, o dimensionamento fotovoltaico para prover a energia elétrica que o sistema precisa e o dimensionamento térmico para fornecer o calor necessário para o funcionamento do evaporador MED.

Para o dimensionamento foi considerado um consumo energético de  $1\text{KWh/m}^3$  elétricos e  $5\text{KWh/m}^3$  térmicos, sendo o consumo térmico considerado extremamente otimista com o intuito de se perceber e comparar este cenário com a solução proposta em 3.3. Logo estima-se que a energia necessária para produzir o volume de água anteriormente estabelecido é de  $5,26\text{GWh}$  elétricos e  $26,32\text{GWh}$  térmicos.

### 3.5.1.1 Dimensionamento do campo fotovoltaico

De forma análoga ao que se calculou a dimensão do campo fotovoltaico para o processo da osmose inversa também foi feito para o sistema MED. E chegou se aos seguintes resultados:

Tabela 14 - Resultado do dimensionamento do campo fotovoltaico para o sistema MED

| Área[m <sup>2</sup> ] | Número de Módulos | Potência a Instalar [KW] |
|-----------------------|-------------------|--------------------------|
| 19302                 | 11817             | 3663                     |

Deste modo o campo solar vai ser composto por:

Tabela 15 - Configuração do campo fotovoltaico para o sistema MED

| Módulos por Fileira | Fileiras em Paralelo | Módulos por Array | Número de Array |
|---------------------|----------------------|-------------------|-----------------|
| 25                  | 16                   | 400               | 30              |

### 3.4.1.2 Análise energética

Depois de dimensionada o campo fotovoltaico fez se uma análise energética a fim de verificar se a produção energética do campo solar fotovoltaico supre a demanda necessária. Para isso fez-se uma simulação usando o software, PVGIS, e usou-se a equação 11 para se estimar a produção energética da central. O resultado é apresentado no gráfico abaixo:

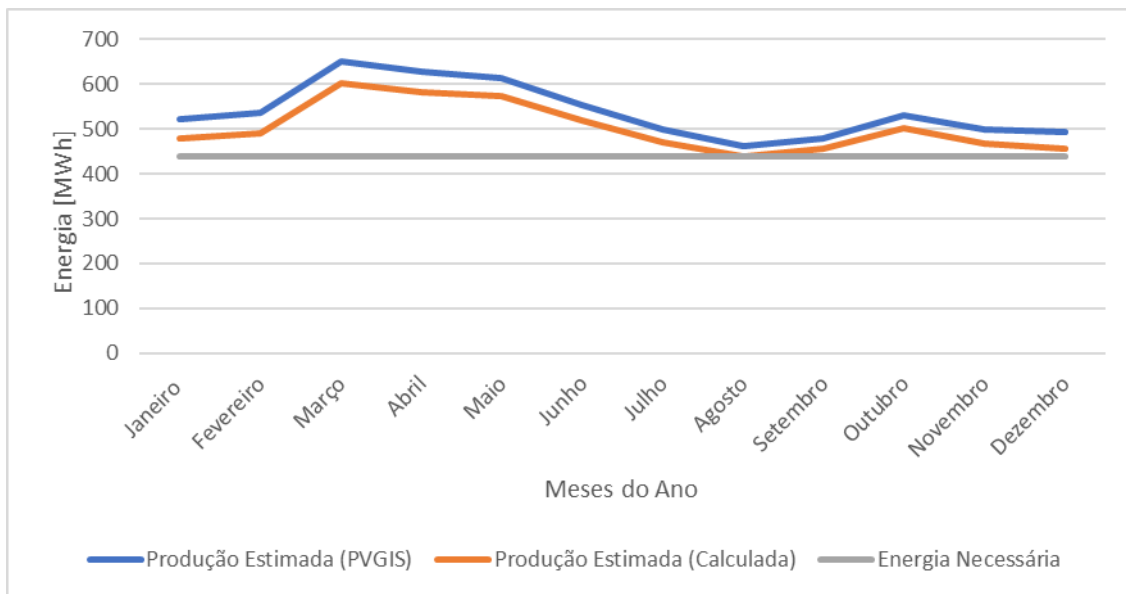


Gráfico 12 - Produção energética estimada do campo fotovoltaico para o sistema MED

E pode-se constatar pelo gráfico que há disponibilidade solar para o fornecimento de energia necessária para o processo. É de se notar ainda que há um excesso de energia, o que pode ser injetada na rede.

### 3.4.2 Dimensionamento do campo de coletores térmicos

Escolheu-se a temperatura de operação do primeiro efeito de 65°C e de seguida procedeu-se à escolha da tecnologia para suprir essas necessidades. Como referido acima foram escolhidos os painéis planos para o fornecimento da energia térmica uma vez que é uma tecnologia muito madura para o uso a baixa temperatura, conseguindo fornecer uma gama de temperatura de até 80°C.

#### Componentes da central

Foi escolhido o Coletor solar térmico plano da marca Vulcano, sendo o modelo WarmSun FCC-2S de alto rendimento, em alumínio/cobre com tratamento altamente seletivo (PVD), cuja principais especificações estão representadas na tabela abaixo:

Figura 31 - Especificações do coletor térmico escolhido

| Especificações  |        |
|---|--------|
| Área [m <sup>2</sup> ]                                    | 2,0908 |
| Eficiência Ótima  | 0,761  |
| Coeficiente de perdas térmicas k1 [W/(m <sup>2</sup> .K)] | 4,083  |
| Coeficiente de perdas térmicas k2 [W/(m <sup>2</sup> .K)] | 0,012  |
| Ligação Máxima de coletores em paralelo                   | 10     |

### 3.5.1.1.1 Eficiência térmica dos coletores

Calculou-se a eficiência térmica do coletor tendo em conta as temperaturas médias mensais do ar, da água do mar e de operação do sistema representadas na tabela abaixo procedeu se ao cálculo da eficiência térmica dos coletores escolhidos para a central para cada mês do ano de acordo com o seguinte modelo [24]:

$$Q = A * G^* * \left( \eta_0 - \frac{a_1 * (t_m - t_a)}{G^*} - \frac{a_2 * (t_m - t_a)^2}{G^*} \right) \quad (13)$$

Em que

$$t_m = \frac{t_e + t_s}{2} \quad (14)$$

Onde,

Q é a potência útil do coletor [W],

A é a área do coletor [m<sup>2</sup>];

G\* é a Irradiação solar em condição standard de teste [1000W/m<sup>2</sup>];

$\eta_0$  é a eficiência ótica do coletor [%],

$t_a$  a temperatura ambiente [°C ou K];

$t_m$  é a temperatura media do fluido no interior do coletor [°C ou K];

$t_e$  é a temperatura de entrada do fluido no coletor [°C ou K];

$t_s$  é a temperatura de saída do coletor [°C ou K];

$\alpha_1$  e  $\alpha_2$  são os coeficientes de perdas térmicas [W.m<sup>-2</sup>.K<sup>-1</sup>].

Tabela 16 - Temperaturas médias do ar e do mar de Cabo Verde [25]

| Meses do Ano     | Temperatura Média do Ar [°C] | Temperatura Média do Mar [°C] | Temperatura Média de Operação [°C] | Eficiência Térmica do Coletor |
|------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|
| <b>Janeiro</b>   | 22,5                         | 23                            | 44                                 | 0,644                         |
| <b>Fevereiro</b> | 22,2                         | 23                            | 44                                 | 0,643                         |
| <b>Março</b>     | 22,8                         | 23                            | 44                                 | 0,646                         |
| <b>Abril</b>     | 23,35                        | 23                            | 44                                 | 0,648                         |
| <b>Mai</b>       | 24,15                        | 24                            | 44,5                               | 0,648                         |
| <b>Junho</b>     | 25,85                        | 24                            | 44,5                               | 0,658                         |
| <b>Julho</b>     | 26,35                        | 25                            | 45                                 | 0,658                         |
| <b>Agosto</b>    | 26,95                        | 26                            | 45,5                               | 0,658                         |
| <b>Setembro</b>  | 26,65                        | 27                            | 46                                 | 0,654                         |
| <b>Outubro</b>   | 26,35                        | 27                            | 46                                 | 0,653                         |
| <b>Novembro</b>  | 24,75                        | 26                            | 45,5                               | 0,648                         |
| <b>Dezembro</b>  | 24,1                         | 25                            | 45                                 | 0,647                         |

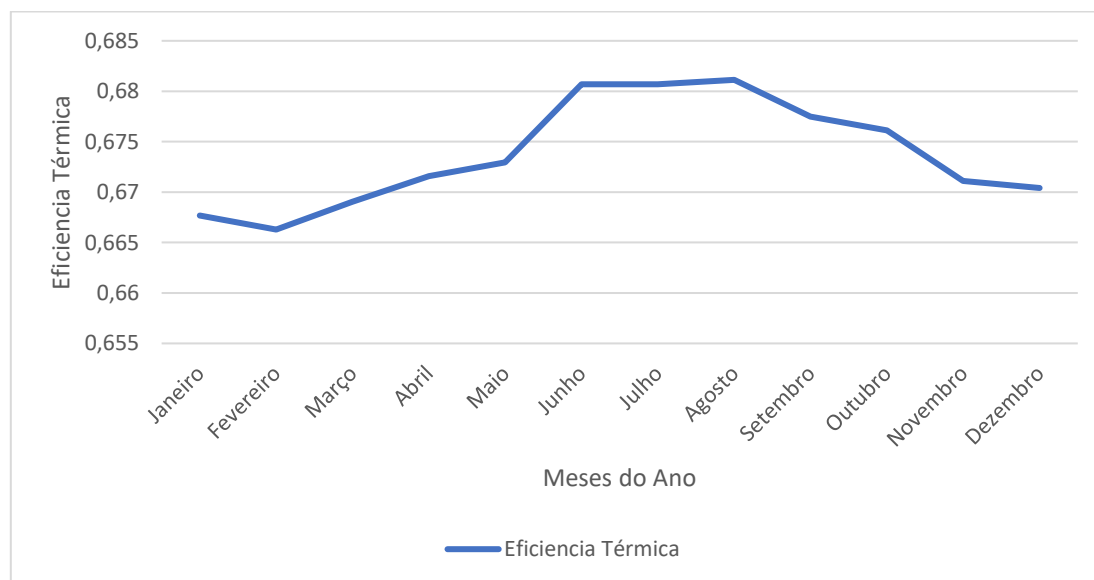


Gráfico 13 - Eficiência térmica do coletor



Determinou-se que a eficiência térmica do coletor escolhido é de cerca de 67%, apresentando ligeiras diferenças dependendo do mês do ano, como demonstrado na tabela e no gráfico acima.

Tendo em conta a eficiência do coletor usado e com o conhecimento do recurso solar no local onde se pretende instalar a planta MED, procedeu-se aos cálculos para a obtenção da área e o número de coletores a serem instalados para o suprimento da energia necessária para a dessalinização da água.

Usou-se a seguinte equação para se determinar a área necessária para formar o campo solar térmico:

$$A_T = \frac{E_{T\_mensal}}{R_{SA} * \eta * PR} \quad (15)$$

$$= 26418 \text{ m}^2$$

Onde:

$E_{T\_mensal}$  é a energia térmica mensal necessária para a dessalinização [Wh].

Uma vez estimada a área de 26418 m<sup>2</sup>, procedeu-se ao cálculo do número de coletores necessários para formar o campo solar térmico, usando a seguinte equação:

$$N_{col} = \frac{A_T}{A_{col}} \quad (16)$$

$$N_{col} = 12635$$

Em que,

$N_{col}$  é o número de coletores térmicos;

$A_T$  é a área térmica necessária para a central [m<sup>2</sup>];

$A_{col}$  é a área dos coletores térmicos [m<sup>2</sup>].

Deste modo conclui-se que é preciso um total de 12635 coletores térmicos para constituir o campo solar.

Para o cálculo da potência necessária a se instalar é preciso conhecer a potência térmica do coletor usado para as condições *standard* de teste, e para isso usou-se a seguinte equação:

$$P_{col} = \eta * G^* * A_{col} \quad (17)$$

$$=1400,1W$$

Em que:

$\eta$  é a eficiência dos coletores [%].

Logo para se determinar a potência a ser instalada basta fazer o seguinte cálculo:

$$P_T = P_{col} * N_{col} \quad (18)$$

$$=20104 kW$$

Onde,

$P_T$  é a potência térmica a instalar [W];

De uma forma resumida chegou-se aos seguintes resultados:

Tabela 17 - Resultado do dimensionamento do campo solar térmico para o sistema MED

| Área Necessária [m <sup>2</sup> ] | Número de Coletores | Potência [KW] |
|-----------------------------------|---------------------|---------------|
| 26418                             | 12635               | 17700         |

### 3.5.1.1.2 Armazenamento

É suposto a central funcionar 24h por dia enquanto que as horas de sol são apenas algumas por dia, por este motivo torna-se essencial o armazenamento. Estima-se que seja necessário cerca de 72,1 MWh térmicos diários, tendo em conta que entre as 9h e 18h a radiação solar é suficiente para alimentar o sistema MED estima-se que seja necessário o

armazenamento para cerca de 15h. Isto representa 62,5% do dia, assim como a mesma percentagem de energia necessária armazenar, ou seja cerca de 45 MWh.

### 3.4.3 Análise energética

O mesmo balanço energético foi realizado para a confirmação da disponibilidade da energia solar térmica.

#### Produção de energia

Usou se a equação representada abaixo para a determinar a energia mensal e anual pela central anteriormente dimensionada.

$$E_{Anual} = R_S * N_{col} * A_{col} * \eta * PR \quad (19)$$

$$=30,17 \text{ GWh}$$

Em que,

$E_{Anual}$  é a energia térmica produzida pela central [Wh];

O resultado é apresentado pelo seguinte gráfico:

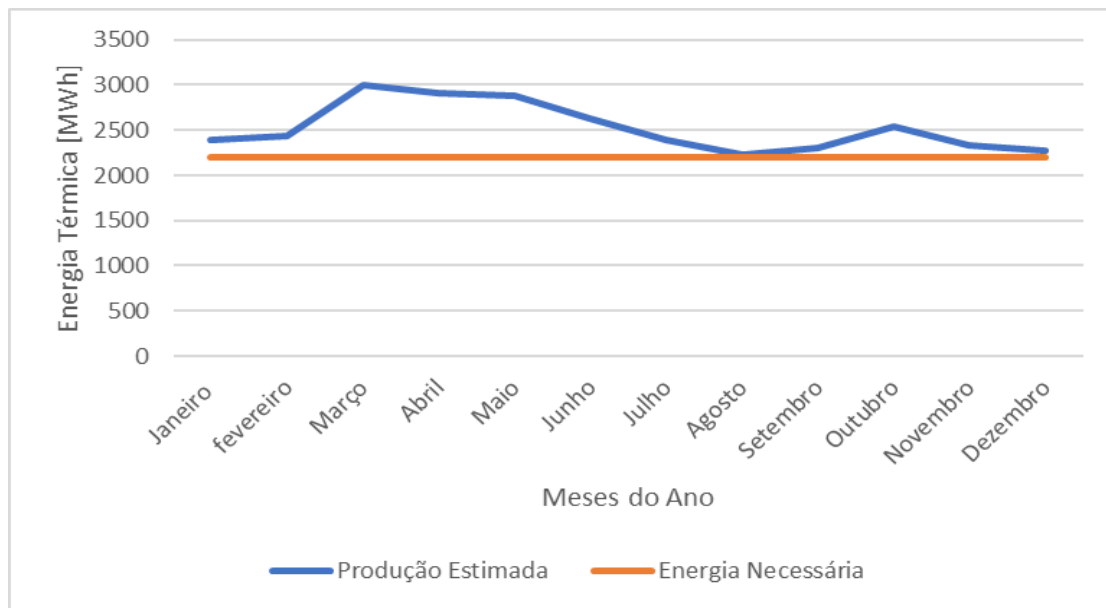


Gráfico 14 - Produção energética estimada do campo solar térmico para o sistema MED.

Conclui-se que há disponibilidade solar em fornecer calor necessário para o processo de dessalinização a partir da destilação múltiplo efeito.

### 3.5 Balanço energético entre as duas tecnologias

O consumo energético de uma central de dessalinização varia consoante a tecnologia, a escala, a água de alimentação, a fonte de energia utilizada para o processo e entre outros aspetos.

Neste caso pretende-se fazer uma comparação energética entre dois projetos acima referenciados, a tecnologia da osmose inversa e a destilação múltiplo efeito. Essa comparação baseará essencialmente no consumo energético de cada tecnologia, como exibida pela figura abaixo representada:

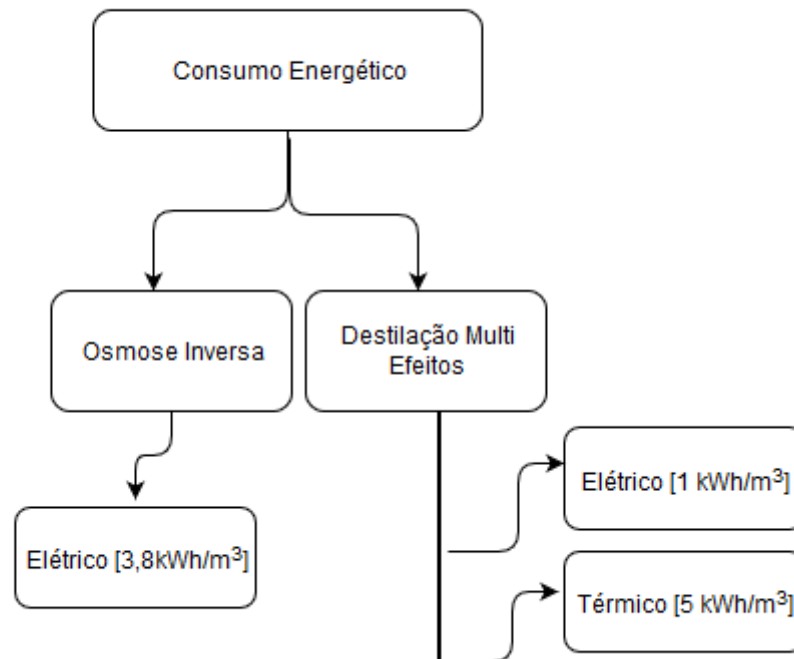


Figura 32 - Balaço energético entre as duas tecnologias

Deste modo observa-se que a o sistema de destilação de múltiplo efeito apresenta um menor consumo elétrico em relação a osmose inversa, mas por outro lado apresenta um consumo térmico que não é verificada na tecnologia da osmose inversa.

## 4 Análise Económica

Os sistemas solares apresentam um investimento inicial muito alto, por esse motivo é essencial realizar um estudo para se determinar a viabilidade económica do projeto, para uma eventual tomada de decisão quanto a possibilidade de investir ou não.

### 4.1 Indicadores da viabilidade económica usados

Para analisar a viabilidade económica do sistema em questão, levou-se em consideração alguns parâmetros de avaliação económica como, o Período de recuperação do

investimento (Payback), o Valor atual líquido (VAL), a Taxa interna de retorno (TIR) e o Custo nivelado de energia elétrica (LCOE) [26].

### **Payback**

É o período de tempo em que se tem o retorno do investimento inicial, ou seja, quando o investimento inicial iguala os lucros acumulados.

### **Valor atual líquido**

O VAL é basicamente a soma dos cash flows da exploração do investimento atualizados, segundo uma taxa de juro (taxa de atualização) durante o período de vida do projeto, menos o investimento inicial atualizado.

$$VAL = \sum_{i=0}^N \frac{CF_i}{(1+t)^i} - I \quad (20)$$

Onde,

$CF_i$  é o fluxo de caixa no ano  $i$  [€];

$N$  é o período de vida do projeto;

$t$  é a taxa de atualização [%];

$I$  é investimento inicial [€].

### **Taxa Interna de Retorno**

A Taxa Interna de Retorno (TIR) representa a taxa máxima de rentabilidade do projeto.

TIR é uma taxa de retorno usada em um orçamento de despesas de capital para medir e comparar a rentabilidade do investimento. Isso equivale a indicar que TIR é a taxa de retorno para qual o VAL é nulo.

$$VAL = 0 = \sum_{i=0}^N \frac{CF_i}{(1+t)^i} - I \quad (21)$$

Para o projeto ser economicamente viável ele tem de apresentar uma TIR superior a aquela inicialmente estabelecida pelo dono do capital a ser investido.

### **Custo nivelado de energia elétrica (LCOE)**

É um outro fator económico que pode auxiliar na tomada de decisão para a realização de um projeto uma vez que permite a comparação entre tecnologia de produção de energia elétrica permitindo assim a escolha da melhor tecnologia, ou seja, a tecnologia que apresenta um custo menor por KWh.

$$LCOE = \frac{\frac{TLCC}{(1+t)^i}}{\sum_{i=0}^N \frac{Q_i}{(1+t)^i}} \quad (22)$$

Em que,

TLCC é o custo total do projeto (CAPEX + OPEX) [€];

N é o período de vida do projeto;

$Q_i$  é a energia elétrica produzida no ano  $i$  [Wh].

## **4.2 Casos em Estudo**

Fez-se a análise económica para os dois casos em estudo, a dessalinização através de osmose inversa e a dessalinização através de MED a fim de se aferir qual delas teria maior viabilidade económica. Para isto só foram consideradas custo da implementação do sistema solar para os dois casos. Não foram considerados os custos da implementação dos sistemas de dessalinização e nem as manutenções destas.

## 4.2.1 Sistema fotovoltaico para a Osmose Inversa

### 4.2.1.1 Custos

Para o sistema fotovoltaico foram considerados os seguintes custos:

*Tabela 18 - Valores de CAPEX para sistema da osmose inversa*

| Componentes           | Quantidade | Preço unitário [€] | Total [€]      |
|-----------------------|------------|--------------------|----------------|
| Módulos fotovoltaicos | 44900      | 148,60             | 6672140        |
| Inversores            | 113        | 3999,00            | 451887         |
| Cabos [m]             | 4000       | 2,00               | 8000           |
| Estrutura             | 44900      | 20,00              | 898000         |
| Outros componentes    |            |                    | 3000           |
|                       |            |                    | <b>8033027</b> |

Considerou-se ainda os custos para a operação e manutenção da central de 10 000 € para duas limpezas anuais da central, 1 500 € para a vigilância da central e ainda a substituição dos inversores ao fim de 12 anos, 451 887 €.

### 4.2.1.2 Lucros

Os lucros são calculados com base na poupança da eletricidade que deixa de ser comprada da rede ao valor da tarifa especial de eletricidade para a produção interna de água (0,214€/kWh) e ainda com a receita da venda dos excedentes de eletricidade de volta à rede ao mesmo preço.



### 4.2.1.3 Resultados

Com base nisto obteve-se os resultados mostrados na seguinte tabela:

Tabela 19 - Resultado da análise económica para o sistema da osmose inversa.

| Resultados da análise                            |        |       |
|--|--------|-------|
| Valor atual do custo total - TLCC                | 8,6    | M€    |
| Valor atual do total de Lucros - LCS             | 65,9   | M€    |
| Custo nivelado da Eletricidade - LCOE            | 0,0246 | €/kWh |
| Taxa Interna de Retorno - TIR                    | 54%    |       |
| Período de Recuperação do investimento - Payback | 1,83   | anos  |

Ao final de 25 anos é possível ter um total de 65,9 milhões de euros de lucros, atingir o *payback* em 1 ano e 10 meses aproximadamente e o custo de produção de energia muito baixo (0,0246€/kWh) em comparação com a tarifa paga para a dessalinização (0,21€/kWh).

Esboçou-se um gráfico com o *cash flow* acumulado e anual para se ter um acompanhamento da evolução do projeto ao longo do seu período de vida.

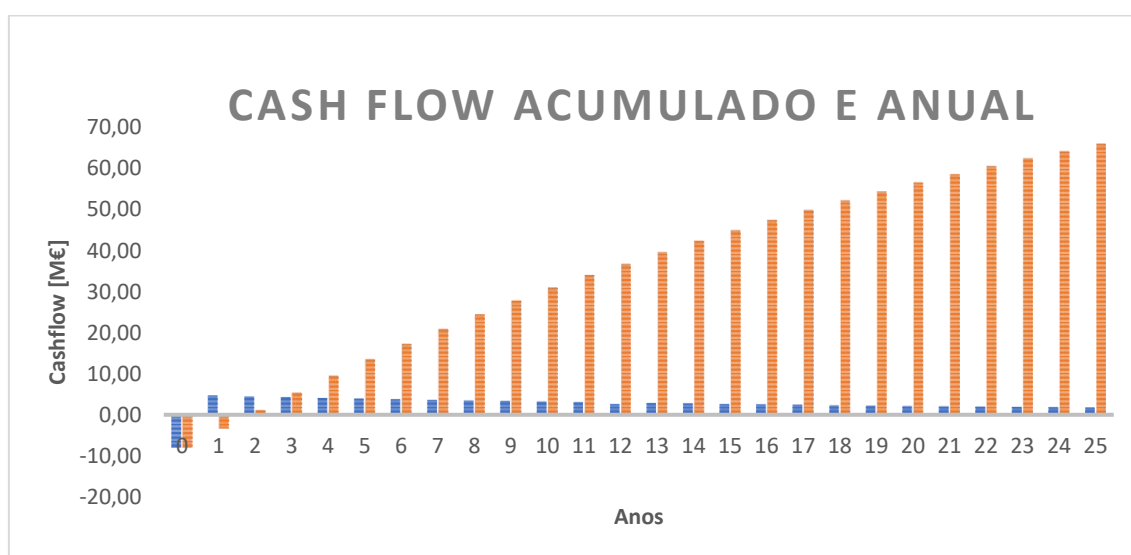


Gráfico 15 - Evolução do cash flow do sistema fotovoltaico

Pelo gráfico 15 verifica-se que o retorno económico deste investimento é rapidamente alcançado e os lucros gerados por este investimento continuam a crescer imenso até ao fim de vida do projeto.

## 4.2.2 Sistema MED

### 4.2.2.1 Custos

O sistema MED tem dois campos solares, um térmico e outro fotovoltaico, logo o investimento total é dado pela soma dos custos iniciais dos dois sistemas.

Para o campo fotovoltaico considerou-se os seguintes custos:

*Tabela 20 - Valores de CAPEX para o campo fotovoltaico do sistema MED*

| <b>Componentes</b>    | <b>Quantidade</b> | <b>Preço unitário [€]</b> | <b>Total [€]</b> |
|-----------------------|-------------------|---------------------------|------------------|
| Módulos fotovoltaicos | 11817             | 148,6                     | 1756006          |
| Inversores            | 30                | 3999                      | 119970           |
| Cabos [m]             | 1000              | 2                         | 2000             |
| Estrutura             | 11817             | 20                        | 236340           |
|                       |                   |                           | <b>2114816</b>   |

Enquanto que para o campo térmico foram considerados os seguintes custos:

*Tabela 21 - Valores de CAPEX para o campo solar térmico do sistema MED*

| <b>Componentes</b>    | <b>Quantidade</b> | <b>Preço unitário [€]</b> | <b>Total [€]</b> |
|-----------------------|-------------------|---------------------------|------------------|
| Coletores térmicos    | 12635             | 500                       | 6317500          |
| Tubagens e Acessórios |                   |                           | 250000           |
| Estruturas            | 12635             | 20                        | 252700           |
| Instrumentação        |                   |                           | 5000             |
| Vaso de expansão      |                   |                           | 10000            |
| Isolamento            |                   |                           | 500000           |

|                                    |        |   |                |
|------------------------------------|--------|---|----------------|
| Armazenamento e Tanque de drenagem |        |   | 50000          |
| Óleo térmico [l]                   | 500000 | 2 | 1000000        |
|                                    |        |   | <b>8449260</b> |

Considerou-se ainda os custos para a operação e manutenção da central de 10 000 € para duas limpezas anuais da central, 1 500 € para a vigilância da central, 119 970 € ainda a substituição dos inversores ao fim de 12 anos e ainda a substituição do óleo térmico a cada 10 anos com um custo de 30 000 €.

#### 4.2.2.2 Lucros

Os lucros são calculados com base na poupança da eletricidade que deixa de ser comprada da rede em substituição pela produção térmica e elétrica tanto do campo térmico como do fotovoltaico.

#### 4.2.2.3 Resultados

Com base nestes pressupostos realizou-se a análise económica onde foram obtidos os resultados que podem ser observados na seguinte tabela:

*Tabela 22 - Resultado da análise económica para o sistema da destilação múltiplo efeito*

| <b>Resultados da análise</b>                     |       |       |
|--|-------|-------|
| Valor atual do custo total - TLCC                | 12,01 | M€    |
| Valor atual do total de Lucros - LCS             | 53,47 | M€    |
| Custo nivelado da energia elétrica - LCOE        | 0,04  | €/kWh |
| Taxa interno de retorno - TIR                    | 35%   |       |
| Período de Recuperação do investimento - Payback | 2,74  | anos  |

Ao final de 25 anos é possível ter um total de 53,47 milhões de euros de lucros, atingir o *payback* em 2 anos e 9 meses aproximadamente e o custo de produção de energia muito baixo (0,04€/kWh) em comparação com a tarifa paga para a dessalinização (0,21€/kWh).

Também se esboçou um gráfico com os cash flow acumulados e anual para se ter um acompanhamento da evolução do projeto da destilação múltiplo efeito ao longo do seu período de vida.

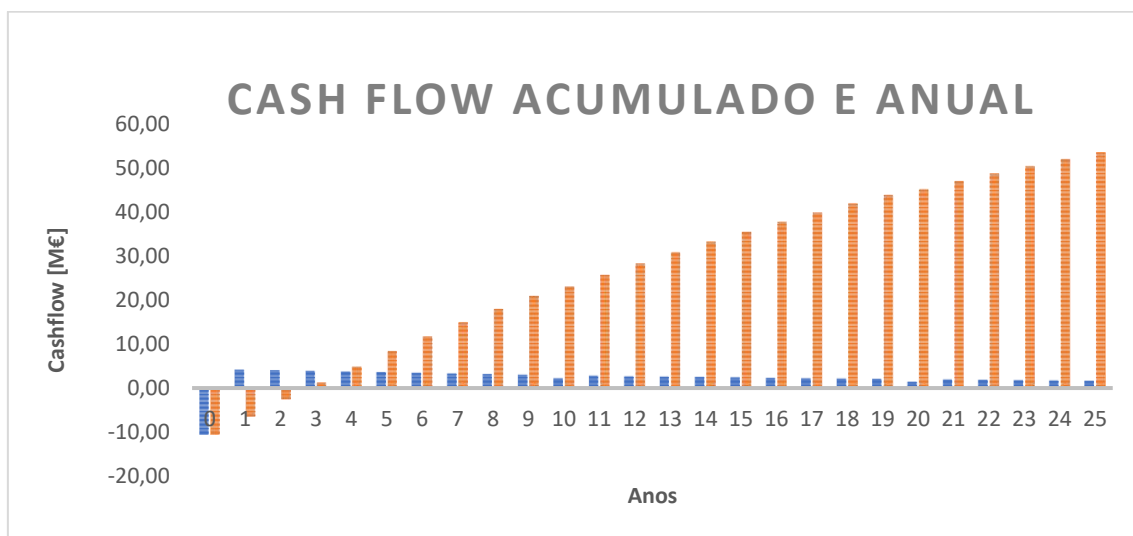


Gráfico 16 - Evolução do cash flow do sistema de destilação múltiplo efeito

Nesta projeção o investimento inicial é maior assim como o retorno económico é atingido mais tarde que na anterior, ainda assim esta opção continua a ser bastante mais vantajosa que a situação atual.

### 4.2.3 Discussão de resultados

As poupanças são enormes em ambas as análises, contudo para o sistema térmico teve-se em conta necessidades energéticas bastante abaixo daquelas encontradas na bibliografia [27] [28] [29] e ainda assim a análise económica de custos da energia para o sistema MED foi a menos favorável. Além disto o sistema térmico apresenta ainda outros desafios como a dificuldade em escoar o calor em excesso (se for o caso) ou ainda outros desafios não previstos uma vez que não são comuns campos térmicos desta dimensão, no entanto a área solar necessária para implementação desse sistema é menor, cerca de 62,3% da área necessária para o sistema da osmose inversa. Atualmente já existe um sistema de osmose

inversa, para o sistema térmico seria necessário ainda a construção da central MED que implicaria ainda mais custos do que aqueles aqui previstos.

Por todos estes motivos chega-se à conclusão de que o melhor sistema a adotar para a ilha de Santiago seria a dessalinização através de osmose inversa alimentada através de um campo fotovoltaico possibilitando assim o aproveitamento da energia solar, um recurso endógeno abundante em Cabo Verde, o que permitirá uma enorme poupança nas divisas ao evitar a compra dos combustíveis para a produção de eletricidade, contribui ainda para a diminuição da dependência energética do país face ao mercado exterior de combustíveis fósseis, permitirá uma maior estabilidade na tarifas de água uma vez que a central já não estará a mercê das flutuações dos preços do fuelóleo e do gasóleo, esse sistema permite ainda uma redução anual de cerca de 5600,35 tonCO<sub>2</sub> para a atmosfera contribuindo para o combate às alterações climáticas.

## 5 Conclusões

O uso das energias renováveis no que concerne a dessalinização de água em Cabo Verde é cada vez mais uma necessidade, não só para os quesitos financeiros uma vez este é um país extremamente pobre em recursos naturais, mas também para que o país possa dar a sua contribuição na luta contra as mudanças climáticas associados às emissões de gases com efeito de estufa resultado da queima de combustíveis fósseis para a produção de energia elétrica para a dessalinização de água no país. Sendo esta responsável por 8% de toda a eletricidade produzida na ilha [30] [31] [32] [33] [34] [35].

No quesito tecnologias de dessalinização não existe um processo que se possa denominar como o melhor em qualquer situação. Cabo Verde atendendo as suas características e condições opta pela tecnologia da osmose inversa para a produção desse recurso essencial à vida. Desta forma existe assim toda uma estrutura para o uso desta tecnologia e sendo esta facilmente acoplada à tecnologia fotovoltaica, então seria uma mais valia fazer uma conexão entre essas duas tecnologias.

Em virtude ao estudo realizado nesta dissertação constata-se que Cabo Verde oferece boas condições para o aproveitamento do recurso solar. Pelo que o uso da energia solar fotovoltaica como forma de promover a energia necessária para o processo da dessalinização a partir da osmose inversa mostrou ser uma tecnologia viável uma vez que o projeto apresentou um período de retorno muito baixo de cerca de 1 ano e 7 meses, comparativamente ao sistema atual permitiu a produção de eletricidade a um custo muito baixo (0,0238€/kWh) e considerando os 25 anos de vida do projeto pode-se acumular cerca de 67,50 milhões de euros de lucros.

Dessalinização através da destilação múltiplo efeito combinados com a energia solar térmica também é um projeto viável tendo um período de retorno de investimento baixo de 2 anos e 7 meses aproximadamente, com um custo de energia térmica de 0,04 €/kWh que é um valor bom e permite acumular um valor de 53,59 milhões de euros ao longo do

período de vida do projeto. Dito isso pode-se dizer que este sistema é menos atrativo, uma vez que a junção dessas tecnologias ainda é pouco explorada, apresentando ainda muitos entraves principalmente no quesito económico. Mesmo com essas dificuldades esta é uma melhor que a tecnologia que hoje funciona na central em estudo.

É de salientar que ambas as tecnologias trariam vantagens para o pequeno país insular, permitindo diminuir a dependência energética face ao exterior desta forma evitar a variabilidade dos preços da eletricidade, diminuir as divisas destinadas a compra dos combustíveis fósseis e reduzir as emissões de gases com efeitos de estufa usando um recurso endógeno e abundante como a energia solar.

Com as poupanças obtidas com a implementação do sistema proposto, permitirá combater as perdas na distribuição de água referidas no capítulo 2, com isso pode se aumentar a rede de distribuição de águas sem ter de aumentar a capacidade de produção da central da Praia. Isto permitirá também um aumento significativo nos postos de trabalho tanto na construção como na manutenção dos campos solares assim como na requalificação e o aumento nas redes de distribuição de água.

## 6 Referências

- [1] Escritório das Nações Unidas de apoio à Década Internacional de Acção (UNO-IDFA), “O Direito Humano à Água e Saneamento - Programa da Década da Água da ONU-Água sobre Advocacia e Comunicação (UNW-DPAC),” 2010.
- [2] F. E. Ahmeda, R. Hashaikeh e N. Hilala, “Solar powered desalination – Technology, energy and future outlook,” pp. 54-76, 2019.
- [3] E. Tzen, “Desalination technologies,” Promotion of Renewable Energy for Water production through Desalination (PRODES), 2009.
- [4] S. S. M. Gaio, “Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade económica. Dissertação,” 2016.
- [5] “International Water Association,” 06 06 2016. [Online]. Available: <https://iwa-network.org/news/what-role-for-desalination-in-the-new-water-paradigm/>. [Acedido em 25 11 2019].
- [6] B. J. Caniato, “Cabo Verde: a fome em sua literatura,” Associação Internacional de Lusitanistas, porto Alegre, 2006.
- [7] “Wikimedia Commons,” [Online]. Available: [https://en.wikipedia.org/wiki/Salinity#/media/File:WOA09\\_sea-surf\\_SAL\\_AYool.png](https://en.wikipedia.org/wiki/Salinity#/media/File:WOA09_sea-surf_SAL_AYool.png). [Acedido em 01 11 2019].
- [8] “GRUNDFOS,” [Online]. Available: <https://pt.grundfos.com/servico/encyclopedia-search/brackish-water.html>.
- [9] Universidade do Algarve, “Composição Química da água do mar”.
- [10] “Industria e Ambiente,” 11 12 2017. [Online]. Available: <https://www.industriaeambiente.pt/noticias/nova-legislacao-da-qualidade-da-agua-para-consumo-humano/>. [Acedido em 27 12 2019].



- [11] V. E. T. Fernandes, “Uso da dessalinização no abastecimento de água para o consumo humano em regiões com climas áridos e semi-áridos. Dissertação,” 2013.
- [12] L. Magalhães, “Toda Matéria,” [Online]. Available: <https://www.todamateria.com.br/osmose-reversa/>. [Acedido em 25 06 2020].
- [13] CESO CI Portugal, “Estudo de Mercado Cabo Verde,” Fundação AIP, 2011.
- [14] G. d. C. Verde, “PLANO DE ACÇÃO NACIONAL PARA A GESTÃO INTEGRADA DOS RECURSOS HÍDRICOS,” 2010.
- [15] S. Shahidian, R. P. Serralheiro, J. Serrano e A. Sousa, “O desafio dos recursos hídricos em Cabo Verde,” 2014.
- [16] GESTO ENERGIA S.A., “ATLAS E PROJECTOS de Energias Renováveis de Cabo Verde,” 2011.
- [17] C. V. Teixeira, “DW,” 12 07 2017. [Online]. Available: <https://www.dw.com/pt-002/dessaliniza%C3%A7%C3%A3o-de-%C3%A1gua-com-tecnologia-europeia-em-cabo-verde/g-39467716>. [Acedido em 01 09 2019].
- [18] Parceria Portuguesa para a Água, “DIAGNÓSTICO DE NECESSIDADES E GAPS DE CAPACIDADES NAS ENTIDADES GESTORAS DE SERVIÇOS DE ÁGUAS,” 2015.
- [19] Governo de Cabo Verde, “BOLETIM OFICIAL DA REPÚBLICA DE CABO VERDE,” 2011.
- [20] Gesto Energia S.A., “Plano Energético Renovável Cabo Verde,” Governo de Cabo Verde, 2011.
- [21] SMA, “Performance ratio. Quality factor for the PV plant,” 2010.
- [22] ERA SOLAR, “ESPSC Monocrystalline Solar Module”.
- [23] Agência Portuguesa do Ambiente, “Comércio Europeu de Licenças de Emissão,” 2013.

- [24] P. Kovacs e S. –. R. I. o. Sweden, “Quality Assurance in solar thermal heating and cooling technology –keeping track with recent and upcoming developments,” 2012.
- [25] [Online]. Available: <https://www.guiaviagem.org/cabo-verde-clima/#>.
- [26] J. A. Dassi, A. Zanin, F. M. Bagatini, A. Tibola, R. Barichello e G. MOURA, “Análise da viabilidade econômico-financeira da energia solar,” 2015.
- [27] Department of Civil and Environmental Engineering, Mississippi State University, “Exergy Evaluation of Desalination Processes,” 2018.
- [28] J. E. Miller, “Review of Water Resources and Desalination Technologies,” 2009.
- [29] A. H. M. Saadat, M. S. Islam, F. Parvin e A. Sultana, “Desalination Technologies for Developing Countries: A Review,” 2018.
- [30] ELECTRA – EMPRESA DE ELECTRICIDADE E ÁGUA SARL, “RELATÓRIO E CONTAS Exercício de 2013,” 2013.
- [31] ELECTRA – EMPRESA DE ELECTRICIDADE E ÁGUA SARL, “RELATÓRIO E CONTAS Exercício de 2014,” 2014.
- [32] ELECTRA – EMPRESA DE ELECTRICIDADE E ÁGUA SARL, “RELATÓRIO E CONTAS Exercício de 2015,” 2015.
- [33] ELECTRA – EMPRESA DE ELECTRICIDADE E ÁGUA SARL, “RELATÓRIO E CONTAS Exercício de 2016,” 2016.
- [34] E M P R E S A D E E L E T R I C I D A D E E Á G U A , S A, “RELATÓRIO E CONTAS 2017,” 2017.
- [35] E M P R E S A D E E L E T R I C I D A D E E Á G U A , S A, “RELATÓRIO E CONTAS 2018,” 2018.
- [36] Agência de Regulação Económica, “Tabela de tarifasde Electricidadepara Electra S.A.,” 2015.

[37] Agência de Regulação Económica, “Tabela de tarifas de Electricidade para Electra S.A.,” 2016.

[38] Agência de Regulação Económica, “Tarifas de Electricidade para Electra,” 2017.

[39] Agência de Regulação Económica, “Tarifas de Electricidade para Electra.,” 2018.

[40] Agência de Regulação Económica, “Tarifas de Electricidade para Electra.,” 2019.

[41] [Online]. Available: <https://i.imgur.com/Sw16086.png>. [Acedido em 12 10 2019].