

# **ADEQUABILIDADE DA ENERGIA SOLAR PARA A PRODUÇÃO AUTÓNOMA DE ÁGUA DESSALINIZADA**

**Estudo de Caso: Praia-Baixo, Cabo Verde**

**Ângela Soares Ramos Fernandes**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia do Ambiente**

Orientador: Engenheiro David Pereira Loureiro

Co-orientador: Doutora Elizabeth da Costa Neves Fernandes de Almeida Duarte

**Júri:**

Presidente: Doutor Olívio Godinho Patrício, Professor Auxiliar do Instituto Superior de Agronomia da Universidade de Lisboa.

Vogais: Engenheiro David Pereira Loureiro, Investigador Auxiliar do Laboratório Nacional de Energia e Geologia, I.P;

Doutora Antónia Teresa Zorro Nobre Macedo, Professora Adjunta da Escola Superior Agrária do Instituto Politécnico de Beja.

*“Quem sabe concentrar-se numa coisa e insistir nela como único objetivo,  
obtem, ao fim e ao cabo, a capacidade de fazer qualquer coisa.”  
Mahatma Gandhi*

*“O sucesso nasce do querer, da determinação e persistência em se chegar a um  
objetivo. Mesmo não atingindo o alvo, quem busca e vence obstáculos, no mínimo fará  
coisas admiráveis.”  
José de Alencar*

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pelo sacrifício e esforço que fizeram para que eu concluísse esta etapa na minha vida. Obrigada por quererem sempre o melhor para mim e por estarem sempre presentes.

À Alicia, por ser a melhor irmã do mundo, e por todos os dias “*inundar-me*” com a sua inocência de criança e fazer questão de me lembrar a importância de um sorriso.

Aos meus avós, pelos valores transmitidos. Por me ensinarem que apesar das dificuldades que a vida nos dá, temos sempre que encontrar força para vencer.

Ao meu namorado, não só pelo amor, carinho e força, mas também por ser paciente e ser o meu ponto de abrigo nos momentos menos bons.

À Telma, que para além de companheira e amiga, sempre foi um exemplo de determinação e força. Obrigada por todos os momentos que partilhámos desde o primeiro dia de faculdade.

À Rita pela amizade que resiste ao tempo e à diferença de rotinas, por estar sempre presente e disposta a ajudar. Obrigada, também, pelas dicas informáticas indispensáveis à realização deste trabalho.

À minha família em geral, o meu maior tesouro, obrigada por acreditarem em mim e por terem sempre uma palavra de incentivo. Sou verdadeiramente abençoada por ter vocês comigo.

Aos meus amigos, a minha segunda família, pelo companheirismo, pelos convívios e momentos de diversão e descontração. Porque é sempre bom estar rodeada de quem alimenta a alma de boas vibrações e faz sorrir.

Aos meus colegas de faculdade e do trabalho, pela troca de experiências ao longo destes anos, pelas conversas e sorrisos.

Ao meu orientador, Engenheiro David Loureiro, pelo acolhimento, pelo apoio e pela transmissão de conhecimentos demonstrados durante a realização deste trabalho.

À professora Elizabeth um muito obrigado por estar presente, pelos votos de confiança, pelos ensinamentos e partilha dos seus conhecimentos ao longo destes anos. Agradeço também à professora Rita Frago, pelo aconselhamento e apoio dado.

À Doutora Antónia Macedo pela sua amabilidade, disponibilidade e esclarecimentos prestados na questão do dimensionamento do sistema de osmose inversa.

Ao Engenheiro Nilton Correia e ao Dr. Alberto Mendes, aos meus primos Edmilson, Sandra e Conceição por estarem sempre disponíveis e por me disponibilizarem os ficheiros, sem os quais não seria possível a realização deste trabalho.

## RESUMO

A problemática da escassez de água fazem-se sentir com maior intensidade nas regiões áridas e semi-áridas. Estas regiões caracterizam-se c pela variabilidade climática e constantes secas, sendo uma condicionante ao desenvolvimento socioeconómico dessas localidades.

Nas zonas mais remotas e com limitação de recursos hídricos, a dessalinização é utilizada como fonte primária para obter água potável para abastecimento de comunidades. Entre as várias tecnologias existentes na dessalinização, a osmose inversa é a mais utilizada para produção de água potável.

A energia solar fotovoltaica permite resolver o problema da eletrificação em zonas rurais sendo uma mais-valia pois permite alcançar a autonomia energética relativamente ao sistema convencional.

Esta dissertação tem como objetivo avaliar o potencial da dessalinização descentralizada com recurso à energia solar aplicada a pequena escala. Para estudar a aplicabilidade e a viabilidade da tecnologia é realizado o pré-dimensionamento do sistema de osmose inversa associado ao sistema fotovoltaico, a ser instalado numa localidade rural em Cabo Verde. A validação desta combinação de tecnologias e a sua implementação no local pressupõe a garantia de um desenvolvimento sustentável para as comunidades.

Os resultados obtidos mostram a viabilidade da produção autónoma de água potável suficiente para garantir a satisfação das necessidades da população.

Palavras-Chave: Osmose Inversa; Dessalinização; Sistema Fotovoltaico; Produção Autónoma; Cabo Verde

## **ABSTRACT**

The issue of water scarcity has been felt with more intensity in the arid and semi-arid regions. These regions are characterized by climate variability and recurrent droughts, affecting the socio-economic development of these areas.

In remote areas with limited water resources, desalination is used as a primary source for drinking water supplies to communities. Between the various technologies available in desalination, inverse osmosis is the most used technology for drinking water production.

Photovoltaic solar energy solves the issue of electrification in rural areas, becoming an added value since it allows achieve energetic autonomy for the conventional system.

This paper aims to assess the potential of decentralized desalination using solar energy applied to small scale. To study the applicability and viability of the technology is realized pre-sizing of the reverse osmosis system associated with the photovoltaic system to be installed in a rural area in Cabo-Verde. The validation of this combination of technologies and their implementation at the site requires the guarantee of sustainable development for communities.

The obtained results show the viability of drinking water autonomous production which ensures the needs of population.

**Keywords:** Reverse Osmosis; Desalination; Photovoltaic system; Autonomous production; Cabo Verde

## **EXTENDED ABSTRACT**

This paper characterizes and evaluates the installation of a reverse osmosis system using solar energy. The purpose of this system is to produce water independently and decentralized small scale. The evaluation of the potential of decentralized desalination using solar presupposes the need to study the feasibility economic social and environmental issues on area with the scarcity of water resources.

Cabo Verde is characterized by supply difficulties both in the water and in the energy sector with extremely negative consequences on the quality of life of the population, especially in remote areas.

Desalination using renewable energy already exists in some remote areas as an alternative water supply for human consumption.

It was necessary to consider the features of water where the system will be implemented in order to be able in order to determine the design parameters.

Cabo Verde does not have statistics on radiation and therefore resorted to a calculation algorithm to convert the hours of sunlight and radiation through a correlation between the clearness index and solar fraction. After this conversion of data was performed in a PV system sizing software - Solterm - developed to analyze the performance of solar thermal and photovoltaic energy through simulations. The program also allows an analysis of environment benefits of using a PV system.

The installed system is dimensioned to produce 1m<sup>3</sup> of water per day powered by a photovoltaic system using storage batteries and generator for support

# ÍNDICE

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>v</b>
<b>Extended Abstract</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>ix</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Lista de Abreviaturas</b> .....	<b>xi</b>
1.1    Objetivos .....	1
1.1.1    Objetivo Geral.....	1
1.1.2    Objetivos Específicos .....	1
1.2    Enquadramento e oportunidade do tema.....	1
1.3    Organização da dissertação .....	2
<b>2    Estado de Arte</b> .....	<b>4</b>
<b>2.1    Dessalinização</b> .....	<b>6</b>
2.1.1    Processos de Dessalinização .....	6
2.1.2    Etapas numa Unidade de dessalinização .....	11
2.1.3    Impactes da dessalinização.....	11
2.1.4    Dessalinização em Portugal .....	12
2.1.5    Dessalinização em Cabo Verde.....	15
2.2    Dessalinização e Energias Renováveis .....	18
2.2.1    Osmose Inversa e Energia Solar Fotovoltaica .....	19
<b>3    Tecnologia Dessalinização por osmose inversa</b> .....	<b>21</b>
3.1    Parâmetros do processo.....	23
<b>4    Tecnologia Fotovoltaica para eletrificação rural</b> .....	<b>25</b>
4.1    Aproveitamento da energia solar fotovoltaica .....	25
4.2    Componentes de uma instalação Fotovoltaica.....	25
4.3    Sistemas Fotovoltaicos .....	27
4.3.1    Sistemas híbrido com Armazenamento .....	27
<b>5    Cabo Verde</b> .....	<b>28</b>
5.1    Caracterização geográfica, climática e social .....	28
5.2    Recursos Hídricos .....	30

5.2.1	Oferta e Procura .....	32
5.2.2	Enquadramento Legal .....	35
5.3	Energia .....	37
5.4	Recurso Solar .....	38
<b>6</b>	<b>Estudo de Caso: São Domingos – Praia-Baixo .....</b>	<b>40</b>
6.1	Caraterização do local: São Domingos .....	40
6.1.1	Praia-Baixo .....	43
<b>7</b>	<b>Dessalinização por osmose inversa com recurso à energia solar fotovoltaica – aplicabilidade em Praia Baixo.....</b>	<b>45</b>
7.1	Água do mar .....	45
7.1.1	Água do Mar em Cabo Verde .....	46
7.2	Pré-dimensionamento do Sistema PV-OI .....	49
7.2.1	Pré-dimensionamento do sistema de Osmose Inversa .....	49
7.2.2	Pré-dimensionamento do Sistema Fotovoltaico .....	54
<b>8</b>	<b>Conclusão .....</b>	<b>65</b>
	<b>Referências Bibliográficas .....</b>	<b>68</b>
	<b>Webgrafia .....</b>	<b>71</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>i</b>

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1 Processos de Separação com membranas (Adaptado de Pinho,2010).....	9
Tabela 2.2 Primeiras unidades dessalinizadoras instaladas em Cabo Verde (Adaptado ELECTRA S.A 2010) .....	15
Tabela 3.1 Capacidades típicas de uma central de dessalinização de Osmose Inversa (FONTE: Laranjeira2010) .....	21
Tabela 5.1 Operadores de dessalinização e respetivas dessalinizadoras FONTE: Adaptado do PAGIRE 2010 .....	31
Tabela 7.1 Dados de Dimensionamentos FONTE: Macedo <i>et al</i> , 2010 .....	50
Tabela 7.2 Resultados dos cálculos efetuados para cada taxa de recuperação .....	51
Tabela 7.3 Resultados do dimensionamento para cada taxa de recuperação .....	53

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Processos de Separação Térmica .....	6
Figura 2.2 Exemplo de Membrana .....	8
Figura 2.3 Exemplo de membrana em enrolada espiral Fonte: Pinho,2011 .....	8
Figura 2.4 Tipo de partículas filtradas em cada processo FONTE: NRC,2008 .....	10
Figura 2.5 Unidade de Osmose Inversa do Alvor .....	15
Figura 2.6 Sistema OIPV em Marrocos (FONTE: DESSOL,2013) .....	20
Figura 3.1 Esquema geral de uma unidade de dessalinização OI .....	22
Figura 4.1 Principais Aplicações Fotovoltaicas FONTE: Pereira, Oliveira,2011 .....	25
Figura 4.2 Curva característica (I / V e potência) .....	26
Figura 5.1 Evolução da população residente em Cabo Verde e na Ilha de Santiago no período de 1900-2010 Fonte. INE-CV,2010 .....	29
Figura 5.2 Principal Fonte de Abastecimento de Água da população Cabo-verdiana Fonte:INE-CV,2010 .....	33
Figura 5.3 tipo de Captação de água subterrânea (quantidade) na ilha de Santiago ...	33
Figura 5.4 Caudal de captação dos vários tipos de captação .....	34
Figura 5.5 Frequência do tratamento de água para consumo FONTE: PECAVE 2011	35
Figura 5.6 Principal Fonte de Energia para Iluminação Fonte: INE-CV,2010 .....	37
Figura 5.7- Radiação Global FONTE: Plano Energético Renovável – Cabo Verde, 2011 .....	38
Figura 5.8 Zonas de nebulosidade Global FONTE: Plano Energético Renovável – Cabo Verde, 2011 .....	38
Figura 6.1 Evolução da População em São Domingos FONTE: INE-CV 2010 .....	40
Figura 6.2 Municípios da Ilha de Santiago e Localização de Praia-Baixo Fonte: Associação Nacional dos Municípios Cabo-verdianos, 2013 (ADPTAÇÃO) .....	43
Figura 7.1 Composição da água do mar Fonte: Bebianno,2007 .....	45
Figura 7.2 Variação do pH em função da Latitude .....	46
Figura 7.3 Variação da temperatura da água do mar em função da Latitude .....	47
Figura 7.4 Variação da Salinidade da água do mar em função da Latitude .....	47
Figura 7.5 Distribuição geográfica da produção biológica na água do mar .....	48
Figura 7.6 Esquema geral do pré-dimensionamento do sistema PV-OI. Fonte: Adaptado de Ghermandi, Messalem,2009 .....	49
Figura 7.7b Carga total diária para o sistema fotovoltaico sem apoio .....	60
Figura 7.8 Output da análise energética para um sistema fotovoltaico sem apoio e carga constante .....	61
Figura 7.9 Esquema do Sistema Fotovoltaico com apoio FONTE: SolTerm .....	61
Figura 7.10 Output da análise energética para um sistema fotovoltaico com apoio e carga constante .....	62
Figura 7.11 Carga total diária variável ao longo do ano .....	63
Figura 7.12 Output da análise energética para um sistema fotovoltaico com apoio e carga variável .....	63
Figura 7.13 Esquema do Pré-dimensionamento do sistema OI-PV2 .....	64

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

AECI – Centro Iberoamericano de Formación

ANMCV- Associação Nacional dos Municípios Cabo-Verdianos

CYTED – Programa de Ciencia y Tecnologia para e Desarrollo

ELECTRA - Empresa Pública de Eletricidade e Água

FAO - Food and Agriculture Organization

GEE- Gases com Efeito Estufa

INE – Instituto Nacional de Estatísticas (Cabo Verde)

kWp – kilowatt pico

MAAP – Ministério do Ambiente, Agricultura e Pescas

NRC –National Research Council

OI – Osmose Inversa

PAGIRE- Plano de Ação Nacional para a Gestão Integrada de Recursos Hídricos

PECAVE- Apoio à Planificação dos Setores de Energia e Água para o Desenvolvimento Sustentável e Cabo Verde

Ppm – Partes por milhão

PV- Painele Fotovoltaico

SIA - Sistema de Informação Ambiental

USGS- U.S. Geological Survey

ZEE- Zona Económica Exclusiva

WHO – World Health Organization

## **Introdução**

### **1.1 OBJETIVOS**

#### **1.1.1 OBJETIVO GERAL**

O objetivo global deste trabalho é avaliar o potencial da dessalinização descentralizada com recurso à energia solar. Pretende-se, assim obter resultados que validem esta tecnologia a níveis de autonomia energética e impactes ambientais.

#### **1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos deste trabalho são os seguintes:

- Abordar a Tecnologia da dessalinização com recurso à energia solar;
- Analisar a problemática da escassez de água em Cabo Verde;
- Pré-dimensionar o sistema tendo em consideração as características do local a aplicar;
- Estudar a aplicabilidade e a viabilidade da dessalinização descentralizada no Estudo de Caso.

### **1.2 ENQUADRAMENTO E OPORTUNIDADE DO TEMA**

A problemática da escassez de recursos hídricos tem sido cada vez maior, sobretudo em áreas mais isoladas. Como tal, há necessidade de encontrar tecnologias que sejam sustentáveis, como alternativa às fontes existentes de água. Assim sendo, a tecnologia de dessalinização é uma solução viável para dar resposta ao problema de abastecimento de água potável na atualidade.

Entre as várias tecnologias que têm sido desenvolvidas, a osmose inversa (OI) é o processo que mais tem sido utilizado na dessalinização de água do mar e água salobra para produção autónoma de água, estando presente em todas as áreas costeiras do mundo com recursos de natureza hidrológica limitados. (Araújo, 2013; Penate 2012). Contudo, ao produzir-se esta água, simultaneamente produz-se água residual com uma elevada concentração de sais. Como tal, torna-se importante perceber quais os impactes ambientais que surgem da aplicação desta tecnologia.

A OI é um processo com elevado consumo energético, consumo esse associado aos combustíveis fósseis. Assim, a implementação desta tecnologia acoplada à integração

de energias renováveis é uma mais-valia, permitindo assim resolver o problema inerente aos custos energéticos e alcançar autonomia relativamente ao sistema convencional de captação/distribuição.

A avaliação do potencial da dessalinização descentralizada com recurso solar, pressupõe a necessidade de estudar a viabilidade a nível social económico e ambiental, numa região com questões ligadas à escassez de recursos hídricos.

Após os anos setenta, Cabo verde ficou marcado pelas consequências da seca que ocorreu nessa época. Para além das características climáticas do país, surge a pressão criada ao longo do tempo nos recursos hídricos subterrâneos, devido ao desenvolvimento urbano, turístico e industrial (PAGIRE,2010). Em algumas zonas mais isoladas do país, a dificuldade de suprir as necessidades tanto a nível de quantidade como de qualidade de água faz-se ainda sentir com maior intensidade, tornando a vida das populações muito precária.

Esta dificuldade de abastecimento tanto no sector hídrico como no sector energético tem consequências extremamente negativas não só na qualidade de vida da população, como no desenvolvimento do país. Por isso, é de extrema importância encontrar uma solução que permita a produção autónoma de água de qualidade nestas zonas mais remotas de forma a suprir as necessidades destas comunidades. Para que esta solução seja sustentável é necessário superar a problemática energética, recorrendo a pequenas unidades de dessalinização com recurso a energia solar.

### 1.3 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Para alcançar os objetivos apresentados, a presente dissertação está organizada em sete capítulos. O capítulo 1 corresponde à Introdução. Neste capítulo referidos os objetivos deste trabalho, a estrutura da dissertação e o enquadramento geral do tema em estudo.

O capítulo 2 é dedicado ao estado da arte, de forma a fundamentar a motivação para a realização deste trabalho. Neste capítulo faz-se referência ao nível de desenvolvimento das tecnologias, com base em artigos científicos, projetos de investigação realizados e documentos públicos.

O capítulo 3 e 4 fornecem, respetivamente, abordagens mais detalhadas das tecnologias de Osmose Inversa e Energia Fotovoltaica.

O Capítulo 5 e 6 diz respeito à caracterização do Estudo de Caso, onde é feita a caracterização de Cabo verde, e onde são abordados os aspetos relacionados com a problemática da água no país e do local onde se vai aplicar o sistema.

No Capítulo 7 é realizado o pré-dimensionamento de cada tecnologia, seguida da análise de viabilidade da aplicabilidade das mesmas a nível social, económico e ambiental.

O capítulo 8 é reservado às conclusões resultantes do trabalho efetuado, e são apresentadas algumas recomendações para futuros trabalhos dentro desta temática. Posteriormente são apresentadas as referências bibliográficas.

## 2 ESTADO DE ARTE

A água é um dos recursos mais abundantes da Terra, essencial para o desenvolvimento económico, social e ambiental (Araujo,2013). Cerca de 97% da água na Terra é água salgada dos oceanos e 3% é água doce que está contida nos polos, água subterrânea, lagos e rios. Nesta quantidade de água doce, 70% encontra-se no estado sólido, sob a forma de glaciares, icebergues, entre outros. Os restantes 30% dizem respeito à água subterrânea, aquíferos de difícil acesso (El-Ghonemy *et al*,2012).

Em alguns países, existe um acesso fácil à água, fazendo com que algumas sociedades considerem a mesma como um recurso infinito e até renovável (Araujo,2013;Mathioulakis,2007). No entanto, a disponibilidade dos recursos de água doce não está distribuída de forma equitativa, estando dependente das condições climáticas e da geologia de cada região. (Araujo,2013)

O conceito de escassez de água surge quando o impacto global de utilização colide com o fornecimento ou a qualidade da água, na medida em que a procura não é satisfeita plenamente (Araújo, 2013). Este conceito abrange três dimensões: a falta de recursos hídricos disponíveis para satisfazer a crescente procura, a capacidade institucional de cada região para fornecer os serviços de água adequados, e a ausência de infra-estruturas adequadas que permitam o controlo do acesso, distribuição e armazenamento devido às limitações financeiras (FAO,2009).

A disponibilidade de recursos de água doce tem diminuindo ao longo do tempo devido não só ao aumento da população e ao crescimento da indústria, mas também pelo uso irracional, desperdício e poluição deste recurso. (Mathioulakis,2007).

O consumo de água duplicou em relação à taxa de crescimento da população, neste ultimo século (Araújo, 2013). Estima-se que cerca de 25% da população mundial não tem água doce disponível, e como tal não tem de forma a suprir as suas necessidades básicas de sobrevivência. Muitos países já se encontram com graves problemas de escassez de água, prevendo-se que no futuro outros países terão que se deparar com essa realidade, principalmente a nível regional e local onde a disponibilidade deste recurso é menor. (Mathioulakis 2007; Laranjeira, 2010;Penate2012).

As regiões áridas e semi-áridas, caracterizadas pela variabilidade climática e constantes secas, são aquelas em que os problemas de escassez de água são mais expressivos. Nestas regiões sempre houve necessidade de serem desenvolvidas formas de gestão dos recursos hídricos disponíveis e que fossem encontrados meios e

tecnologias alternativas, que permitissem ultrapassar limitações hídricas (Araújo,2013). Algumas dessas formas de gestão passam pela limitação de utilização do recurso, ou pelo transporte de água das regiões em que esta abunda para zonas mais escassas (Laranjeira,2010). Outras alternativas passam pela reutilização da água e/ou pelo tratamento da mesma de forma a garantir a qualidade mínima às comunidades. Por exemplo, nas regiões do Médio Oriente, a dessalinização da água salgada do mar ou de água salobra, é uma tecnologia utilizada para produzir água potável ou para utilização na agricultura.

A dessalinização surge assim como tecnologia de produção de água potável, e muitas vezes é o recurso primário para abastecimento das populações. Esta tecnologia consiste na remoção parcial ou total de sais e sólidos dissolvidos na água salgada, com o objetivo de obter água doce. Esta água pode ser utilizada para fins domésticos, agrícolas ou industriais.

A origem deste processo surge no século XVII, em navios de guerra onde se utilizava o processo de destilação, para remover o sal da água. Porém, foi a partir do séc. XX que começaram a surgir as primeiras unidades de dessalinização, no Egito e na Ilha de Curaçao. Após a segunda Guerra Mundial, houve uma grande evolução na tecnologia da dessalinização, de forma a dar resposta às necessidades de água dos militares nas zonas mais remotas. Posteriormente à guerra continuaram a aparecer desenvolvimentos das tecnologias associadas nesta área de investigação aplicada e, em meados de 1980, foi construída na Arábia Saudita, uma unidade industrial perfeitamente desenvolvida e otimizada (Araújo,2013; Laranjeira,2010).

Atualmente, mais de 120 países têm unidades de dessalinização centralizada de larga escala, nomeadamente, os Estados Unidos, Arábia Saudita, Emirados Árabes Unidos, Espanha e Austrália. Das 21,000 unidades de dessalinização, cerca de 50% utilizam água do mar como fonte de alimentação, e as restantes utilizam salmoura. (Lattermann,Hopner,2007). Contudo, na Bacia do Mediterrâneo, nas Regiões do Médio Oriente e nas regiões Insulares, existem unidades de dessalinização implementadas em pequenas vilas, localizadas em áreas áridas no interior, em que o acesso à água potável ainda é escasso, havendo ainda o problema da falta de ligações à rede de energia elétrica. Nestas situações as centrais de dessalinização de grande dimensão, não são uma solução viável, uma vez que estas zonas encontram-se fora das principais redes de distribuição, das quais as instalações de dessalinização de água são dependentes. Assim, é necessário encontrar uma alternativa que permita ultrapassar estas dificuldades.

## 2.1 DESSALINIZAÇÃO

### 2.1.1 PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO

Os processos de dessalinização dividem-se em:

- a) Processos de separação térmica
- b) Processos de separação por membranas

#### a) Processos de separação térmica

Os processos de separação térmica têm como base o processo natural do ciclo da água, na qual a mesma evapora, condensa e precipita (Araújo,2013). Estes processos são classificados em duas categorias (Figura 2.1):

- Evaporação seguido de condensação do vapor de água formado.
- Congelamento seguida de fusão dos cristais de água formados. Este é o processo mais comum na dessalinização e quase sempre é acoplado com unidades de geração de energia com base em turbinas de vapor ou gás.

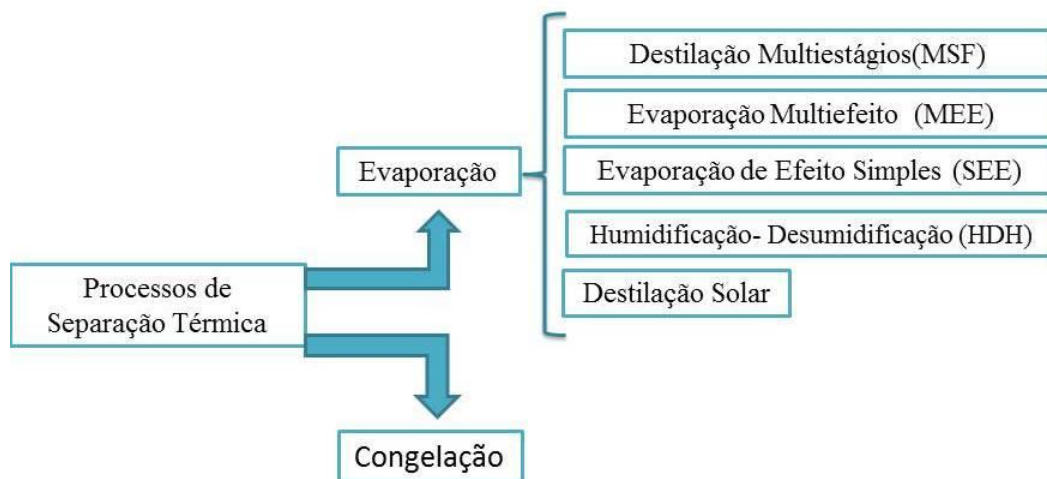


Figura 2.1 Processos de Separação Térmica

Destes processos, os dois mais utilizados são a destilação multi-estágios (MSF) e a evaporação multi-efeito (MEE).

## b) Processos de separação por membranas

Os processos de separação por membranas têm ganho utilidade crescente e aplicações cada vez mais diversificadas. Atualmente, no mundo, produz-se água para consumo humano por osmose inversa (OI), nanofiltração (NF) e ultrafiltração (UF), sendo a OI o processo mais destacado.

Uma membrana é uma fase, normalmente heterogénea, que funciona como uma barreira para o fluxo de espécies iónicas e moleculares presentes nos líquidos e vapores estão em contacto com as suas superfícies. (CYTED,1999)

Com membranas, uma ou mais fases é separada de outra(s) por recurso a um determinado tipo de meio, de acordo com o conteúdo que se pretende separar. As membranas macroporosas têm poros de “grandes” dimensões e, por isso, permitem a passagem de líquido e de constituintes dissolvidos, apenas por fluxo hidrodinâmico. Baixando o diâmetro do poro e aumentando a tortuosidade, obtêm-se as membranas microporosas nas quais é necessário aplicar pressão do lado da alimentação para conseguir a separação. Nestas, os fenómenos de sorção e difusão juntam-se aos hidrodinâmicos. No extremo ficam as membranas semipermeáveis (permeiam o solvente mas retém o soluto), em que predominam a sorção e a difusão e as pressões aplicadas tem de ser elevadas.

As membranas podem ser classificadas segundo a sua origem ou as suas propriedades. No que refere à sua origem, as membranas podem ser naturais ou artificiais.

A classificação das membranas artificiais ou sintéticas pode ser feita com base na estrutura interna ou na configuração externa. Assim, segundo a estrutura interna as membranas podem ser: porosas, densas ou líquidas.

Segundo a classificação externa as membranas classificam-se como sendo simétricas ou assimétricas. As simétricas apresentam uma espessura entre 100 e 200 $\mu$ m e as assimétricas são constituídas por uma camada homogénea, muito fina, e em que a espessura pode variar entre 0,1 a 0,5 $\mu$ m, suportada por uma camada porosa com uma espessura entre 50 a 150 $\mu$  m (CYTED,1999)

Módulos de membranas:

O módulo de membrana é a unidade de trabalho mais pequena, que contém uma determinada área de membrana. O mais importante é ter uma grande superfície útil, e um volume total do módulo pequeno - densidade de acondicionamento (DE) - área útil de membrana por unidade de volume do módulo.

A classificação de módulos segundo a forma geométrica é a seguinte:

- Planos: placas aplicadas ou filtros de cartuchos
- Tubulares: tubulares, capilares e Fibra Oca



Figura 2.2 Exemplo de Membrana

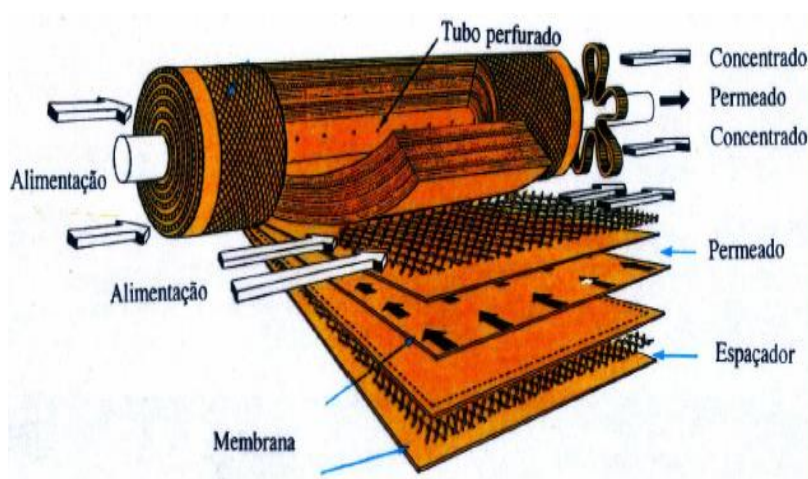


Figura 2.3 Exemplo de membrana em enrolada espiral Fonte: Pinho,2011

Os processos de separação por membrana dividem-se em três grupos:

- Filtração- mecanismos que retêm as partículas maiores e deixam passar as mais pequenas. Utilizado para partículas em suspensão; Inclui a Microfiltração, a Ultrafiltração e a Nanofiltração;
- Solução/Difusão - membranas permeiam apenas o solvente e retêm o soluto. Utilizado para separar sólidos dissolvidos. Inclui Osmose e Osmose Inversa;
- Electrodiálise – em que há uma migração dos iões num campo elétrico.

**Tabela 2.1** Processos de Separação com membranas (Adaptado de Pinho,2010)

<b>Processo</b>	<b>Tipo de Membrana</b>	<b>Pressões</b>	<b>Aplicações</b>
<b>Microfiltração</b>	Microporosa	0,1- 1 bar	Esterilização Clarificação
	0.1 $\mu\text{m}$ a 1 $\mu\text{m}$		
<b>Ultrafiltração</b>	Assimétrica	0.5-5 bar	Separação de Macromoléculas em solução
	Microporosa 1 $\mu\text{m}$ a 10 nm		
<b>Nano Filtração</b>	Assimétrica $5 \times 10^{-2} \mu\text{m}$ a $5 \times 10^{-3} \mu\text{m}$	10-40 bar	Separação parcial de sais em solutos orgânicos com menos de 1000 Dalton
<b>Osmose Inversa</b>	Assimétrica $5 \times 10^{-4} \mu\text{m}$ a $10^{-4} \mu\text{m}$	20-100 bar	Separação de Sais e Microsolutos
<b>Eletrodiálise</b>	Permutadora de Iões 100 $\mu\text{m}$ a 500 $\mu\text{m}$	Corrente elétrica	Dessalinização de soluções iônicas

Dentro dos processos de separação por membranas, a OI, é o processo mais indicado para a dessalinização pois permite a retenção de sais e outros constituintes e deixa passar a água como se pode ver na figura 2.4.

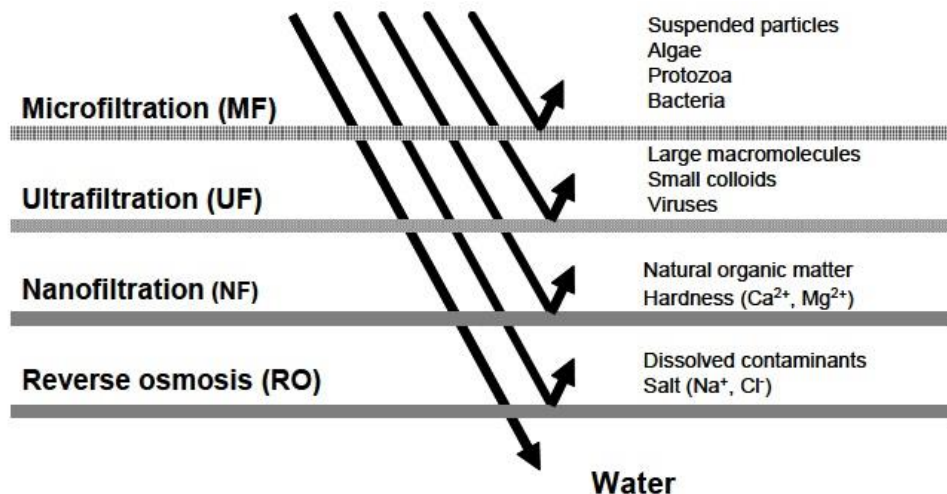


Figura 2.4 Tipo de partículas filtradas em cada processo FONTE: NRC,2008

As tecnologias mais importantes e mais utilizadas na dessalinização de água salgada são a Eletrodialise (ED) e a Osmose Inversa (OI).

A Eletrodialise é um processo que utiliza a força eletromotriz, para que os iões sejam transferidos sob a membrana seletiva. A Osmose Inversa consiste na separação de sais presentes na água, através da aplicação de uma pressão superior à pressão osmótica, sob a membrana semi-permeável. (Fundamentals of Salt Water,2002)

Tanto a OI como a ED podem ser utilizadas para dessalinização de água salobra, mas a OI constitui uma opção mais realista para dessalinização de água do mar, uma vez que apresenta maior eficiência energética do que eletrodialise, quando a salinidade da água de alimentação é maior do que 2000 partes por milhão (ppm). A ED é preferível para a dessalinização de água salobra, devido à sua eficiência relativamente mais elevada e robustez. Considerando-se a qualidade da água de alimentação, no caso da OI, é necessário aplicar um tratamento uma vez que as membranas são muito sensíveis à contaminação. Por outro lado, como ED só remove iões da água, o que implica a aplicação de outros tipos de tratamento (desinfecção, remoção de partículas, etc.). (Mathioulakis, *et al*, 2007)

### 2.1.2 ETAPAS NUMA UNIDADE DE DESSALINIZAÇÃO

Independentemente, do tipo de tecnologia utilizada na dessalinização, as etapas que constituem uma unidade de dessalinização são comuns. Estas etapas são (NRC,2008):

- i. Captação de água: a água que chega à unidade de dessalinização pode ter origem em várias fontes tanto superficiais (oceanos, rios, lagos, etc.) como subterrâneas (aquíferos, poços ou galerias);
- ii. Pré-tratamento: nesta fase é efetuada a remoção de sólidos em suspensão, preparando a água para a fase seguinte. O objetivo principal é garantir que os compostos presentes na água não diminuam o rendimento da dessalinização;
- iii. Dessalinização: consiste na separação dos sais dissolvidos e outros constituintes. Obtém-se a água doce (permeado) e o sub-produto (rejeitado ou salmoura);
- iv. Pós-tratamento: consiste na adição de produtos químicos, antes do armazenamento ou distribuição, de modo a evitar a corrosão das tubagens, também é feita a estabilização da água produzida, através da remoção de gases, ajustamento de pH e desinfecção
- v. Gestão do sub-produto: deposição ou reutilização do rejeitado.

### 2.1.3 IMPACTES DA DESSALINIZAÇÃO

A análise dos impactes é essencial para encontrar formas de mitigar as consequências negativas resultantes da dessalinização. Isto implica identificar e avaliar os potenciais impactes que a unidade de dessalinização pode causar, no local onde vai ser instalado. Os impactes associados às unidades de dessalinização são: os impactes relacionados com o modo de obtenção da água, impactes associados à gestão e deposição do rejeitado, qualidade de água dessalinizada e os impactes associados à emissão de gases (NRC,2008;Araújo,2013)

Um dos principais impactes da dessalinização diz respeito, à descarga da salmoura (rejeitado). Esta quando é realizada no meio aquático pode provocar alterações a nível da fauna e flora, isto porque, para além da elevada concentração de sais podem existir outros compostos provenientes dos processos de tratamento (Araújo,2013). No entanto, os impactes da água dessalinizada na saúde pública são de extrema importância (WHO,2007) uma vez que a água obtida no processo de dessalinização

pode não estar totalmente isenta de alguns microrganismos patogénicos provenientes da água do mar. Para diminuir o risco para a saúde pública recorre-se à desinfeção, como tratamento final antes da água ir para a rede de distribuição

A dessalinização também tem os seus impactos a nível socioeconómico, tais como, garantia ao acesso de água potável para abastecimento das comunidades, e consequentemente, o desenvolvimento industrial, agrícola e turístico da região onde o sistema está instalado (Araújo,2013).

#### 2.1.4 DESSALINIZAÇÃO EM PORTUGAL

##### Berlengas

O Arquipélago da Berlenga, situado na costa de Peniche, é considerado uma Reserva Natural única desde 1981. Pela importância ecológica que a ilha tem, houve necessidade de criar condições de sustentabilidade ambiental. Neste âmbito, surge o projeto “Berlenga - Laboratório da Sustentabilidade” com o objetivo de proteger a biodiversidade local e tornar a ilha sustentável a nível de geração e armazenamento de energia a partir de fontes renováveis, como a nível de produção de água potável tratamento de águas residuais e resíduos sólidos. (Correia, 2008)

No que diz respeito à ocupação humana, a ilha caracteriza-se por uma variação sazonal. Durante o Inverno, apenas permanecem na ilha alguns habitantes locais, e no verão surge uma maior afluência de turistas. Esta variação sazonal trouxe algumas dificuldades logísticas e a nível das infraestruturas, e por isso houve necessidade de encontrar medidas que permitissem gerir melhor a deslocação dos visitantes à ilha.

A ilha não possui recursos hídricos provenientes de aquíferos, e as características geológicas não permitem a existência de linhas de água permanente (Ribeiro,2008). Assim, o abastecimento de água na ilha é a partir de água salgada. Esta é captada diretamente do mar, sendo depois distribuída por uma rede. O abastecimento de água doce é feito por intermédio de um navio, com capacidade de  $8m^3$ , que se desloca entre Peniche e a Berlenga. Quando chega à ilha, a água é armazenada numa cisterna de  $75m^3$  para servir o bairro de pescadores ou numa cisterna de  $200m^3$  para abastecimento exclusivo do restaurante. No inverno, sempre que há ausência de transporte por barco, a cisterna de menor capacidade, é abastecida por águas pluviais.

No âmbito do desenvolvimento projeto, acima mencionado, surge o processo de dessalinização como solução tecnicamente viável para a produção de água doce. O sistema a instalar seria uma dessalinizadora de osmose inversa com uma produção média diária de 5m<sup>3</sup>. Foram analisadas duas possíveis soluções:

- Dessalinização com recurso a energia elétrica
- Dessalinização com recurso a energias renováveis, eólica ou solar

Dado o conceito de sustentabilidade ambiental subjacente no projeto, concluiu-se que a dessalinização com recurso a fontes renováveis é a solução mais lógica, que apesar de mais cara, tem a vantagem de dispensar a utilização de combustíveis fósseis. (Correia,2008)

### Porto Santo

Atendendo à escassez de recursos hídricos de água doce, na ilha de Porto Santo, o abastecimento de água potável para abastecimento público é feito, exclusivamente, por dessalinização. A água é produzida a partir da água salgada por osmose inversa. A água produzida é utilizada para abastecimento público, e em algumas situações pontuais, para a rega do campo de golfe

A central de dessalinização foi construída em 1980 e está situada junto ao cais de Porto Santo a uma cota de 2m acima do nível do mar. A captação de água salgada é feita em quatro galerias subterrâneas sob uma camada rochosa semipermeável.

Atualmente o sistema tem uma potência de 1500 kW e é constituído por quatro unidades de osmose inversa, com uma produção diária de 6000 m<sup>3</sup>, através de uma captação de 15700 m<sup>3</sup>/dia. Estas quatro unidades de produção são compostas principalmente por:

- Bomba de alimentação: tem como função bombear a água salgada da cisterna para o sistema de pré-tratamento;
- Sistema de pré-tratamento: inclui um sistema de injeção de um anti incrustante e uma unidade de filtração por filtros de cartucho;
- Eletrobomba de alta pressão, acoplado a uma turbina para recuperação de energia;
- Conjunto de módulos de membranas enroladas em espiral

- Sistema de tratamento final: é composto por um conjunto de filtros cujo enchimento é de brita calcária, onde é feita a mineralização da água, e uma unidade de injeção de hipoclorito de sódio para assegurar a qualidade microbiológica da água para consumo humano.

No tratamento final, a água é bombeada para um reservatório com 100m<sup>3</sup> de capacidade. A taxa de recuperação do processo é de 40%, ou seja, por cada 400L de água permeada durante o processo, cerca de 60% da água rejeitada, é devolvida ao mar, com o dobro da concentração inicial de sais.

### Alvor

Em Portugal Continental, o grupo de Hotéis Pestana, foi pioneiro em investir na dessalinização, por considerar que a dessalinização deve ser considerada como um complemento estratégico dos recursos subterrâneos e às águas de barragem. A central de dessalinização está dimensionada para produzir um caudal de 800m<sup>3</sup>/dia, de forma a fornecer água a quatro unidades hoteleiras: hotéis Alvor Praia, Delfim, D. João II, Alvor Atlântico, jardins e uma piscina.

O sistema de dessalinização está localizado perto do Hotel Pestana Delfim e, atualmente produz cerca de 700 m<sup>3</sup>/dia e o sistema é composto por cinco etapas.

1. A captação é feita junto à praia a 18 metros de profundidade, com um furo a 30m, e um caudal de 87 m<sup>3</sup>/h.
2. Com recurso a uma bomba, a água é bombeada para o pré-tratamento. Este pré-tratamento consiste na passagem da água por três microfiltros de areia
3. A unidade de osmose Inversa, composta por 9 tubos, cada um com 6 membranas (figura 2.4). Do caudal de entrada (87 m<sup>3</sup>/h), obtêm-se cerca de 60% do rejeitado, sendo que os restantes 40% dizem respeito ao permeado (água potável). Parte da pressão do rejeitado é aproveitada novamente para a bomba, através do sistema de recuperação de pressão (ERI)
4. O permeado, é depois, reencaminhado para o sistema de pós-tratamento, que inclui a passagem por um leito mineralizante de modo a obter um pH adequado.
5. Após o tratamento final, a água fica armazenada num reservatório de 1000m<sup>3</sup> na central de dessalinização. Posteriormente vai para o reservatório de distribuição, onde a água é sujeita a um processo de desinfecção com hipoclorito de sódio.



Figura 2.5 Unidade de Osmose Inversa do Alvor

### 2.1.5 DESSALINIZAÇÃO EM CABO VERDE

Cabo Verde é um arquipélago caracterizado por escassez dos recursos hídricos naturais, consequência dos efeitos das secas dos anos setenta. Para além disso, a situação de escassez foi agravada devido ao desenvolvimento urbano, e consequentemente, houve um acréscimo das necessidades em água para irrigação, turismo e indústria. Como tal, Cabo Verde encontrou na dessalinização uma forma de satisfazer as necessidades das populações a nível do abastecimento de água potável. A primeira unidade de dessalinização por Compressão de Vapor foi instalada em 1959, na Ilha do Sal. Posteriormente foram surgindo outras dessalinizadoras tanto na ilha do Sal como em outras ilhas, ilustradas na Tabela 2.2

Em 1992, foi instalado um sistema de dessalinização multi-efeito, com uma capacidade nominal de 300m<sup>3</sup>/dia. Este sistema funcionava com recurso ao calor dissipado pelo sistema de arrefecimento e pelos gases de escape de um gerador a diesel de 1MW. (Szcsvay, Posnansky, 2001)

Tabela 2.2 Primeiras unidades dessalinizadoras instaladas em Cabo Verde (Adaptado ELECTRA S.A 2010)

Localização	Início de funcionamento	Capacidade (m <sup>3</sup> /dia)	Processo
Sal/Aeroporto	1959	21.6	Compressão de Vapor
S. Vicente	1971	2 x 1.100	Sistema Multi-Flash
Sal/Santa Maria	1972	90	Sistema Multi-Flash

Sal/Aeroporto	1974	50,4	Compressão de Vapor
Sal/H. Morabeza	1978	40	Osrose Inversa
S. Vicente	1981	2400	Sistema Multi-Flash
Sal/Aeroporto	1982	34.4	Osrose Inversa
Sal/Palmeira	1983	3 x 220	Osrose Inversa

No entanto, as populações foram obrigadas a encontrar soluções alternativas ao abastecimento de água, nomeadamente, através de camiões cisterna e chafarizes. Estes sistemas de abastecimento, normalmente têm os preços da água superiores quando comparadas aos das ligações domiciliárias tonando-se, sendo um fator discriminatório ao acesso à água potável pelas populações mais carenciadas (PAGIRE,2010).

Por exemplo, as famílias que se abastecem nos chafarizes, autotanques e fontes de água não potável são, em geral, as mais pobres e vulneráveis e muitas vezes não cobrem as suas necessidades básicas. Geralmente, os chafarizes funcionam durante poucas horas e a água é transportada à cabeça em vasilhames de 20 L ou mais, trazendo consequências a nível da saúde das pessoas, principalmente a das crianças que são submetidas a tal esforço. Outra das consequências, deste tipo de abastecimento, incide sobre o percurso escolar das crianças, sobretudo raparigas, uma vez que as tarefas domésticas sobrepõem-se aos estudos.

Logo, a água é um recurso, condicionante do desenvolvimento económico e do bem-estar social do país tanto pela quantidade como pela sua qualidade, (PAGIRE,2010).

Outra problemática, em Cabo Verde, diz respeito à garantia da disponibilidade energética, uma vez que o país está dependente da dessalinização, processo altamente consumidor de energia. (Monteiro,2011). Á medida que se avança para as zonas mais isoladas, no interior, verifica-se a falta de fornecimento de energia elétrica.

## Energia Solar Fotovoltaica

Mundialmente, cerca de dois mil milhões de pessoas não têm acesso à eletricidade. Os custos de eletrificação por fontes convencionais são demasiados elevados devido à dispersão da população por grandes áreas, em locais isolados ou difícil acesso. (Rodrigues,Joyce,2003)

A preocupação a nível mundial com os problemas ambientais ligados à produção de energia através de combustíveis convencionais e a necessidade de não aumentar a taxa do seu consumo levou ao crescimento da utilização das energias renováveis, em particular a conversão da energia solar em eletricidade através de sistemas fotovoltaicos (Rodrigues,Joyce,2003)

A utilização de sistemas fotovoltaicos autónomos e/ou híbridos de média potência podem contribuir para solucionar a problemática do fornecimento de eletricidade e já são competitivos em locais remotos onde as soluções alternativas convencionais são claramente inferiores do ponto de vista económico e apresentam inconvenientes ambientais não negligenciáveis. (Rodrigues, Joyce,2003; Castro,2011)

Em Portugal existem duas centrais de grande potência ligadas à rede, a central fotovoltaica em Briches e a central de Amareleja. A central situada em Briches, concelho de Serpa, é constituída por 52000 módulos dispostos numa área de 60ha, resultando numa potência produzida de 11MWp. Em 2008, no concelho de Moura, foi instalado uma central com potência de 46MWp, ocupando uma área de 250ha. Essa central é constituída por 260000 módulos, e existem 2500 cisternas de seguimento da posição solar que orientam os painéis perpendicularmente ao sol.

Em Cabo Verde existem três centrais de média potência instalados em três ilhas: na ilha do Fogo foi instalada central composta por 19 painéis solares com uma produção global de 18 KW. Esta energia é injetada na rede para funcionamento das bombas instaladas em três furos da Ilha. (Mota-Engil,2013); Na Ilha do Sal existe um parque fotovoltaico com potência de 2,5 MW, e ocupa uma área de 9,75ha. Está prevista a ampliação do parque em mais 2,5MW até 2014. Existe um segundo parque, na ilha de Santiago, que ocupa uma área de 13ha com a potência Instalada de 5MW (Martifer,2010)

## 2.2 DESSALINIZAÇÃO E ENERGIAS RENOVÁVEIS

A dessalinização requer quantidades significantes de energia elétrica ou de calor, dependendo do processo. Estima-se que uma unidade de dessalinização que produza cerca de 26 500 m<sup>3</sup>/dia requer cerca de 50 milhões de kWh/ano. (WHO *et al*,2007). Durante as últimas duas décadas, houve uma grande quantidade de progressos nos processos de dessalinização, que resultaram numa significativa redução dos custos de produção de água. Isto fez com que houvesse uma maior aceitação e crescimento da indústria em todo o mundo, particularmente nas regiões áridas (Laranjeira *et al*,2010) Contudo, o custo energético ainda é um dos fatores com mais peso no custo global da dessalinização (NRC,2008) e também um condicionante à extensão desta tecnologia em alguns países.

O mercado de dessalinização continua a crescer exponencialmente, e espera-se que a capacidade de produção instalada duplique até 2015 (Araújo,2013). Como a dessalinização é um processo com um elevado consumo energético, o aumento das unidades a larga escala, terá como consequência impactes ambientais relacionados com a emissão de gases com efeito de estufa resultante da utilização dos combustíveis fósseis. (Bilton, 2011;EL-Ghonemy,2012;Clarke,2013)

As recentes investigações na área da dessalinização têm evoluído na perspetiva de aumentar a eficiência energética e diminuir a dependência dos combustíveis fósseis, através da associação do processo de dessalinização com fontes de energias renováveis. (Penate 2012; Fundamentals of Salt Water Desalination,2002).

A dessalinização e as energias renováveis são duas tecnologias diferentes, que podem ser combinadas de diversas formas. Apesar de ambas as tecnologias já estarem bastante desenvolvidas ainda é necessário otimizar o seu desempenho para o aumento da eficiência do processo, e à diminuição do volume da instalação e dos custos operacionais e de manutenção (Clarke 2013; Mathioulakis *et al*,2007)

As fontes de energias renováveis mais comuns associadas aos processos de dessalinização são, a energia solar (fotovoltaica e térmica), a eólica e energia geotérmica. Entre estas, a Energia Solar Fotovoltaica (ESF) é considerada uma solução adequada para pequenas aplicações em áreas com grande insolação. Para unidades de dessalinização de maiores dimensões, a energia eólica pode ser mais vantajosa, principalmente no caso nas regiões insulares onde há um bom regime de vento e pouco terreno plano (Mathioulakis, 2007).

As energias renováveis são ilimitadas, no que diz respeito à capacidade de exploração máxima por unidade de tempo. No entanto é necessário ter em conta a distribuição geográfica da energia renovável a associar à dessalinização de forma a assegurar uma operação contínua ou semi-contínua independente das condições meteorológicas. Por isso, normalmente, os sistemas autónomos são muitas vezes sistemas híbridos, isto é, que combinam mais de que um tipo de fontes de energia renováveis, por exemplo energia eólica e solar, ou em alternativa a implementação de um sistema de apoio que inclui, normalmente, um gerador a diesel (Mathioulakis, 2007).

No entanto, nem todas as combinações de sistemas de dessalinização dependentes de energias renováveis são considerados adequados para aplicações práticas, muitas destas combinações podem não ser viáveis em determinadas circunstâncias. É frequente que o desenvolvimento avançado das tecnologias associadas não corresponde ao baixo nível de infra-estruturas que caracteriza os locais com recursos hídricos limitados. A experiência tem demonstrado que as várias tentativas de integração de soluções avançadas de dessalinização falharam, em áreas isoladas, devido à falta de suporte técnico (Mathioulakis, 2007).

Para avaliar a viabilidade da combinação de diferentes tecnologias, deve-se ter em consideração vários fatores, tais como, as condições geográficas, a topografia do local, a capacidade e o tipo de energia disponível ao mais baixo custo de fornecimento, disponibilidade de infra-estruturas locais (incluindo rede elétrica), a dimensão da unidade de produção de água e a salinidade da água a tratar. (Mathioulakis 2007).

### 2.2.1 OSMOSE INVERSA E ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

As fontes de energias renováveis ainda são mais onerosas que as fontes convencionais, sendo que o custo operacional de um sistema de OI associado a energias renováveis, é maior que o custo de um sistema convencional (Soric,2012). No entanto, na perspetiva das regiões mais pobres, a utilização de energias renováveis no processo de dessalinização, fará com que se consiga alcançar a autonomia energética, permitindo assim resolver o problema inerente da dependência aos combustíveis fósseis. (Mathioulakis, 2007; Clarke, 2013)

Globalmente, o sistema de OI existe em maior percentagem (62%) no que diz respeito ao mercado de energias renováveis. (Soric,2012). A combinação de dessalinização

por Osmose Inversa (OI) alimentada por sistemas solares fotovoltaicos tem sido bastante desenvolvida para pequenos sistemas isolados, e todas as limitações técnicas já foram ultrapassadas. Atualmente, já existem vários sistemas de pequena capacidade instalados em locais isolados como na Tunísia e em Marrocos, representando 0,02% da capacidade total de dessalinização a nível mundial (Penate 2012; Soric,2012).

Uma pequena comunidade de 200 habitantes em Amellou, Marrocos, tem um pequeno sistema de dessalinização desde 2008 (Figura 2.6). Este sistema é composto por uma unidade de dessalinização com uma capacidade nominal de 1000 L/h, combinada com painéis solares fotovoltaicos de 4 kWp



**Figura 2.6 Sistema OIPV em Marrocos (FONTE: DESSOL,2013)**

Assim, a osmose inversa fotovoltaica é uma solução adequada às pequenas comunidades, com a vantagem de poder ser projetado e estruturado facilmente, utilizando componentes modulares. Outras vantagens incluem a fácil manutenção e o facto de o impacte ambiental ser mínimo. A maior desvantagem é o investimento inicial significativo, embora o custo de painéis solares fotovoltaicos tenha diminuído nos últimos anos (Bilton 2011; Penate 2012; Soric,2012)

### 3 TECNOLOGIA DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA

Os sistemas de dessalinização por osmose inversa de pequena escala, de acordo com a tabela 3.1 produzem no máximo 5000m<sup>3</sup>/dia de água potável. Normalmente estes sistemas OI são utilizados para abastecimento de água potável em hotéis e *resorts*, em pequenas comunidades em locais remotos, instalações militares e em embarcações (WHO,2007).

Estas pequenas instalações normalmente, têm são semelhantes às unidades de dessalinização de grande escala com a vantagem de serem mais compactas, e são projetadas de forma a simplificar tanto na instalação como na operação do sistema (WHO,2007).

Tabela 3.1 Capacidades típicas de uma central de dessalinização de Osmose Inversa (FONTE: Laranjeira2010)

<b>Capacidade</b>	<b>Escala (m<sup>3</sup> / dia)</b>
Pequena	<5.000
Média	5.000-60.000
Grande	>60.000

Um sistema de dessalinização de osmose inversa, geralmente, é composto pelos seguintes constituintes:

- Unidade de fornecimento de água de alimentação
- Sistema de pré-tratamento
- Unidade de bombagem de alta pressão
- Unidade de recuperação de pressão
- Sistema de instrumentação e controlo
- Unidade de tratamento e armazenamento do permeado
- Unidade de limpeza



Figura 3.1 Esquema geral de uma unidade de dessalinização OI

### Pré-tratamento

O pré-tratamento permite que os compostos presentes na água, não diminuam o rendimento do processo. No caso da Osmose Inversa, as membranas são muito sensíveis e, por isso, esta etapa é fundamental para garantir que as partículas de maiores dimensões e em suspensão possam ser removidas e não danifiquem as membranas.

O tipo de processo de tratamento a utilizar depende das características da água salgada que vai alimentar o sistema. Geralmente, o pré-tratamento inclui (Araújo,2013):

- Ajustamento de pH: adição de ácido sulfúrico com o objetivo de reduzir a concentração de carbonatos e proteger as membranas;
- Anti-incrustantes: são adicionados agentes dispersantes para prevenir as incrustações nas membranas;
- Coagulação/Filtração: a adição de coagulantes e floculantes para prevenir as incrustações e entupimentos nas membranas;
- Desinfecção: tem como objetivo remover os microrganismos das membranas e prevenir incrustações biológicas. Pode ser feito através de biocidas ou UV;
- Remoção do cloro: é adicionado bissulfato de sódio ou granulado de carvão ativado, para proteção das membranas;

### Processo:

A água de alimentação circula tangencialmente à membrana e a aplicação da pressão resulta na permeação da água através da membrana devido à diferença de potencial químico da água nas soluções de cada um dos lados da membrana, e na rejeição dos componentes que não foram selecionados pela membrana. As características das membranas e as condições de operação vão ser determinantes para o dimensionamento do sistema (Pinho,2002)

### Pós-Tratamento

O permeado caracteriza-se por ter um nível de alcalinidade mais baixo, que pode causar corrosão nos sistemas de distribuição de água. Como tal, um dos processos de pós-tratamento, consiste no ajustamento de alcalinidade e pH. Genericamente é efetuado a remoção dos gases dissolvidos (CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>S), e desinfecção com Cloro de forma a assegurar a qualidade para consumo humano.

## 3.1 PARÂMETROS DO PROCESSO

O processo de Osmose inversa é definido pelos seguintes parâmetros:

- Pressão Osmótica

É a pressão necessária para que o potencial químico da água na solução de alimentação seja elevado ao valor do da água pura à pressão atmosférica (Pinho,2002).

$$\text{Pressão Osmótica } (\pi) = R T \sum_i X_i$$

Onde,

R- constante dos gases= 8,314 kPa m<sup>3</sup> / kmol K

T- Temperatura (K)

$\sum X_i$  - concentração de todos os constituintes na solução (kmol)

- Taxa de Rejeição

Esta taxa exprime eficiência da Membrana para remover os sais da água. Obtém-se dividindo a diferença entre a concentração de sais da água de

alimentação e a concentração do permeado, e a concentração de sais na água de alimentação (Fundamentals of water,2002)

$$SR = 100 \times \left[1 - \frac{(X_p)}{X_f}\right]$$

$X_p$  - concentração do permeado

$X_f$  - concentração da água de alimentação

- Taxa de recuperação do Permeado

Indica a proporção de água de alimentação que é convertida em água doce (permeado). Obtém-se dividindo a diferença entre a taxa de fluxo da água de alimentação e a taxa de fluxo do permeado, e a taxa de fluxos na água de alimentação. (Fundamentals of water,2002)

$$R = 100 \times \left[1 - \left(\frac{M_p}{M_f}\right)\right]$$

$M_p$  - taxa de fluxo do permeado

$M_f$  - taxa de fluxo da água de alimentação

## 4 TECNOLOGIA FOTOVOLTAICA PARA ELETRIFICAÇÃO RURAL

### 4.1 APROVEITAMENTO DA ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA

A energia solar fotovoltaica tem inúmeras aplicações tanto domésticas como industriais, tal como mostra figura 4.1. Estas aplicações podem classificar-se como sendo: aplicações de pequena potência (sinais rodoviários, parquímetros, acessórios para automóveis) ou de média potência (eletrificação rural, produção descentralizada ligada à rede).

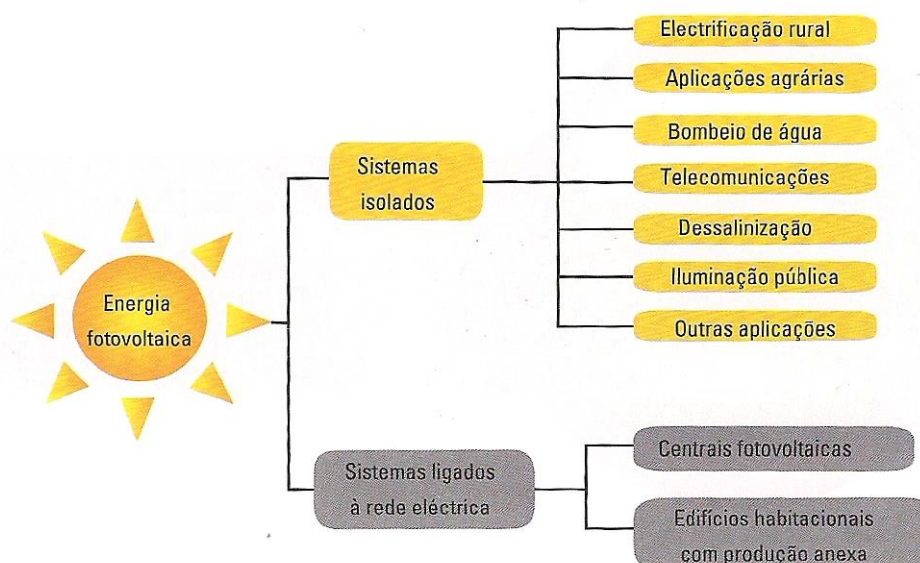


Figura 4.1 Principais Aplicações Fotovoltaicas FONTE: Pereira, Oliveira,2011

### 4.2 COMPONENTES DE UMA INSTALAÇÃO FOTOVOLTAICA

O efeito fotovoltaico é a transformação da energia da radiação em energia elétrica. Esta transformação ocorre numa célula fotovoltaica, elemento mais pequeno do sistema fotovoltaico, que é composta por duas camadas de material semicondutor a camada N e a camada P, onde existe um excesso e défice de eletrões, respetivamente. Esta diferença de eletrões em cada camada vai criar uma diferença de potencial. Assim, quando os eletrões da camada N captam os fotões vão ultrapassar a barreira de potencial, criando uma corrente continua. Uma célula de silício com 100m<sup>2</sup> produz em condições-pico uma potência entre 1-1,7 W, com uma tensão de 0,5 v. (Rodrigues,Joyce,2003;Pereira, Oliveira,201)

Uma instalação fotovoltaica inclui os seguintes elementos:

### Módulos

Os módulos são conjuntos de células fotovoltaicas ligadas em série e/ou em paralelo de forma a obter potências que permitam satisfazer os consumos previstos. Aquando a escolha das células, deve-se ter em consideração a escolha de células com características semelhantes. A curva característica representada na figura 4.2, estabelece a relação entre a corrente e a tensão. Quando a corrente elétrica atravessa a resistência, vai variar em função da diferença de potencial.<sup>3</sup>

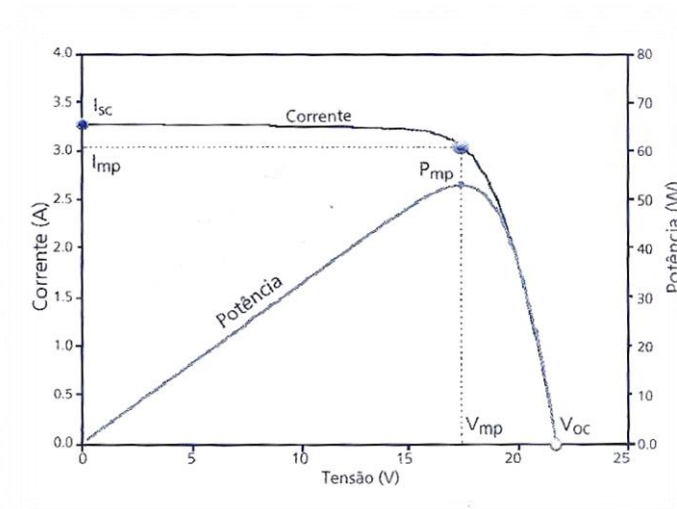


Figura 4.2 Curva característica (I / V e potência)

### Baterias:

As baterias permitem o armazenamento da energia elétrica. Estas deverão ter uma capacidade suficiente para alimentar as cargas durante a noite ou durante dias com baixos valores de radiação. Estas são carregadas sempre que o recurso disponível permite obter uma potência superior à potência de carga.

### Reguladores de carga

São os responsáveis pelo controlo da carga das baterias, impedindo que a bateria continue a receber carga após ter alcançado a sua carga máxima ou evita que se esgote o excesso de carga.

## Inversores

O inversor tem como função a conexão à rede elétrica e transformar a corrente contínua gerada pelos módulos em corrente alternada. Para além disso ajusta a frequência e a tensão eficaz para os consumos necessários.

### 4.3 SISTEMAS FOTOVOLTAICOS

Os sistemas fotovoltaicos classificam-se em três tipos:

- Sistemas isolados autónomos com e sem armazenamento
- Sistemas híbridos em conjugação com mais uma fonte de energia (renovável ou não) para além da fotovoltaica
- Sistemas de ligação à rede

No âmbito deste trabalho será apenas considerado o sistema híbrido com armazenamento, como solução para aplicabilidade no estudo de caso.

#### 4.3.1 SISTEMAS HÍBRIDO COM ARMAZENAMENTO

Estes sistemas são constituídos por um conjunto de módulos fotovoltaicos, um regulador de carga, uma ou mais baterias e um inversor. Pode-se ter associada outra fonte de energia sendo considerada como energia de apoio. Estas fontes auxiliares de energia podem ser geradores a diesel, gasolina ou gás, ou então aerogeradores ou microturbinas hidráulicas. (Rodrigues, Joyce, 2003)

A utilização do gerador a diesel como fonte de energia auxiliar apresenta vantagens, tais como:

- A bateria pode atingir a carga completa quando é necessário, o que permite a estratificação do eletrólito e aumenta o seu tempo de vida
- Permite a utilização de equipamentos de potências mais elevadas sem aumentar a potência do inversor
- O gerador pode funcionar à potência nominal com melhor rendimento
- Aumenta a qualidade do serviço fornecida pelo sistema

## 5 CABO VERDE

### 5.1 CARACTERIZAÇÃO GEOGRÁFICA, CLIMÁTICA E SOCIAL

O arquipélago de Cabo Verde situa-se a cerca de 500km da Costa Ocidental, entre o Equador e o trópico de Câncer, e é composto por dez ilhas, das quais nove são habitadas, e treze ilhéus. As ilhas são de origem vulcânica e estão divididas, geograficamente, em dois grupos: O grupo do Norte que inclui as ilhas de São Nicolau, Sal e Boa Vista; e o grupo do Sul, que inclui e as ilhas de Maio, Santiago, Fogo e Brava. Existe ainda a divisão das ilhas de acordo com os ventos dominantes de Nordeste: Barlavento que abrange o grupo de ilhas do Norte e Sotavento que inclui o grupo do Sul. As Ilhas ocupam no seu conjunto uma superfície emersa de 4.033 km<sup>2</sup>. A superfície de Cabo Verde, entretanto, amplia-se com a inclusão da chamada Zona Económica Exclusiva (ZEE), que se estende por cerca de 750.000 km<sup>2</sup>. A sua maior ilha é a de Santiago com 991 km<sup>2</sup> e a menor é de Santa Luzia 35 km<sup>2</sup> de superfície

Segundo os dados do Censo 2010, a população cabo-verdiana era de 491.875 habitantes (incluindo os sem abrigos) em todo o território nacional (INE-CV, 2010). A maioria da população reside em áreas urbanas (61%) e a população rural é de 39%. (PROCAVE,2011)

A Ilha de Santiago, pertencente ao grupo Sotavento, é a maior ilha do arquipélago com uma área de 990,9 km<sup>2</sup>, estando subdividida em nove municípios: Praia (capital do País), Tarrafal, Santa Catarina, Calheta São Miguel, São Lourenço dos Órgãos, Santa Cruz, São Domingos, São Salvador do Mundo e Ribeira Grande de Santiago. Da população cabo-verdiana, mais de metade (55,7%) reside na ilha de Santiago como se verifica na figura 5.1. (Censos,2010)

As zonas costeiras têm um papel importante no desenvolvimento de Cabo Verde, e por isso, junto à costa encontra-se as maiores concentrações populacionais e unidades industriais e turísticas.

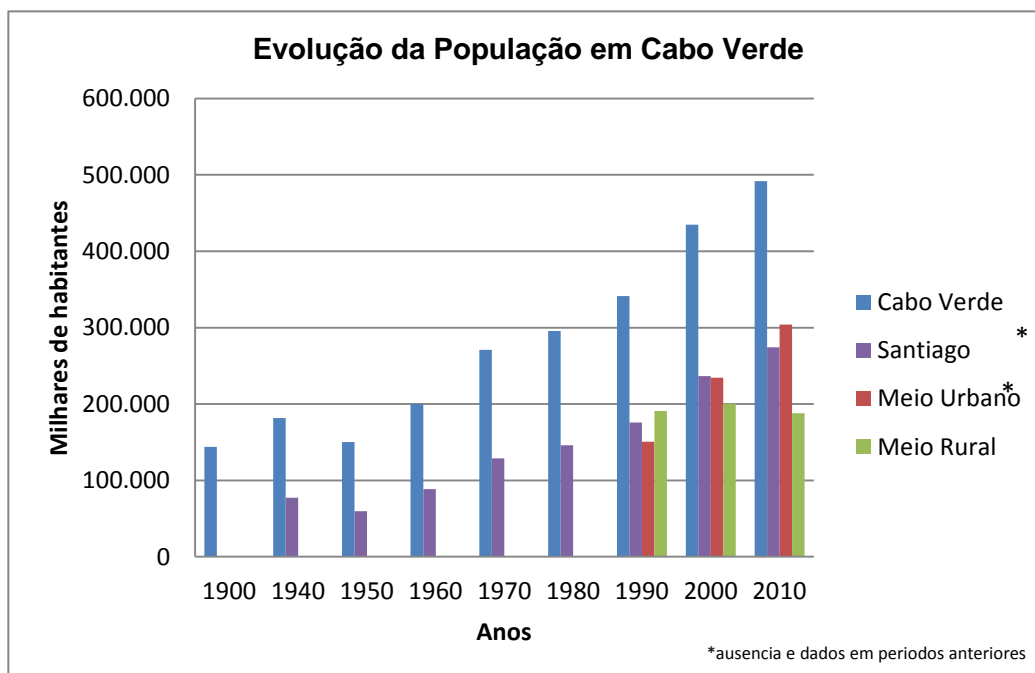


Figura 5.1 Evolução da população residente em Cabo Verde e na Ilha de Santiago no período de 1900-2010 Fonte. INE-CV,2010

Cabo Verde pertence ao conjunto de países que têm um clima subtropical seco, atingindo humidades do ar abaixo dos 10%. A estação mais longa é a estação seca, que vai de Dezembro a Junho. Caracteriza-se, também, por uma curta estação das chuvas, por vezes torrenciais e mal distribuídas no espaço e no tempo. Este período vai de Julho a Outubro, por consequência da passagem anual da Frente Intertropical. Contudo, as precipitações são concentradas durante os meses de Agosto e Setembro, período durante o qual cai, em média, cerca 60% e 80% da quantidade anual de precipitação. (PECAVE,2011)

Desde o período de seca nos anos setenta, a precipitação média anual, de 230mm, tem vindo a diminuir sendo cada vez mais irregular com episódios cíclicos de secas alternado com chuvas torrenciais, com reflexos negativos no sector agrícola e no abastecimento de água. Considerando os valores médios anuais da pluviometria como um índice de classificação climática (P), a cada uma das ilhas corresponderão os seguintes tipos de clima (SIA *et al*, 2011):

- Sal e Boa Vista: extremamente árido ( $P < 100$  mm)
- São Vicente, São Nicolau e Maio: árido ( $100 < P < 200$ )
- Santo Antão, Fogo, Santiago, Brava: semiárido ( $200 < P < 500$ )

## 5.2 RECURSOS HÍDRICOS

### Águas superficiais

Os cursos de água superficial permanentes são escassos uma vez que, a água superficial surge apenas durante algumas horas de precipitação nas principais ribeiras, e atendendo às características geomorfológicas das ilhas, o escoamento superficial é facilitado e ocorre pouca infiltração. Cerca de 20% da água de precipitação perde-se através de escoamento superficial, 13% infiltra-se recarregando os aquíferos e a maior parte perde-se por evaporação. A captação e armazenamento das águas do escoamento superficial é diminuta, normalmente desaguam no mar e a água mobilizada desta forma representa uma parcela muito insignificante do volume global mobilizado. Nos últimos anos, tem havido investimentos na construção de barragens, com objetivo de aumentar a captação direta das águas resultantes da precipitação, por exemplo, em 2009 a barragem do Poilão na Ilha de Santiago, armazenou cerca de 1,7 milhões de m<sup>3</sup> o que equivale à sua capacidade máxima de armazenamento. (Gominho,2010; PAGIRE,2011; SIA, 2011)

### Águas Subterrâneas

As águas subterrâneas abastecem água para o sector agrícola, para a indústria e para o consumo humano. Estes recursos hídricos são limitados e suscetíveis à contaminação, sendo necessário encontrar uma alternativa, principalmente durante os períodos de seca. Nos aquíferos situados nas ilhas vulcânicas, veios de água subterrânea potável “flutuam” tipicamente em cima de uma camada de água salobra, na fronteira com a água salgada. Um aumento no bombeamento podem provocar a intrusão de água salina ou de outras contaminações. (USGS,2010)

A exploração das águas subterrâneas é efetuada de acordo com os seguintes sistemas (Fig.3.2):

- a) Captação de nascentes;
- b) Captação de aquíferos aluvionares por meio de poços e drenos transversais;
- c) Furos profundos que exploram os aquíferos descontínuos dos basaltos.

A produção e distribuição de água nas ilhas de S. Vicente, Sal e na Cidade da Praia na Ilha de Santiago são asseguradas pela ELECTRA S.A, uma empresa

pública/privada. É também, concessionária dos serviços públicos de eletricidade e águas para diversas atividades no sector. Apesar desta concessão, existem pequenos operadores privados que exploram alguns furos subterrâneos, participando e completando a rede de distribuição, e transportando água ao domicílio em camiões-cisterna (PAGIRE,2010).

### Água dessalinizada

A ELECTRA, também, é produtora de água dessalinizada a partir da água do mar, constituindo 88% da capacidade de produção da ELECTRA, em 2011. Para além da ELECTRA SA, existem mais quatro operadores que prestam serviço público no sector de produção de água dessalinizada (Tabela5.1). Para além destes produtores, existem projetos de construção de *resorts* turísticos que dispõem das suas próprias unidades de dessalinização, com uma capacidade média instalada superior a 1000m<sup>3</sup>/dia. (PAGIRE,2010)

Tabela 5.1 Operadores de dessalinização e respetivas dessalinizadoras FONTE: Adaptado do PAGIRE 2010

Operador	Cidade	Processo de dessalinização	Capacidade nominal das dessalinizadoras (m <sup>3</sup> /dia)
Electra	Sal	Osmose Inversa	2 x1000
		Osmose Inversa	3 x 1000
	São Vicente	Ev. Multi efeitos	2400
		Comp mec vapor	1200
	Praia	Osmose Inversa	5000
Águas de Ponta Preta, Lda	Sal	Osmose Inversa	3000
Águas do Porto Novo	Porto Novo	Osmose Inversa	1000
Serviço Autónomo de Água e Saneamento do Maio	Maio	Osmose Inversa	800
Serviço Autónomo de Água e Saneamento de Santa Cruz	Santa Cruz	Osmose Inversa	500
Águas e Energia de Boavista - na ilha da Boavista.	Boavista	Compressão mecânica de vapor	250

### 5.2.1 OFERTA E PROCURA

Segundo o PAGIRE, a produção de água dessalinizada ultrapassa a produção de água subterrânea no que diz respeito ao abastecimento das populações. A disponibilidade de água subterrânea apenas garante as necessidades atuais numa perspectiva de baixo consumo. No caso da ilha de Santiago, o consumo *per capita* de água é muito baixo, o valor médio de captação igual a 11 L/dia, numa gama de 7 a 20 L/dia para infra-estruturas hídricas comunitárias e de 33 L/dia para as ligações domiciliárias (valor inferior ao mínimo recomendado pela Organização Mundial da Saúde (OMS), 40 litros/habitante/dia). (Heitor, Pina,2003)

A população cabo-verdiana está condicionada ao consumo de água devido, sobretudo, ao baixo desenvolvimento de infra-estruturas básicas mesmo nas zonas urbanas, à distância entre os postos de abastecimento e ao período limitado de fornecimento de água potável pelos operadores do serviço público, em geral, não ultrapassa as quatro horas diárias. As perdas entre a produção e a distribuição de água, nas ilhas totalizam cerca de 30% do volume total produzido, também contribui para limitar o abastecimento às populações.

De acordo com os dados disponíveis nos Censos 2010 (Figura5.2), sabe-se que a rede pública de distribuição de água chega a 58% dos agregados familiares (66,7% nos meios urbanos; 43% nos meios rurais) no entanto apenas 50% a utiliza como principal fonte de abastecimento. Os restantes 8%, apesar de possuir ligação à rede pública, vão buscá-la a casa de vizinhos, 25% recorre a chafarizes, 8% recorre a auto-tanques e 9% não tem acesso a fontes de água potável recorrendo a poços, levadas e nascentes.

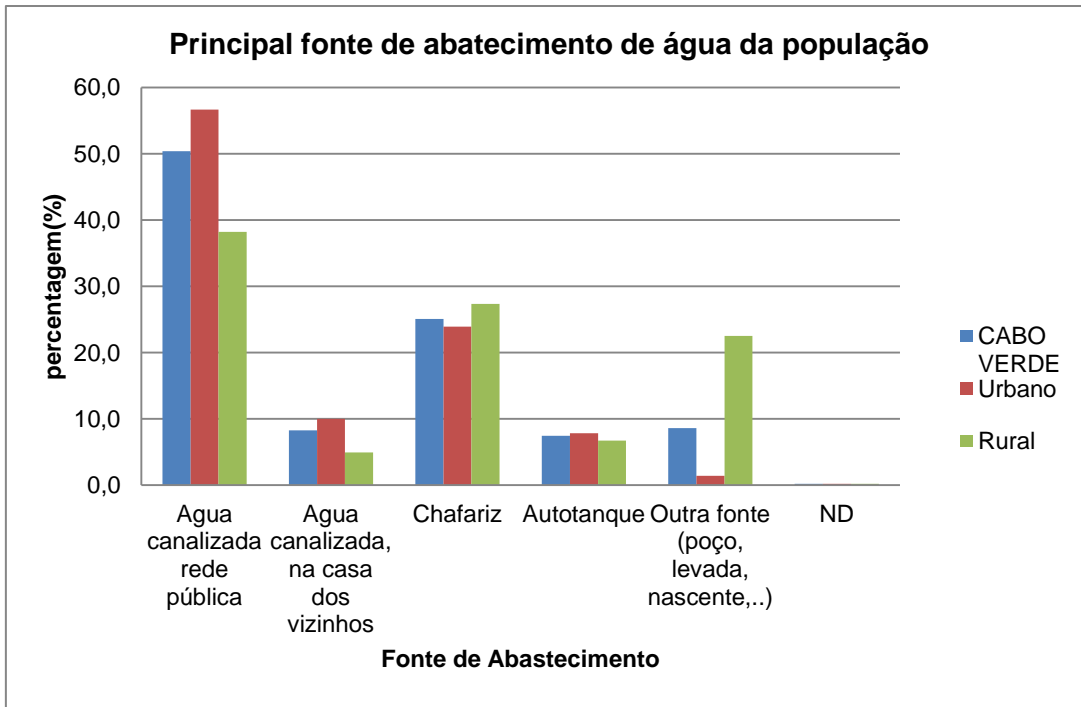


Figura 5.2 Principal Fonte de Abastecimento de Água da população Cabo-verdiana Fonte:INE-CV,2010

Por exemplo, na ilha de Santiago, o tipo de captação de água mais frequente provem das nascentes (Fig.5.3) e é utilizada para o consumo doméstico e para irrigação, principalmente nos concelhos da Praia e de Santa Catarina. Os furos existentes nesta ilha produzem uma média de aproximadamente 15.000 m<sup>3</sup>/dia (Fig.5.4). Cerca de 76% da água total captada nos furos existentes nos concelhos da ilha é usada na agricultura e o restante é utilizado para abastecimento doméstico, excetuando o concelho da Praia, onde cerca de 90% da água captada por este meio é utilizada para fins domésticos. (Heitor, Pina,2003)

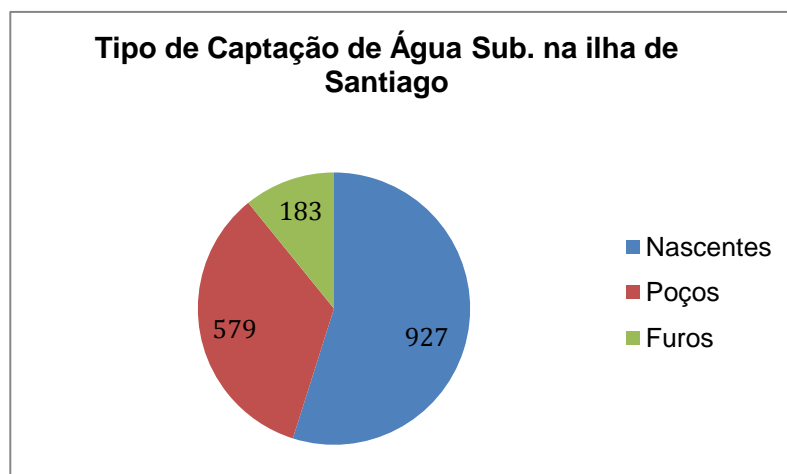


Figura 5.3 tipo de Captação de água subterrânea (quantidade) na ilha de Santiago  
FONTE: Adaptação de PECAVE 2011

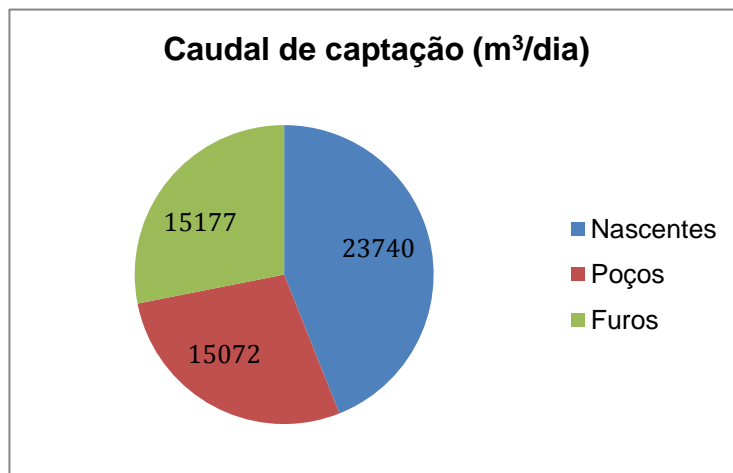


Figura 5.4 Caudal de captação dos vários tipos de captação  
 FONTE: Adaptação de PECAVE 2011

#### Qualidade da água para consumo humano

No que diz respeito ao controlo da qualidade e tratamento de água para abastecimento humano, esta não é garantida com a regularidade exigida principalmente devido à fraca capacidade operativa dos laboratórios, à falta de pessoal profissionalmente capacitado para realizar as análises e por vezes devido à rotura constante de stock dos reagentes. (MAAP,2004; PAIRE,2010)

O único tratamento realizado é a cloração, com aplicação de hipoclorito de cálcio, e a frequência do tratamento também vai variando, o que leva a concluir que grande parte da água consumida não tem garantia de qualidade. As análises realizadas pelo INGRH mostram a presença de coliformes fecais num grande número de amostras, assim como a presença de nitritos e nitratos com valores superiores a 0,05mg/l e 50mg/l respetivamente, havendo indícios de contaminação pela matéria orgânica. (MAAP,2004)

A perda da qualidade quando a água distribuída chega ao consumidor final traduz-se na necessidade de fazer um tratamento de afinamento antes de ser consumida. Como se pode verificar na figura 5.5, nem todos os consumidores fazem esse tratamento com regularidade preferindo a alternativa da água engarrafada. Ainda assim, na zona urbana e na zona rural cerca de 50% dos consumidores que não tratam a água para consumo próprio, e como consequência surgem casos de cólera.

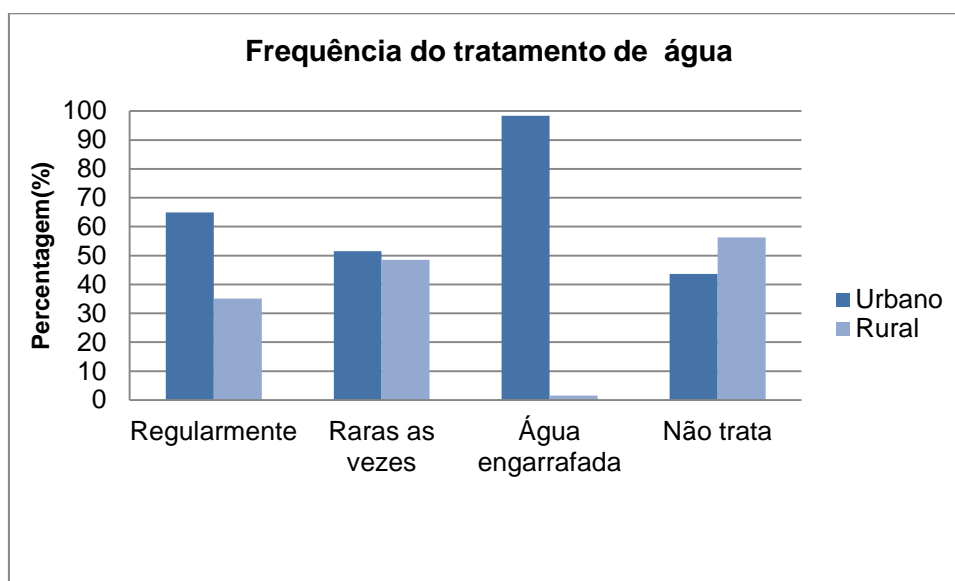


Figura 5.5 Frequência do tratamento de água para consumo FONTE: PECAVE 2011

## 5.2.2 ENQUADRAMENTO LEGAL

Cabo Verde dispõe de um Código da Água, presente no Decreto-Lei nº 41/II/84 de 18 de Junho com alterações do Decreto-Legislativo nº 5/99 de 13 de Dezembro. Este DL estabelece as bases gerais do regime jurídico de propriedade, proteção, conservação, desenvolvimento, administração é aplicável a todos os recursos hídricos naturais do arquipélago, assim como é aplicável à água dessalinizada, às águas marítimas interiores e territoriais. Estabelece, a finalidade dos recursos hídricos "Os recursos hídricos destinam-se a satisfazer as necessidades da população em água potável para fins domésticos e responder às exigências do desenvolvimento económico e social do país (Artigo 58º)" e as prioridades de abastecimento de água, "O abastecimento da população em água potável e para fins domésticos é prioritário (Artigo 59º)."

O Decreto-lei n.º 8/2004 de 23 de Fevereiro Estabelece os critérios e normas de qualidade da água e sua classificação, bem como os sistemas de controlo, o regime sancionatório e medidas de salvaguarda e proteção do meio aquático, tendo como objetivo proteger o meio aquático e melhorar, na generalidade, a qualidade da água para o consumo humano. Neste DL a água potável é definida como "água destinada ao consumo humano, que reúna as condições físicas, químicas e bacteriológicas, fixadas pelo Conselho Nacional de Águas, sob proposta do departamento

*governamental responsável pela área da saúde.”; “água potável tratada, mediante sistemas industriais, tal como a dessalinização, está sujeita as mesmas exigências e controlos que os sistemas de distribuição de águas de captação natural”.*

Segundo o Artigo 16º, que define como características de qualidade de água para consumo humano, “*não constituir risco a saúde, ser agradável ao paladar e a vista dos consumidores e não causar a deterioração ou destruição das diferentes partes dos sistemas de abastecimento*”; “*A água para consumo humano será posta a disposição dos utilizadores de modo a satisfazer as exigências de potabilidade, de acordo com os parâmetros definidos no anexo IX do presente diploma, não podendo apresentar, em caso algum, sinais de degradação da sua qualidade, qualquer que seja o ponto do sistema de abastecimento que se considere*”

### 5.3 ENERGIA

A produção de energia elétrica, também está a cargo da ELECTRA S.A, e é assegurada por três tipos de tecnologia: térmica diesel, eólica e solar fotovoltaica. No ano 2011 foram produzidos 325.420.684 kWh de energia elétrica, sendo 92,5% de origem térmica, 4,8% eólica e 2.8% solar.(ELECTRA,2011)

A produção de energia é eficaz, contudo existem problemas, não só a nível de perdas, mas também a nível de roubo/fraude de energia elétrica.

Apesar de energia elétrica ser a principal fonte de energia para iluminação, existem alternativas utilizadas pela população, especialmente durante os períodos de falha de eletricidade. A nível rural, nem todas as comunidades têm acesso à rede elétrica, como tal recorrem à utilização de velas e geradores a gasóleo.

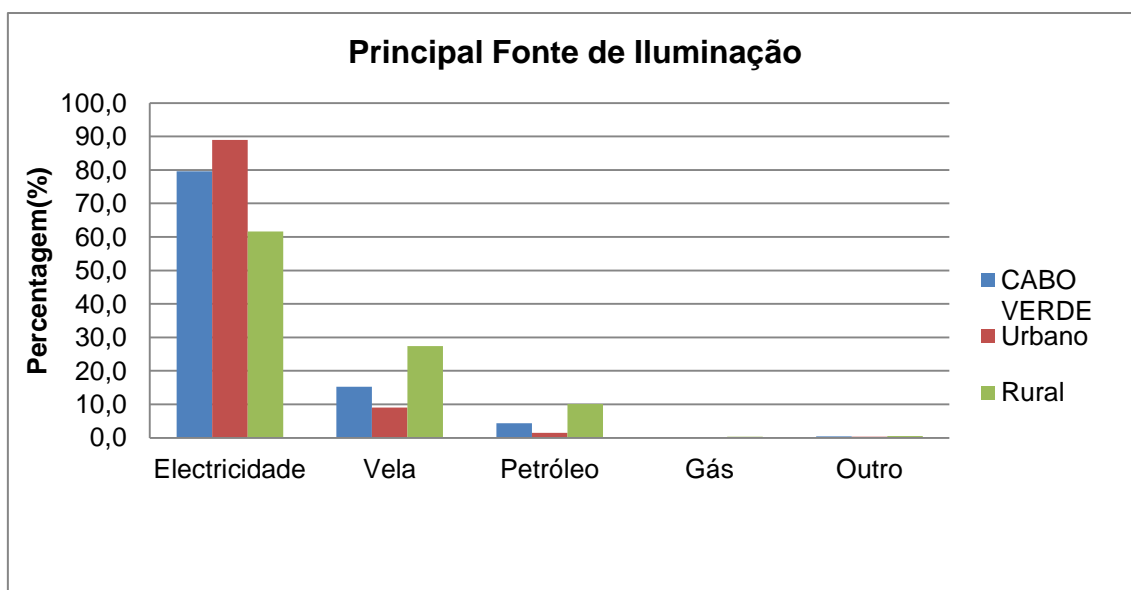


Figura 5.6 Principal Fonte de Energia para Iluminação Fonte: INE-CV,2010

## 5.4 RECURSO SOLAR

No âmbito do Plano Energético Renovável de Cabo Verde, foi elaborado um estudo sobre o Recurso solar com o objetivo determinar o potencial da energia solar no país. De forma a cumprir o objetivo do estudo, foi realizado um mapeamento solar e zoneamento de nebulosidade.

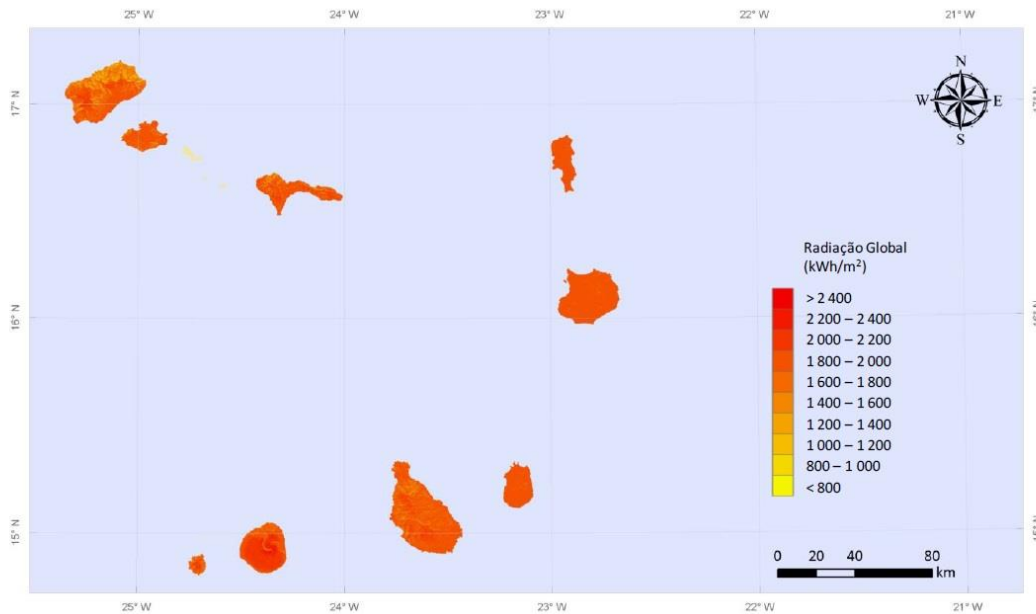


Figura 5.7- Radiação Global FONTE: Plano Energético Renovável – Cabo Verde, 2011



Figura 5.8 Zonas de nebulosidade Global FONTE: Plano Energético Renovável – Cabo Verde, 2011

Assim concluiu-se que Cabo Verde tem um recurso solar abundante, com radiação global média entre os 1800 e os 2000 kWh/m<sup>2</sup>/ano, como é ilustrado na Figura 5.7. Quanto ao número de horas de insolação, mais de metade do território apresenta um potencial de mais de 3750 horas de sol por ano. De acordo com a Fig.5.8, pode-se verificar que as Ilhas de Santo Antão, Fogo e São Nicolau registam maior nebulosidade. (Gesto, 2011)

## 6 ESTUDO DE CASO: SÃO DOMINGOS – PRAIA-BAIXO

### 6.1 CARATERIZAÇÃO DO LOCAL: SÃO DOMINGOS

São Domingos é um dos municípios situado a sudeste da ilha de Santiago, estando limitado no litoral pelo mar e estende-se no sentido este-oeste desde Praia Baixo até à zona de Loura (Barreto, 2008). Tem uma área de 137.6km<sup>2</sup> e 13808 habitantes, dos quais 12225 vivem na zona rural e os restantes 2583 vivem na zona urbana. (Censos2010) e é constituído por duas freguesias, Nossa Senhora da Luz e São Nicolau Tolentino.

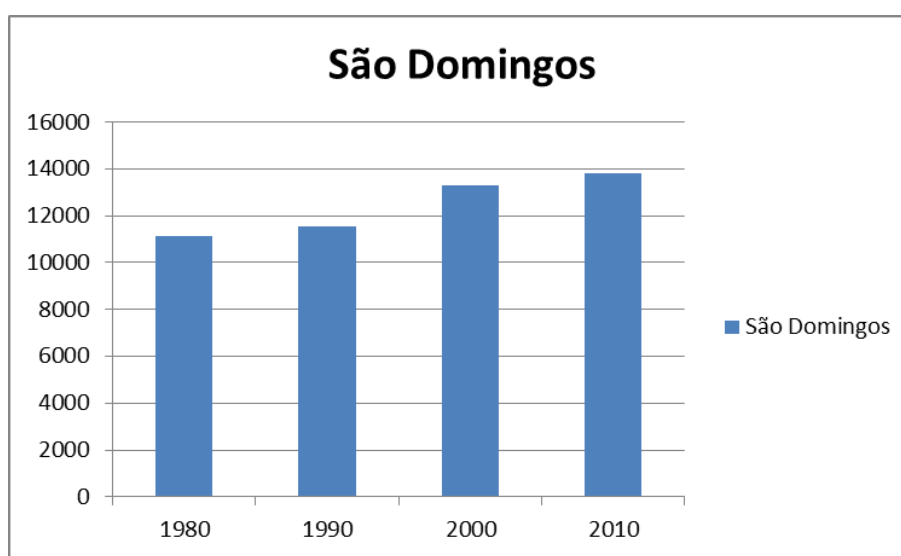


Figura 6.1 Evolução da População em São Domingos FONTE: INE-CV 2010

A nível climático, o município insere-se nos três níveis de classificação climática: árido, semi-árido e sub-húmido-seco, sendo que é mais árido à medida que se aproxima do litoral.

O sector agrícola é o principal sector de atividade da população do município. Contudo, a agricultura, ao longo dos anos, tem-se tornado numa atividade vulnerável devido aos sucessivos anos de seca, às intrusões salinas nos furos e poços que trouxeram consequências negativas a nível da qualidade dos solos, principalmente nas zonas próximas do litoral (Barreto,2008).

Os problemas relacionados com recursos hídricos em São Domingos são (Barreto *et al*,2008):

- Diminuição dos recursos hídricos em consequência da seca persistente e baixa capacidade de retenção de água nos solos;
- Insuficiência de estruturas de conservação da água
- Inexistência das formas de aproveitamento das águas residuais
- Predominância do sistema de rega por alagamento
- Baixa eficiência no uso dos recursos hídricos

A Bacia Hidrográfica de São Domingos tem uma superfície aproximada de 19km<sup>2</sup> dividida pelas sub-bacias hidrográficas e tributárias. Desenvolve-se desde a região Norte da bacia de Fontes de Almeida, do Sudoeste a Nordeste da ilha de Santigado. É limitada a norte pela Bacia hidrográfica da Ribeira Seca e a Sul pelas Fontes de Almeida, a Este pela zona Rui Caz e a Oeste pela Achada Balcia.

É uma bacia importante do ponto de vista agrícola, embora se encontre em situação crítica em termos da disponibilização de água às comunidades. A partir da década de 70, os recursos hídricos foram alvo de uma utilização intensiva, e atualmente já se sente a escassez e degradação da bacia hidrográfica, principalmente, devido à irregularidade pluviométrica e à exploração intensiva dos poços e furos.

Da água explorada na Bacia hidrográfica, identificaram-se 22 pontos de águas diferentes:

#### Poços

Existem 4 poços, com um caudal de 62,5m<sup>3</sup>/hora, e a água é maioritariamente utilizada nas atividades agrícolas de regadio e atividade pecuária.

Os poços são construídos com apoio do estado, mas a sua gestão é privada. Em relação à exploração esta é feita sem qualquer controlo e sem manutenção.

#### Furos

Existem 14 furos ao longo de toda a bacia, e debitam um caudal total de 84,8m<sup>3</sup>/hora, sendo utilizados para abastecimento das populações e para a agricultura. Cerca de 70% dos furos estão localizados na zona baixa da bacia, e conseqüentemente, a pressão exercida na exploração é maior.

Neste caso a gestão dos furos é feito pelo Serviço Autónomo de Água e Saneamento do Município, e por alguns agricultores.

### Nascentes/galerias

Foram identificadas 4 nascentes com um caudal total de 217m<sup>3</sup>/dia. São utilizadas em atividades agrícolas temporárias (de Outubro a Março) e para o abastecimento das populações, principalmente nas zonas altas da bacia.

No concelho, os principais pontos de água estão localizados em: Ribeirão Chiqueiro, Achada Baleia, Baia – Moía – Moía, Milho Branco, Dobe, Várzea da Igreja e Praia Baixo. Destas localidades destaca-se Ribeirão Chiqueiro por ter maior capacidade de produção de água e Praia Baixo por ter a menor capacidade de produção. (Tavares,2008)

### Qualidade da água dos pontos de água

No que diz respeito, à qualidade da água na Bacia Hidrográfica, em termos de condutividade, esta varia entre os 1500-2000 µS/cm. Nas zonas costeiras, podem-se encontrar pontos de água com condutividade de 2800 µS/cm, devido à intrusão salina. Segundo o INGRH, para valores de condutividade acima dos 2250 µS/cm, já se considera uma água com elevada salinidade (Lopes,2002).

A intrusão salina é evidente sobretudo na parte costeira, sendo uma consequência da sobre-exploração dos recursos da bacia, que tem impactos negativos a nível da qualidade da água e a nível do solo.

De acordo com o Programa Municipal de Luta Contra a Pobreza realizado em 2003, São Domingos era considerado o pior concelho termos de abastecimento de água, uma vez que o consumo per-capita em água não atingia 5 L/dia, sendo que as Nações Unidas recomendam que este seja no mínimo 24L/dia (Tavares,2008)

### 6.1.1 PRAIA-BAIXO

Praia-Baixo é uma localidade pertencente à Freguesia de Nossa Senhora da Luz, localizada junto à costa. É caracterizada como sendo uma aldeia piscatória, com cerca de 442 habitantes.

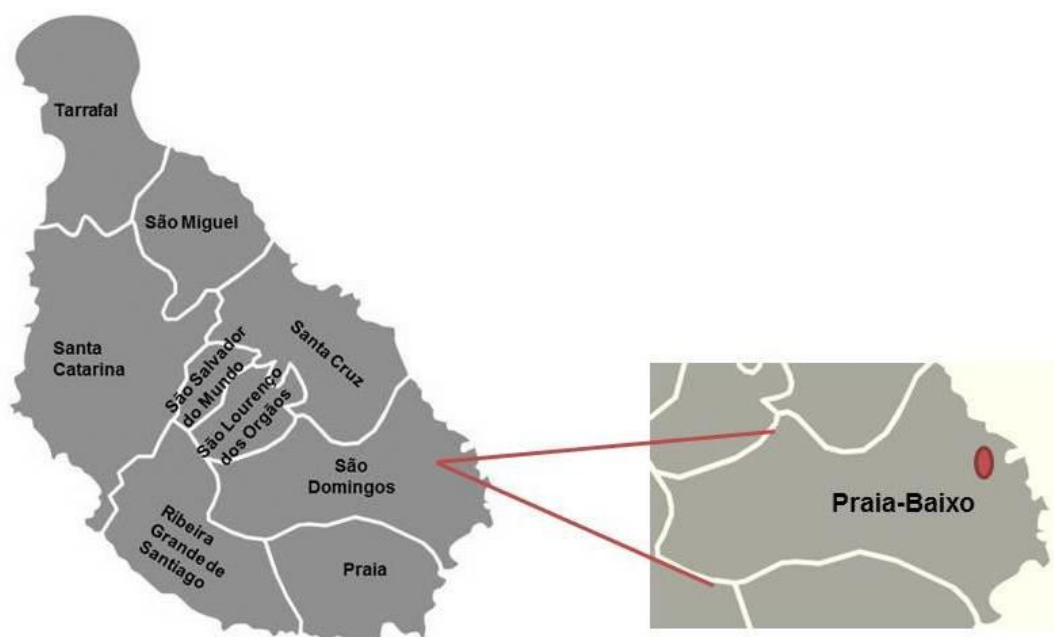


Figura 6.2 Municípios da Ilha de Santiago e Localização de Praia-Baixo  
Fonte: Associação Nacional dos Municípios Cabo-verdianos, 2013 (ADPTAÇÃO)

A escolha de Praia-baixo como localidade para estudar a aplicabilidade do sistema OI com recurso a energia solar fotovoltaica tem haver essencialmente com o fato de ser uma zona próxima da costa, e como já foi referido, as zonas perto do litoral têm maior probabilidade de ter intrusão salina, diminuindo a disponibilidade de água subterrânea de qualidade.

Tal como mostra a fig. 6.3, na localidade de Praia-Baixo a maioria da população abastece-se através dos chafarizes, e como já foi referido anteriormente, este tipo de abastecimento não é contínuo e como tal a população tem que encontrar a melhor forma de gestão de água

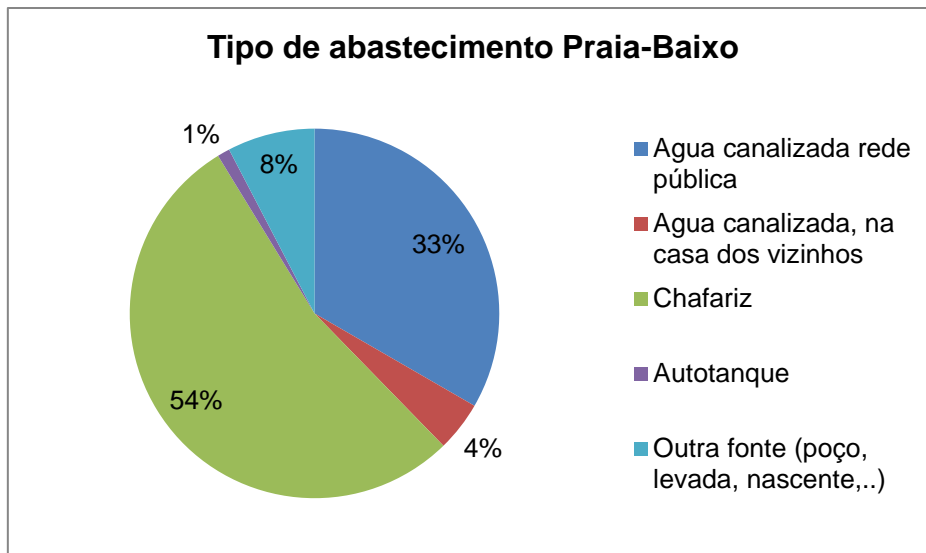


Figura 6.3 Forma de abastecimento da população de Praia-Baixo FONTE: INE-CV, 2010

## 7 DESSALINIZAÇÃO POR OSMOSE INVERSA COM RECURSO À ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICA – APLICABILIDADE EM PRAIA BAIXO

### 7.1 ÁGUA DO MAR

A água do mar e oceanos, e a água salobra, são as principais fontes de água que são utilizadas para dessalinização. A concentração de sais presentes na água salobra varia consideravelmente face à concentração de sais da água do mar. (Araújo *et al*,2013)

A água do mar é uma solução composta por substâncias presentes na água do mar, sendo que os dois elementos fundamentais, para além do oxigénio e do hidrogénio, são o cloro e o sódio que se combinam para formar o cloreto de sódio (NaCl) e cujos teores são 1,05 g/L e 1,90 g/L respetivamente. Estes dois iões perfazem 85,6% de todos os sais dissolvidos na água do mar.

Os sais dissolvidos na água do mar dividem-se em principais (concentração da água do mar > 1 mg/L ≈ 0.05 a 75 mM) e secundários (concentração da água do mar < 1 mg/L ≈ <0.05 mM), tal como apresentado na figura nº 7.1 (Bebiano,2007)

<i>Categoria</i>	<i>Exemplos</i>	<i>Concentração</i>
<i>Iões Principais</i>	Cl <sup>-</sup> , Na <sup>+</sup> , Mg <sup>2+</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , Ca <sup>2+</sup> , K <sup>+</sup>	nM
<i>Iões Secundários</i>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Br <sup>-</sup> , Sr <sup>2+</sup> , F <sup>-</sup>	μM
<i>Gases</i>	N <sub>2</sub> , O <sub>2</sub> , Ar, CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub>	nM a mM
<i>Nutrientes</i>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , H <sub>4</sub> SiO <sub>4</sub>	μM
<i>Metais</i>	Ni, Li, Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Co, U, Hg	< 0,05 μM
<i>Compostos orgânicos dissolvidos</i>	Aminoácidos, ácidos húmicos	ng/l a mg/l
<i>Coloides</i>	Espuma, flocos	≤ mg/l
<i>Partículas em Suspensão</i>	Areia, tecidos mortos, organismos marinhos, dejectos	μg/l a mg/l

Figura 7.1 Composição da água do mar Fonte: Bebianno,2007

### 7.1.1 ÁGUA DO MAR EM CABO VERDE

Fatores como a temperatura, pH e salinidade da água do mar podem variar conforme a latitude do local.

Admitindo que Cabo Verde está a uma latitude de 15° e analisando a figura 7.2, pode-se considerar que o pH está na gama dos 8,04 e 8,08.

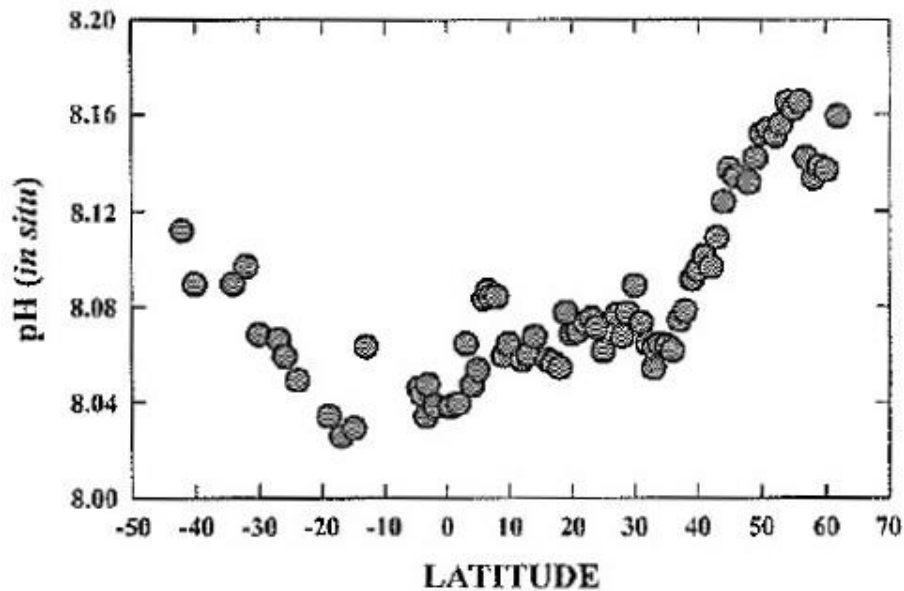


Figura 7.2 Variação do pH em função da Latitude

Em relação à temperatura, a sua variação a nível superficial da água é diferente em duas épocas do ano (MAAP,2004):

- De Julho a Novembro, época quente, a temperatura varia entre os 23°C e 27°C
- Entre Dezembro e Junho, época fria, a temperatura variam entre os 21°C e 22°C

Relacionando com a latitude, a temperatura da água do mar em Cabo Verde está acima dos 24° C, tal como mostra a figura 7.3.

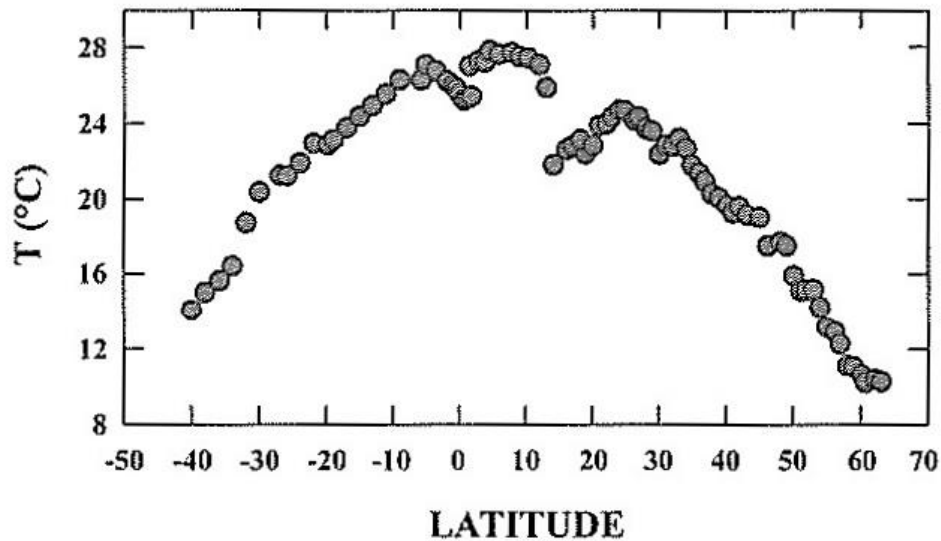


Figura 7.3 Variação da temperatura da água do mar em função da Latitude

Da mesma forma, a salinidade também varia consoante a Latitude, sendo que à latitude de Cabo Verde os valores de salinidade são elevados.

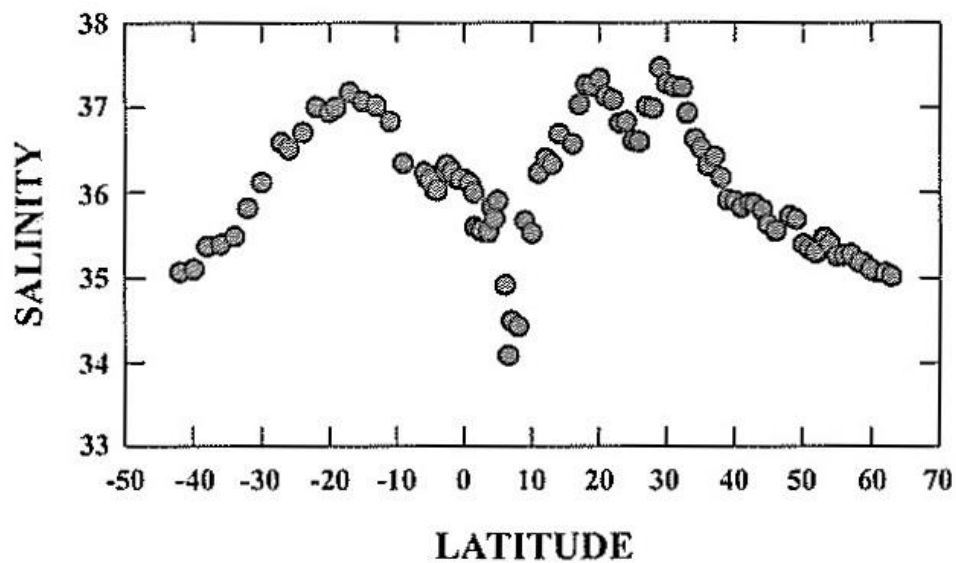


Figura 7.4 Variação da Salinidade da água do mar em função da Latitude

No que diz respeito aos nutrientes (fosfatos, nitratos e silicatos) dissolvidos na água do mar, a distribuição destes depende da circulação das águas e das flutuações na produção de plâncton. Contudo não existem análises para a determinação destes nutrientes essenciais para a síntese orgânica do mar.

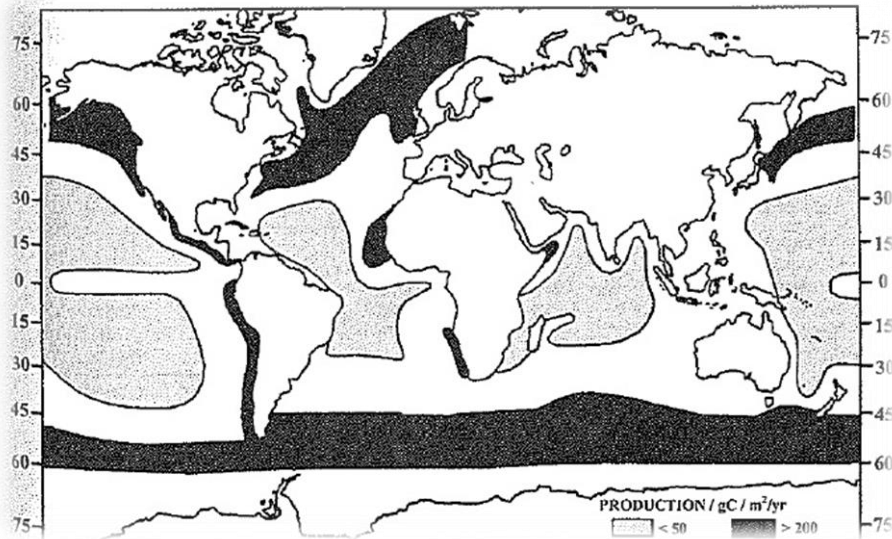


Figura 7.5 Distribuição geográfica da produção biológica na água do mar

### Poluição

Principais problemas observados na zona costeira: deposição não controlada de resíduos sólidos e líquidos; parte do lixo produzido chega ao mar, com maior incidência nas alturas de precipitação mais intensa. Outro agente causador de poluição é a frota (nacional e internacional) quer por derrame de hidrocarbonetos quer por tráfego marítimo. Os portos nacionais não possuem instalações de recepção de lixo e de águas residuais, o que implica o lançamento dos mesmos perto da faixa costeira. As indústrias da cerveja e do sabão descarregam os seus efluentes no mar, sem qualquer tipo de tratamento.

As unidades de dessalinização descarregam diariamente grandes quantidades de salmoura diretamente para o mar, a temperaturas e níveis de salinidade elevados (MAAP,2004)

## 7.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PV-OI

O sistema PV-OI a ser instalado em Praia baixo, tem a configuração presente na figura 7.6. O sistema será pré-dimensionado para produzir diariamente  $1\text{m}^3$  de água potável, a partir de água do mar. Esta será captada diretamente do mar e armazenada num depósito de aproximadamente  $2\text{m}^3$ , estando sujeita a um pré-tratamento antes do processo de osmose inversa. A unidade fotovoltaica fornecerá energia para duas bombas: a bomba de alimentação do depósito para o pré-tratamento e a bomba de alta pressão para as membranas. A unidade fotovoltaica fornecerá energia para duas bombas: a bomba de alimentação do depósito para o pré-tratamento e a bomba de alta pressão para as membranas.

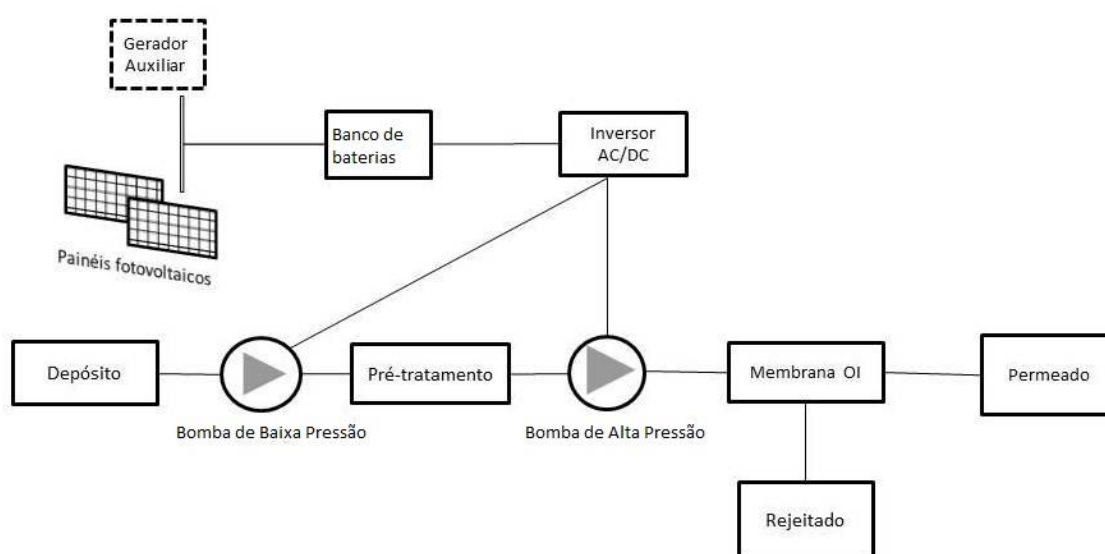


Figura 7.6 Esquema geral do pré-dimensionamento do sistema PV-OI. Fonte: Adaptado de Ghermandi, Messalem, 2009

### 7.2.1 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA DE OSMOSE INVERSA

Pretende-se dimensionar um sistema de osmose inversa de pequena escala a ser implementado na zona de Praia-Baixo. Para o efeito, teve-se em consideração os seguintes pressupostos:

- a água de alimentação do sistema será diretamente captada no mar, admitindo que a condutividade da água é de  $50\text{ mS/cm}$
- Produção diária de  $1\text{m}^3$  de água potável

Também foram admitidos os dados presentes na tabela 7.1, de forma a efetuar os cálculos necessários para o dimensionamento.

Tabela 7.1 Dados de Dimensionamentos FONTE: Macedo *et al*, 2010

<b>Caudal de circulação (<math>q_{circ}</math>)</b>	10 L/min
<b>Diferença de pressão (<math>\Delta P</math>)</b>	55 bar
<b>Coefficiente de rejeição das membranas (<math>R_j</math>)</b>	99,5%
<b>Eficiência da bomba (<math>\mu</math>)</b>	0,65
<b>Taxa de recuperação (TR)</b>	0,3 /0,4 /0,5 <sup>1</sup>
<b>Perda de carga no módulo (<math>\Delta P_{perda}</math>)</b>	2 bar/m <sup>2</sup>
<b>Permeabilidade da membrana à água pura (<math>L_p</math>)</b>	3,94 L m <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup> bar <sup>-1</sup>
<b>Temperatura</b>	30°C
<b>Densidade <math>\rho</math> (30°C)</b>	995,46 kg/m <sup>3</sup>

<sup>1</sup> Simulação de três taxas de recuperação para constatar a mais favorável

Inicialmente calculou-se a concentração de cloreto de sódio (NaCl) na água do mar para utilizar posteriormente, segundo uma reta de calibração obtida experimentalmente em (Macedo,2010):

$$C_{NaCl} = 0,6823 \times X - 0,4037 \text{ (kg/m}^3\text{)}$$

Onde X = condutividade da água em mS/cm

Substituindo o X,

$$C_{NaCl}(\text{kg/m}^3) = 0,6823 \times 50 - 0,4037 = 33,71 \text{ kg/m}^3 = 33711 \text{ ppm}$$

Em seguida calculou-se a concentração no permeado ( $C_p$ ) e a concentração do rejeitado ( $C_R$ ) através das equações de Mulder, respetivamente:

$$C_p = \left( \frac{C_a}{TR} \right) \times [1 - (1 - TR)^{1-R}]$$

$$C_R = C_a \times (1 - TR)^{-R}$$

Onde:  $C_a$  = concentração da água de alimentação;

TR = taxa de recuperação;

R: coeficiente de rejeição

A partir das concentrações na alimentação e no rejeitado, calculou-se as pressões osmóticas ( $\Delta\pi$ ) na alimentação e no rejeitado, utilizando a equação de Van't Hoff

$$\Delta\pi = R \times T \times C \times \frac{n}{M} \text{ (Pa)}$$

onde :  $R = 8,314 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$

T é a temperatura de trabalho em K

C é a concentração de NaCl em  $\text{g m}^{-3}$

n é o nº de íões dissociados por mole do sal, sendo neste caso  $n=2$

M é a massa molar do NaCl =  $58,5 \text{ g mol}^{-1}$

A partir da equação de Hagen-Poiseuille, calculou-se o fluxo de permeado ( $J_p$ ) em volume:

$$J_p = L_p \times (\Delta P - \Delta\pi) \quad \text{l h}^{-1} \text{ m}^{-2}$$

Onde,  $L_p$ = permeabilidade da membrana;

$\Delta P$ =diferença de pressão;

$\Delta\pi$ = diferença de pressão osmótica entre a alimentação e o permeado

Assim, tendo em conta as três taxas de recuperação, obteve-se os seguintes resultados:

Tabela 7.2 Resultados dos cálculos efetuados para cada taxa de recuperação

Parâmetros de dimensionamento	Unidades	0,3	0,4	0,5
Concentração rejeitado, $C_R$	Ppm	48073	56042	67189
Concentração permeado, $C_p$	Ppm	200	215	233
P. osmótica alimentação $\Delta\pi_a$	Bar	29,0	29,0	29,0
P. osmótica rejeitado, $\Delta\pi_r$	Bar	41,4	48,3	57,9
$\Delta\pi$ (valor médio)	Bar	35,2	38,6	43,4
Fluxo de permeado, $J_p$	$\text{l/h.m}^2$	78,0	64,4	45,5
Fluxo de permeado, $J_p$	$\text{l/h.m}^2$	77,6	64,1	45,3
Caudal de alimentação, $q_a$	L/dia	3333	2500	2000
Perda de carga módulo, $\Delta P_{\text{perda}}$	$\text{bar/m}^2$	2	2	2
Caudal de circulação	L/min	10	10	10

Por último efetuou-se o cálculo dos seguintes parâmetros (Macedo,2010) obtendo-se os valores apresentados na tabela 7.3:

### Área da membrana ( $A_m$ )

$$A_m = \left( \frac{q_a \times FR}{J_p} \right) * \left( \frac{\rho}{24 \times 1000} \right) \text{ m}^2$$

Onde,  $q_a$  – caudal de alimentação

FR – taxa de recuperação

$\rho$  – densidade a 30°C

### Energia de Bombagem ( $E_{\Delta P}$ )

$$E_{\Delta P} = \left( \frac{\Delta P \times q_a}{\mu} \right) \times \Delta t \times \left( \frac{1}{(240 \times 3600)} \right) \text{ kWh}$$

Onde:

$\Delta P$  - diferença de pressão

$q_a$  . caudal de alimentação

$\mu$  - eficiência da bomba

$\Delta t$  – intervalo de tempo

### Energia de circulação ( $E_{\text{circ}^\circ}$ )

$$E_{\text{circ}^\circ} = \left( \frac{\Delta P_{\text{perda}} \times A_m \times q_{\text{circ}}}{600 \times \mu} \right) \times \Delta t \text{ kWh}$$

Onde:

$\Delta P_{\text{perda}}$  – Perda de carga no módulo

$A_m$  . área da membrana

$\mu$  - eficiência da bomba

$\Delta t$  – intervalo de tempo

Tabela 7.3 Resultados do dimensionamento para cada taxa de recuperação

<b>Dimensionamento</b>	<b>0,3</b>	<b>0,4</b>	<b>0,5</b>
Área de membrana (m <sup>2</sup> )	0,53	0,65	0,92
Energia de bombagem (kWh)	0,326	0,245	0,196
Energia de circulação (kWh)	0,027	0,033	0,047

De acordo com Mulder, uma água potável deverá ter um teor de sólidos dissolvidos totais, expressos como NaCl <250 ppm. Como se pode verificar na tabela 7.2, a concentração de NaCl no permeado é sempre inferior a este valor, pelo que pode admitir que a água resultante é potável, para qualquer uma das taxas de recuperação.

Como o caudal de permeado que se pretende obter por dia é muito pequeno (1000 l/dia), a área de membrana necessária é baixa, assim como a energia gasta. A taxa de recuperação de 0,3 (30%) parece ser a mais favorável, pois permite obter uma água potável com uma área de membrana menor e menor consumo de energia. Além disso, como os fluxos de permeado são mais elevados, o tempo de operação é menor.

Para definir o pré-tratamento e o pós-tratamento mais adequado para este sistema OI, seria necessário fazer a caracterização analítica da água a nível físico-químico e a nível microbiológico.

## 7.2.2 PRÉ-DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA FOTOVOLTAICO

Para um sistema isolado, o critério de dimensionamento é a radiação disponível no mês com menos insolação, de forma a assegurar o abastecimento durante todo o ano (Castro,2009) e o potencial fotovoltaico é determinado a partir da radiação incidente na superfície com orientação e inclinação ótimas. (GESTO,2011)

No entanto, para a análise do sistema, verificou-se que a carência dados sobre a radiação solar global no plano horizontal em Cabo Verde, particularmente no local do estudo de caso (S. Domingos) por isso houve necessidade de proceder a uma estimativa do recurso a partir dos dados de insolação fornecidos pelo Instituto Nacional de Meteorologia para os períodos 19881-2004 (em ANEXO).

Assim, optou-se por consultar uma base de dados de irradiação solar através de medição por satélite, disponibilizada pela NASA para a localização da cidade da Praia (14° 55' 15" N, 23° 30' 30" W) que nos permitiu aceder ao valor de médio diário da energia solar incidente à superfície por  $m^2$  ( $H_0$ ), do índice de claridade da atmosfera ( $K_t$ ) e da energia solar incidente fora da atmosfera por  $m^2$  ( $H_g$ ).

Os dados recolhidos na fonte da NASA estão representados no Tabela 7.4, a qual foi acrescida a coluna da fração solar, que corresponde à razão entre a insolação média diária medida pelos serviços meteorológicos de Cabo Verde (INM) e a duração solar média avaliada por algoritmo de cálculo, e que em conjunto serviram como base para o algoritmo de análise de cálculo do sistema energético.

Tabela 7.4 Parâmetros utilizados no algoritmo de cálculo FONTE: NASA

<b><math>H_0</math> (NASA)</b> <b>kWh/m<sup>2</sup>/dia</b>	<b>Fração</b> <b>solar</b>	<b><math>k_t</math> (NASA)</b>	<b><math>H_g</math> (NASA)</b> <b>kWh /m<sup>2</sup>/dia</b>
8,28	0,57	0,61	5,05
9,16	0,67	0,63	5,77
10,08	0,67	0,66	6,65
10,59	0,74	0,66	6,99
10,83	0,73	0,65	7,04
10,74	0,65	0,61	6,55
10,84	0,53	0,58	6,29
10,64	0,50	0,59	6,28
10,29	0,57	0,59	6,07
9,36	0,62	0,61	5,71
8,49	0,61	0,59	5,01
7,93	0,54	0,6	4,76
9,69	0,62	0,62	6,01

$$\text{Fração solar (f)} = \frac{n}{N}$$

Onde n = Horas de sol medidas mensalmente; N = Horas mensais

$$\text{Índice de Claridade}(k_t) = \frac{H_g}{H_o}$$

Onde,  $H_g$  é a radiação total diária na superfície terrestre (kWh /m<sup>2</sup>/dia);

$H_o$  é a radiação extraterrestre (kWh /m<sup>2</sup>/dia)

Para refletir na análise energética os dados locais de insolação, optou-se por correlacionar os dados da fração solar com um índice de claridade modificado  $kt^*$ , através de uma função de ajuste. Esse novo índice de claridade foi utilizado na fórmula anterior de forma a calcular-se o valor de radiação total diária ( $H_g$ ). Os resultados obtidos apresentam-se na Tabela 7.5, e foi avaliado uma majorante de erro não superior a 10%

Tabela 7.5 Valores do índice de claridade e da radiação total diária

$kt^*$	$H_g^*$ kWh /m <sup>2</sup> /dia
0,57	4,75
0,58	5,32
0,58	5,86
0,59	6,21
0,59	6,34
0,58	6,23
0,57	6,18
0,57	6,04
0,57	5,90
0,58	5,41
0,58	4,90
0,57	4,53
0,58	5,60

Os resultados obtidos permitiram construir um ficheiro de dados baseado numa estimativa de valores médios diários de radiação solar global, no formato ajustado ao algoritmo de análise do programa Solterm, para posterior avaliação de desempenho da instalação fotovoltaica conectada ao sistema de osmose inversa para dessalinização de água no local de Praia Baixo, concelho de S. Domingos.

### 7.2.2.1 Análise de desempenho energética – simulação SolTerm

#### SolTerm

SolTerm é um programa informático, desenvolvido pelo LNEG, para a análise de desempenho de sistemas solares térmicos e fotovoltaicos. Esta análise de desempenho é realizada através da personalização de um conjunto de parâmetros que conduz a uma simulação energética com base em balanço energético. Este software permite ainda obter uma análise de benefícios energia-ambiente, nomeadamente, qual o consumo de energia fóssil e das emissões de gases com efeito estufa evitados pelo uso de sistemas solares.

No âmbito deste trabalho, o programa SolTerm, será utilizado como ferramenta de apoio ao estudo de viabilidade de aplicação da energia solar, e a partir dos resultados das simulações, tentar-se-á justificar o pré-dimensionamento do sistema solar fotovoltaico.

Neste sentido, os desempenhos dos sistemas solares são efetuados através de simulações com base nos seguintes dados, que farão parte da seleção a efetuar através da base de dados associada:

- Climatologia do local: nomeadamente, as médias mensais dos valores diários da temperatura ambiente, da velocidade do vento e da irradiação global na horizontal, ou da insolação.
  - O cálculo da irradiação solar no plano dos módulos, é efetuado a partir dos dados médios de irradiação solar na horizontal ou da insolação par ao local onde se pretende instalar o sistema.
- Carga do sistema através da intensidade de consumo e do número de horas média diário previsto para o funcionamento do sistema
- Tipos de equipamentos de conversão e controlo a utilizar, designadamente rendimentos e características elétricas.
  - A energia requerida do sistema a ser produzida pelo sistema é maior do que a energia necessária ao consumo, uma vez que os equipamentos de conversão e controlo possuem rendimentos inferiores a 100%.

No caso da vertente fotovoltaica do programa Solterm existem três tipologias de sistemas que se podem analisar: o sistema autónomo com ou sem apoio e ou sistema de baixa tensão ligado à rede.

Para a simulação que se pretende fazer é fundamental caracterizar ou personalizar cada interface do sistema (Fig. 6.2):

1. Painel Fotovoltaico

Nesta interface escolhe-se o número de módulos que constituem o painel, especificando a tensão nominal a que opera o sistema do modelo do módulo a utilizar, e a orientação do painel (inclinação em relação à horizontal e azimute, sendo 0° a direção Sul). O SolTerm tem na sua base de dados, alguns modelos de módulos existentes no mercado português, que podem ser utilizados.

2. Gerador auxiliar

O Programa permite especificar a potência nominal de um gerador auxiliar a diesel, isto para os sistemas autónomos.

3. Controlador

É necessário especificar uma estratégia de controlo para o uso da bateria e a intervenção do gerador auxiliar. Para o caso da bateria, pede-se o limiar de descarga profundo que se condissera ser aceitável. No caso do gerador auxiliar, pode-se escolher as seguintes opções: continuar a operar até deixar a bateria completamente carregada, meio carregada, ou operar até que haja possibilidade de voltar a ligar à carga sem intervenção do gerador auxiliar;

4. Armazenamento em acumuladores

Para os sistemas com armazenamento de energia, esta interface, permite selecionar o modelo de acumulador ou editá-los. O número de acumuladores agrupados em serie escolhe-se em função da tensão nominal do sistema.

5. Inversor de corrente contínua em corrente alternada

Como referido anteriormente, a ligação ao consumo é efetuada via um inversor CC/CA. O software tem na sua base de dados alguns exemplos típicos de inversores ou podem ser editados, no que diz respeito à potência nominal e à eficiência nas condições mencionadas.

6. Cargas elétricas que significam o consumo dos sistemas

Esta interface é uma das mais importantes, uma vez que a informação sobre os consumos são fundamentais para analisar o desempenho do sistema solar. Contudo esta vertente refere-se a uma utilização futura sujeita a variações, por isso, torna-se uma fonte de incerteza para a estimativa de desempenho.

Existem perfis de consumos no programa, mas podem ser editados consoante a preferência do utilizador, e incluem o consumo absoluto efetuado em cada hora (1Wh) e a hora solar.

Após a introdução dos pressupostos para analisar o desempenho do sistema fotovoltaico, obtém-se um relatório com dados de estimativa de funcionamento (output) onde estão apresentados os valores mensais dos balanços energéticos:

- E(rad) - energia média diária (kWh) relativa à radiação global no plano inclinado do painel fotovoltaico no plano inclinado.
- E(PV) - energia média diária relativa à radiação solar global convertida pelos módulos fotovoltaicos (kWh)
- E(exc)- energia média diária que o painel converte mas que o sistema tem de dissipar por falta de utilização de carga. Esta dissipação ocorre quando a capacidade máxima de armazenamento foi alcançada e há radiação solar disponível mas não há solicitação de consumo (kWh)
- E(apoio)- energia média diária fornecida para consumo pelo sistema de apoio, complementando a energia fornecida pelo sistema fotovoltaico (PV). É a energia final útil, em kWh
- Carga – valor diário de energia solicitada para consumo em kWh

O primeiro passo para a simulação foi selecionar o conjunto de acumuladores (a bateria) de forma a garantir uma autonomia de operação no caso em que não exista radiação solar disponível ou o sistema fotovoltaico deixar de funcionar por avaria. Admitindo que os acumuladores deverão ter capacidade de operar no máximo de 5 dias até se descarregarem abaixo do limite de operacionalidade (60%da carga), selecionaram-se dois acumuladores, com 24 elementos organizados em grupos de 12 com as seguintes características:

- ✓ Tensão nominal a corrente contínua: 24 V
- ✓ Capacidade nominal (C100): 1080 Ah
- ✓ Autonomia média nos meses de mais baixa insolação (Inverno): 4,6 dias seguidos

Embora o dimensionamento tenha considerado dois acumuladores, do ponto de vista do funcionamento do sistema, não deixa de ser necessário ter em conta que pode haver algum problema de avaria. De forma a prevenir esta situação, optou-se por

considerar a inclusão de um terceiro acumulador de forma a garantir a continuidade do sistema. O aumento de mais uma bateria, aumentou também a autonomia média para sete dias seguidos de inoperação do sistema fotovoltaico.

Após a seleção da bateria, estabeleceram-se dois tipos de cenários para a simulação:

- Cenário 1: sistema fotovoltaico sem apoio (completamente autónomo);
- Cenário 2: sistema fotovoltaico com gerador auxiliar.

Tendo em conta a prévia avaliação de consumo energético total do sistema de osmose inversa, estabeleceu-se, assim, a estimativa de consumo diário de 700Wh durante oito horas seguidas.

### Cenário 1

Neste cenário o sistema fotovoltaico é composto apenas pelos painéis solares e o banco de baterias (fig.7.7). Para tal, utilizou-se a estimativa da carga total diária de 5600Wh, utilizada de forma constante durante todo o ano, tal como representado na figura 7.7b

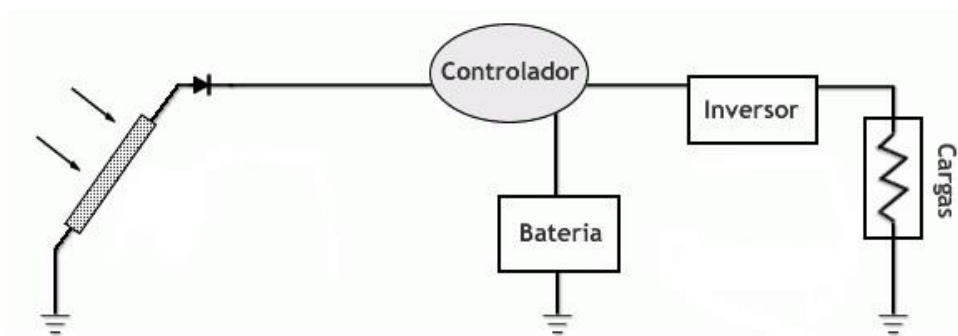


Figura 7.7a Sistema Fotovoltaico sem apoio Fonte: SolTerm

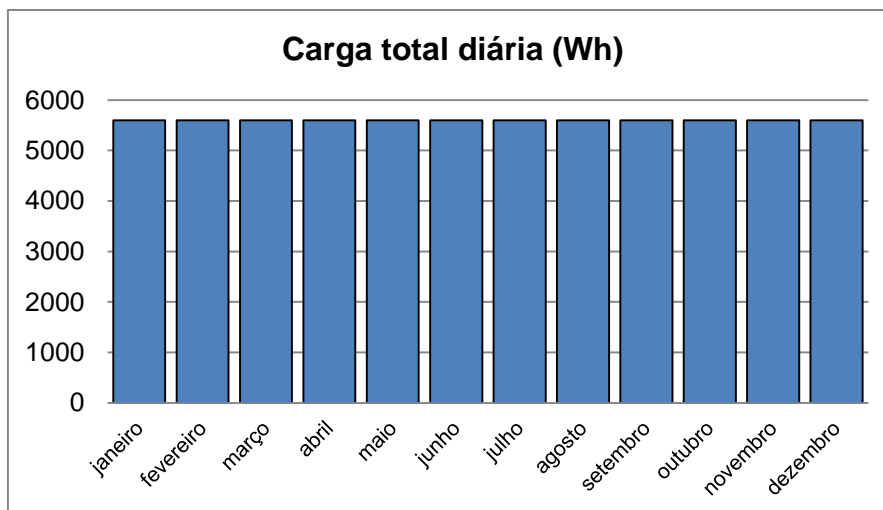


Figura 7.7b Carga total diária para o sistema fotovoltaico sem apoio

Em seguida, tendo em conta as necessidades de carga, e co base no relatório energético do programa Solterm, ajustou-se à carga a potência do sistema fotovoltaico necessária, admitindo a potência nominal de 2,2kW, relativos à seleção de 14 módulos com cerca de 157kWp cada perfazendo uma área de 17,6m<sup>2</sup>.

No entanto, a mesma análise energética, avaliou que a probabilidade de perda de carga de 0,68% não cumpria a gama de valores típicos entre 1-5% verificando-se que existe demasiada energia solar desperdiçada. Nestas condições de dimensionamento conclui-se que o sistema estará sobredimensionado.

Em alternativa a este sobredimensionamento, optou-se por diminuir a potência da instalação fotovoltaica para os 1,9kW e conseqüentemente a redução de módulos para 12 (área resultante de 15m<sup>2</sup>). Nestas condições, a análise energética efetuada apresenta uma perda de carga de 2,8%, um rendimento de 7,3% e uma produtividade de 1047Wh/Wp, que em conjunto com outros parâmetros, encontram-se representados na fig.7.8. Estes valores estão dentro da gama de valores recomendados para o dimensionamento correto.

**Praia-Cv**  
**Projecto: CaboVerde**

**Desempenho do sistema fotovoltaico**

	E (rad) kWh	E (PV) kWh	E (exc) kWh	E (sist) kWh	Carga kWh
Janeiro	2186	229	33,4	174	174
Fevereiro	2069	216	40,8	157	157
Março	2649	280	73,3	174	174
Abril	2668	274	83,1	168	168
Mai	2634	273	76,	174	174
Junho	2292	248	54,2	168	168
Julho	2279	245	49,3	165	174
Agosto	2352	252	54,8	166	174
Setembro	2221	237	46,4	161	168
Outubro	2106	228	35,4	167	174
Novembro	2062	222	25,9	160	168
Dezembro	1868	202	6,6	166	174
Anual	27388	2907	579,4	1999	2044

Probabilidade de perda de carga: 2,8%  
Rendimento global: 7,3%    Produtividade: 1047 Wh/Wp

Figura 7.8 Output da análise energética para um sistema fotovoltaico sem apoio e carga constante

Do ponto de vista ambiental o programa considera que nestas condições estabelecidas, o consumo de energia primária de origem fóssil evitada é de 467MWh/ano e as emissões de gases com efeito estufa (GEE) evitados correspondem a 124 kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ano (SolTerm,2013)

### Cenário 2

Neste segundo cenário, o sistema fotovoltaico tem um sistema de apoio, um gerador auxiliar de 500W (alimentado por combustível fóssil) que garante o funcionamento contínuo do sistema, sem que haja perdas de carga. Numa primeira fase estabeleceu-se as mesmas condições de consumo que no cenário 1, ou seja, um consumo constante ao longo do ano e a potência nominal dos painéis de 1,9kW.

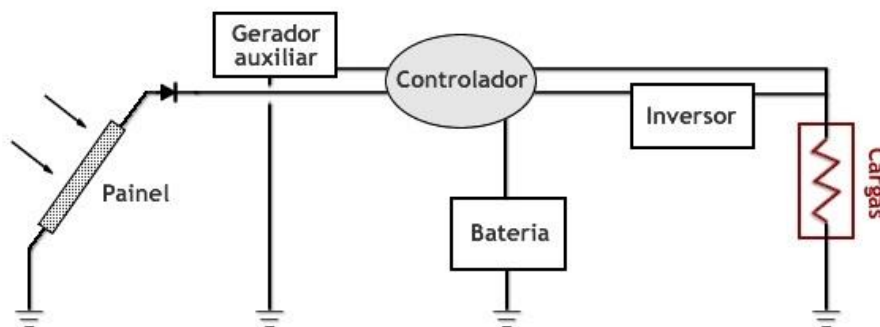


Figura 7.9 Esquema do Sistema Fotovoltaico com apoio FONTE: SolTerm

Obteve-se a análise energética representada na figura 7.10, que mostra que o gerador auxiliar aumentou significativamente a produtividade para 1060 Wh/Wp. No que diz respeito à sua contribuição do, esta deverá estar entre 1 e 10%, pois abaixo de 1% e acima de 10% o sistema estará sobre e subdimensionado, respetivamente. Como se pode verificar, nos resultados obtidos a contribuição do gerador auxiliar está dentro da gama dos valores aceitáveis (1,3%).

Em termos de análise ambiental, o fato de haver um gerador a combustível fóssil apenas aumentou as emissões de GEE em 2kg de CO<sub>2</sub> equivalente/ano.

Desempenho do sistema fotovoltaico		Praia-Cv Projecto: CaboVerde2				
	E (rad)	E (PV)	E (exc)	E (apoio)	Carga	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janeiro	2186	229	27	,5	174	
Fevereiro	2069	216	41	,	157	
Março	2649	280	73	,	174	
Abril	2668	274	83	,	168	
Mai	2634	273	76	,	174	
Junho	2292	248	54	,	168	
Julho	2279	245	49	5	174	
Agosto	2352	252	54	4	174	
Setembro	2221	237	46	4	168	
Outubro	2106	228	36	4	174	
Novembro	2062	222	27	6	168	
Dezembro	1868	202	7	5	174	
Anual	27388	2907	573	28	2044	

O gerador de apoio fornece 1,3% da carga.  
Rendimento global: 7,4%      Produtividade: 1060 Wh/Wp

Figura 7.10 Output da análise energética para um sistema fotovoltaico com apoio e carga constante

Numa segunda fase, resolveu-se variar a carga total diária, aumentando o consumo de 8h para 10h nos meses de maior irradiação solar representado no diagrama de carga na fig. 7.11, com o objetivo de diminuir a energia dissipada.

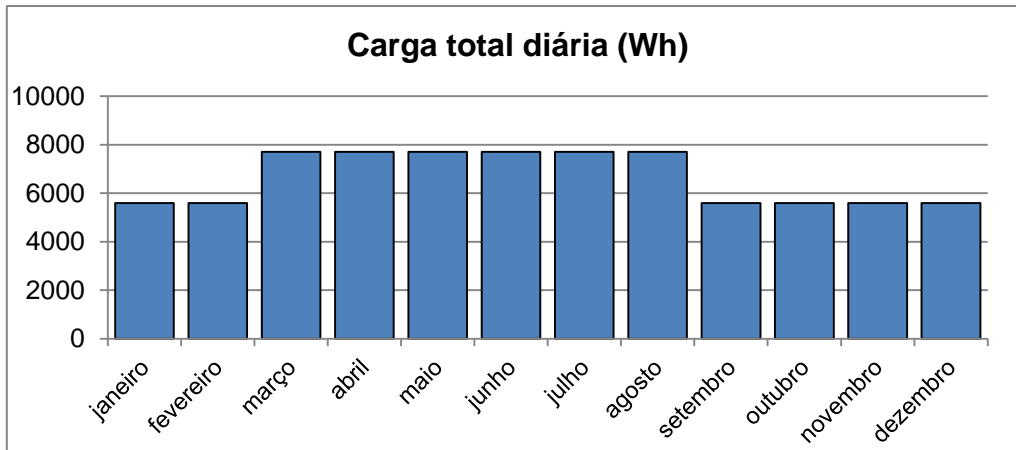


Figura 7.11 Carga total diária variável ao longo do ano

A análise energética obtida para estas condições (fig.7.12) indica que ao fazer variar as cargas em função da irradiação, pode-se aumentar a eficiência do sistema, por se diminuir a energia dissipada pelos painéis e aumentando o rendimento do sistema. Apesar de a contribuição do gerador ter aumentado para 2,2%, este continua dentro dos valores aceitáveis para dimensionamento. Assim obteve-se uma produtividade de 1163 Wh/Wp e um rendimento global de 8,1%.

A nível dos benefícios ambientais, verificou-se um consumo de energia fóssil evitado de 516MWh/ano, e em relação às emissões de GEE evitou-se 137kg CO<sub>2</sub> equivalente/ano.

Desempenho do sistema fotovoltaico		Praia-Cv Projecto: CaboVerde2				
	E(rad)	E(PV)	E(exc)	E(apoio)	Carga	
	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	
Janeiro	2186	229	27	,5	174	
Fevereiro	2069	216	41	,	157	
Março	2649	280	24	4	217	
Abril	2668	274	31	,	210	
Mai	2634	273	22	,	217	
Junho	2292	248	12	9	210	
Julho	2279	245	32	9	192	
Agosto	2352	252	34	9	195	
Setembro	2221	237	46	4	168	
Outubro	2106	228	36	4	174	
Novembro	2062	222	27	6	168	
Dezembro	1868	202	7	5	174	
Anual	27388	2907	337	50	2255	

O gerador de apoio fornece 2,2% da carga.  
Rendimento global: 8,1%      Produtividade: 1163 Wh/Wp

Figura 7.12 Output da análise energética para um sistema fotovoltaico com apoio e carga variável

### 7.2.2.2 Resultados

Para o pré-dimensionamento do sistema PV a ligar ao sistema OI, baseado nas simulações e considerando o cenário 2, surge o seguinte projeto fotovoltaico:

- 12 módulos com potência nominal de 1,9kW e uma área de 15,1m<sup>2</sup>;
- 36 baterias organizadas em 12 grupos com 3 baterias em cada. Autonomia média no Inverno: 6,9 dias
- Gerador de apoio ( ex: a gasolina) de 500 W
- Consumo de 700Wh durante 8h nos meses de Janeiro, Fevereiro, Setembro, Novembro, Outubro e Dezembro; durante 10h nos meses de Março, Abril, Maio, Junho, Julho e Agosto

Assim, após o pré-dimensionamento através das duas tecnologias, OI e PV, obtém-se um sistema autónomo e descentralizado para produção e água potável, tal como mostra o esquema seguinte (Fig.7.13):

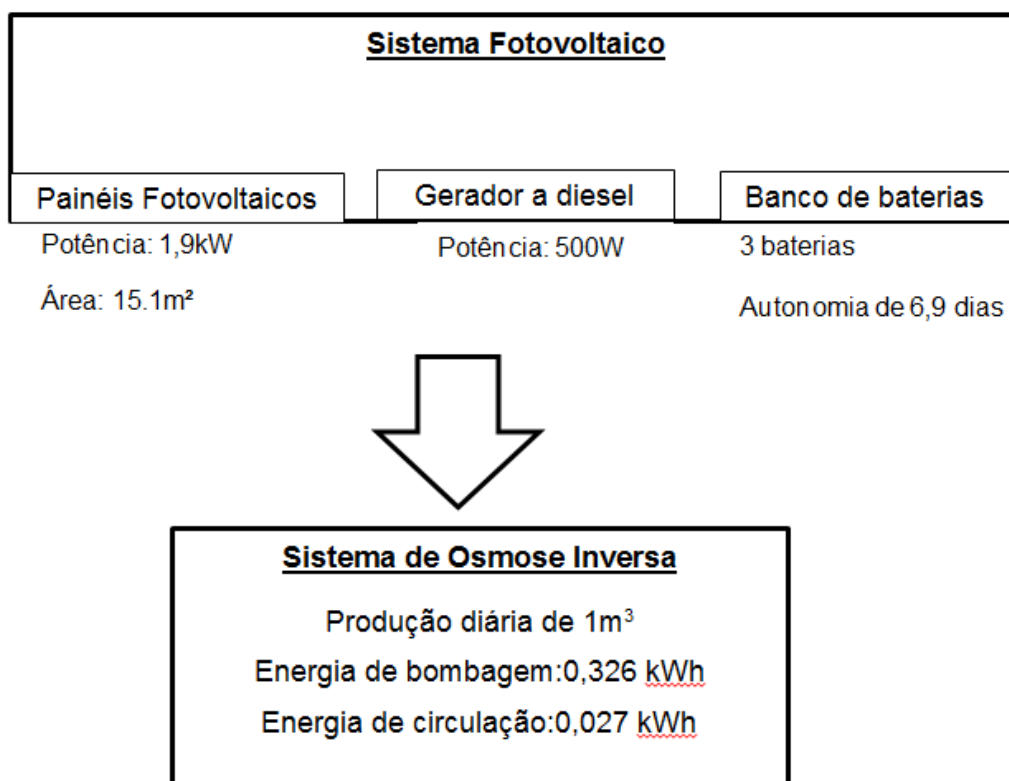


Figura 7.13 Esquema do Pré-dimensionamento do sistema OI-PV2

## 8 CONCLUSÃO

Durante a realização deste trabalho pode-se verificar que Cabo Verde está extremamente condicionado no abastecimento de água, como consequência surgem as limitações no desenvolvimento socioeconómico sobretudo nas zonas rurais onde a disponibilidade de água é menor. A energia elétrica também é um dos problemas do país, apesar da produção de energia ser eficaz, há bastante falhas e mais uma vez as zonas rurais são as que mais estão condicionadas neste setor.

Conclui-se ainda que a dessalinização a larga escala no arquipélago não é suficiente para suprir as necessidades de toda a população. Outro problema é a perda da qualidade da água que ocorre desde a distribuição até chegar ao consumidor, ou até mesmo a falta de tratamentos adequados que afetam a saúde pública.

As energias renováveis são uma aposta futura em Cabo Verde e já começam a existir algum investimento nessa área. Contudo as limitações financeiras do País, condicionam o crescimento nesta área. A energia solar tem um potencial enorme no arquipélago, sendo que esta poderá resolver a problemática da eletrificação rural.

Conclui-se, também, que a aplicação de um sistema de dessalinização solar a pequena escala tem a grande vantagem de produzir água de forma autónoma.

Na análise de impactes ambientais, pode-se afirmar que a captação de água diretamente do mar, pode ter efeitos prejudiciais, nomeadamente ao nível dos organismos que podem ser arrastados para o sistema OI exigindo assim um pré-tratamento mais rigoroso. Ao nível da salmoura produzida pelo sistema de osmose inversa, devido à sua elevada concentração de sais, ao ser devolvida ao mar pode causar desequilíbrios com consequências a nível da fauna e flora. No entanto devido à pequena escala do sistema a instalar e à quantidade de água rejeitada o impacte deverá ser menor.

Para uma avaliação mais pormenorizada dos impactes ambientais é necessário uma melhor avaliação das condições do local e estudos de monitorização. Mesmo assim, através do Solterm, conseguiu-se verificar que o sistema fotovoltaico apresenta benefícios ambientais na medida em que evita a utilização intensiva de combustíveis fósseis e consequentemente a emissão de GEE.

Uma vez que as comunidades rurais já estão habituadas a fazerem uma gestão controlada diariamente, considera-se que a aceitação desta tecnologia será positiva,

pois proporcionará uma maior autonomia à comunidade que beneficiará deste sistema por não estando exclusivamente dependentes do sistema convencional de abastecimento, mas também por não precisarem da energia elétrica de rede para alimentar o sistema. Após um pós-tratamento adequado, a dessalinização por osmose inversa produz água pura, com garantias de qualidade da água para consumo humano, que se traduzirá num aumento da qualidade de vida, que não se revela com a falta de qualidade do sistema de abastecimento e distribuição convencional.

A análise económica é um dos pilares do conceito de sustentabilidade e como tal é um aspeto a considerar quando se faz a análise de viabilidade de implementação de uma tecnologia. No entanto por se encontrar fora do âmbito deste trabalho, a análise económica não foi realizada, mas deverá ser tomada em consideração numa etapa seguinte de dimensionamento do sistema.

A principal dificuldade encontrada durante a realização do trabalho foi a distância impossibilitando o trabalho de campo. Esta condicionante fez com que não fosse possível recolher amostras de água do local, de forma a realizarem-se análises físico-químicas e microbiológicas que permitissem fazer um dimensionamento pormenorizado do sistema OI.

Outras das dificuldades encontradas são as seguintes:

- Ausência de informação relacionadas com as localidades mais pequenas em termos de caracterização climática, quantidade de água (caudais, consumos, entre outros);
- Ausência de bases de dados no domínio da água disponíveis para o público, sendo que a maioria da informação recolhida teve base em estudos e teses realizadas para sítios específicos, algum destes já desatualizados;
- Insuficiência de dados sobre a qualidade das águas subterrâneas e superficiais assim como a qualidade da água dessalinizada;

Para trabalhos futuros recomenda-se que seja realizado um estudo de impacte ambiental do projeto e uma análise de viabilidade económica da implementação do sistema OI-PV.

Recomenda-se ainda que sejam propostas melhorias para o sistema de gestão existente, garantindo o abastecimento adequado de água aos cabo-verdianos ao nível

doméstico, industrial e agrícola e assim promover o desenvolvimento sustentável do país.

Espera-se que este trabalho contribua para a realização de outros trabalhos que ajudem a contribuir para a melhoria do abastecimento sustentável de água em Cabo Verde e da melhoria da qualidade de vida da população.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R. (Junho de 2012). Manual SolTerm 5.1.4. LNEG.
- Araújo, A. (2013). *Contribuição para o Estudo da Viabilidade/Sustentabilidade da Dessalinização enquanto Técnica de Tratamento de Água*. Faculdade de Ciências e Tecnologia: Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia do Ambiente, Perfil Engenharia Sanitária.
- Barreto, G. (2008). *A Problemática da Desertificação - Caso de Estudo Município de São Domingos*. Instituto Nacional de Investigação e Desenvolvimento Agrário (INIDA) - Centro de Formação Agrária(CFA): Monografia para obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia do Ambiente.
- Bebiano, M. J. (2007). *Introdução às Ciências do Mar: Módulo- Oceanografia Química*. Faro.
- Bilton A. M., W. R. (2011). On the feasibility of community-scale photovoltaic-powered reverse osmosis desalination systems for remote locations.
- CAECI , C. (1999). Produccion de Agua Potable para Pequeno Grupos Humanos. / *Jornadas Iberomericanas de Energias Renovables*. Santa Cruz dela Sierra, Bolivia: Programa de Ciencia y Tenologia para el Desarrollo (CYTED).
- Castro, C. (2011). *Uma Introdução às Energias Renováveis: Eólica, Fotovoltaica e Mini-hídrica. Capítulo 7 e 8*. Lisboa: IST Press.
- Clarke, D., & Y.M Al-Abdlei, G. K. (2013). The effects of including intricacies in the modelling of a small-scale solar-PV reverse osmosis desalination system.
- Correia, C. (2008). *Projecto “Berlenga – Laboratório de Sustentabilidade” - Soluções de Abastecimento de Água e Saneamento*. Faculdade de Ciências e Tecnologia: Dissertação a obtenção do grau de Mestre em Engenharia do Ambiente – Perfil Engenharia Sanitária.
- Decreto-Lei nº8/2204, 2. (s.d.). Estabelece os critérios e normas de qualidade da água e sua classificação.
- El-Dessouky H.T., E. H. (2002). *Fundamentals of Salt Water Desalination*. Amesterdam: Elsevier Science B.V.
- ELECTRA. (2010). Desafios da Gestão da água em Cabo Verde. *Jornada Técnica de Intercâmbio de Experiências Canario-Caboverdianas em Planificação e Gestão Sustentável da Água*.
- ELECTRA. (2012). *Empresa de Electricidade e Água, SARL – Cabo Verde. Relatório e Contas 2011*.
- El-Ghonenmy, A. (2012). Water desalination systems powered by renewable energy sources: Review.

- FAOWater. (s.d.). *Water Scarcity*. Obtido em 30 de Agosto de 2013, de [http://www.fao.org/nr/water/topics\\_scarcity.html](http://www.fao.org/nr/water/topics_scarcity.html)
- Gesto, E. (2011). *Estudo do recurso solar - Plano Energético Renovável Cabo Verde*.
- Ghermandi, A., & Messalem, R. (2009). Solar-driven desalination with reverse osmosis: the state of the art.
- Gilberto Martel Rogríguez, B. P. (2011). *APOYO A LA PLANIFICACIÓN DE LOS SECTORES DE LA ENERGÍA Y EL AGUA PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE DE CABO VERDE- PROYECTO PECAVE*. Obtido em Fevereiro de 2013
- Gominho, M. (2010). *Gestão dos Recursos Hídricos no Processo de Desenvolvimento Sustentável de Cabo Verde: Uma Proposta*. ISCTE, Business School, Departamento de Gestão: Projeto de Mestrado em Gestão de Empresas.
- Heitor, A., & Pina, A. (2003). Águas subterrâneas em Cabo Verde - Qualidade da Água na Ilha de Santiago. *6ª SILUBSA- Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*.
- INGRH. (2010). PAGIRE- Volume I :Diagnostico da situação dos recursos hídricos e do seu quadro de gestão.
- Instituto Tecnológico de Canárias, I. (s.d.). Obtido em 22 de Março de 2013, de <http://www.itccanarias.org/web/tecnologias/agua/dessol.jsp?lang=en>
- Kennish, M. (2001). *Practical Handbook of Marine Science - Third Edition*. New Jersey,.
- Laranjeira, C. (2010). *Estudo Numérico dos Escoamentos em Canais de Dessalinização por Osmose*. UNIVERSIDADE DE TRÁS-OS-MONTES E ALTO DOURO: DISSERTAÇÃO PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL.
- Lattermann, S., & Hopner, T. (2007). Environmental impact and impact assessment of seawater desalination.
- Lei nº 41/II/84 de 18 de Junho, c. a.-L. (s.d.). Código da Água.
- Lopes, J. (2002). *Economia de água no Desenvolvimento de Agricultura na Bacia Hidrográfica de São Domingos*. Instituto Superior de Agronomia: Relatório final para Bachelato em Agro-Economia e Desenvolvimento Rural.
- MAAP, D. (2004). *Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde*.
- Macedo, A. (2010). *Fracionamento de Lactosoro de Ovelha por Tecnologias de Membranas e Estudo das Possíveis Utilizações dos Concentrados Obtidos*. Instituto Superior de Agronomia: Tese para obtenção do grau de Doutor em Engenharia Agro-Industrial.
- Mathioulakis E., B. V. (2007). Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art.

- MONTEIRO, A. D. (2012). *O impacto das energias renováveis na economia dos países emergentes: o caso de Cabo Verde*. Lisboa: ISCTE-IUL: Dissertação de mestrado.
- Mulder, M. (1996). *Basic principles of Membrane Technology, 2 nd Ed.* Dordrecht, The Netherland: Kluwer Academic Publishers.
- National Research, C. (2008). *Desalination: A National Perspective. Comitee on Advancing Desalination*. Washington, D.C.
- Peñate, B. e.-R. (2012). Current trends and future prospects in the desing of seaater reverse osmosis desalination technology.
- Pereira, F., & Oliveira, M. (2011). *Curso Técnico Instalador de Energia Solar Fotovoltaica*. Publindústria.
- Pérez-González A., U. A. (Julho de 2011). State of the art and review on the treatment technologies of water reverse osmosis concentrates.
- Pinho M. N., G. V. (2002). Dimensionamento e Optimização de Equipamentos. In *Integração de operações de membranas em processos químicos*.
- PRODES, Papapetrou, M., Wieghaus, M., & C.Biercamp. (2010). *Roadmap for the Development of Desalination Powerd by Renewable Energy*. Europe: Fraunhofer Verlag.
- Rodrigues, N. . (2003). Sistemas Híbridos na Electrificação Rural com Micro-Redes. In *Revista de Energia Renováveis e Ambiente - O Solar Fotovoltaico em Portugal: situação actual e prespectivas*. Orgão da Sociedade Portuguesa de Energia Solar.
- Soric, A., Cesaro, R., P.Perez, E.Guiol, & P.Moulin. (2012). Eausmose project desalination by reverse osmosis and batteryless solar energy: design for 1 m3 per day delivery.
- Szacsvay T., P. M. (2001). Distillation desalination systems powers by waste heat from combined power generatio units.
- Tavares, C. (2008). Dinâmica Populacional e Desenvolvimento Local - Caso de São Domingos, entre 1990 e 2000. Trabalho Cientifico para a obtenção do grau de Licenciatura em Geografia: Instituto Superior de Educação.
- Ventura, J. E., & Mascarenhas, J. M. (s.d.). *A problemática dos recusros hídricos em Santiago*. Obtido em 30 de Abril de 2013, de <http://www.apdr.pt/congresso/2009/pdf/Sess%C3%A3o%205/200A.pdf>
- World Health, O. (2007). *Desalination for Safe Water Supply, Guidance for the Health and Environmental*. Geneva, Switzerland: World Health Organization.

## WEBGRAFIA

Associação Nacional dos Municípios Caboverdianos, <http://www.anmcv.com/>, Acesso a 15 de Maio de 2013

Dessalinização na Indústria Hoteleira do Alvor <http://www.goalvor.net/pt/goalvor-news/45-alvor-desalination-going-ahead-in-the-hotel-industry> Acesso a 19 de Julho de 2013

Dessol System, <http://www.drglobe.net/en/dessol-system-2> Acesso a 2 de Setembro de 2013

IGA, Investimento e Gestão da Água S.A, [www.iga.pt](http://www.iga.pt) Acesso a 29 de Agosto de 2013

Sistema de Informação Ambiental, [www.sia.cv](http://www.sia.cv) Acesso a 2 de Abril de 2013

<https://eosweb.larc.nasa.gov> Acesso a 25 de Setembro de 2013

[/http://www.martifer.pt/fotos/noticias/20101102ilhasantiago\\_3035382164e149bd22288b.pdf](http://www.martifer.pt/fotos/noticias/20101102ilhasantiago_3035382164e149bd22288b.pdf) Acesso a 30 de Setembro de 2013

[http://www.martifer.pt/fotos/noticias/20101001ilhasal\\_19731246384e149959c67d0.pdf](http://www.martifer.pt/fotos/noticias/20101001ilhasal_19731246384e149959c67d0.pdf) Acesso a 30 de Setembro de 2013

<http://www.mota-engil.pt/sinergia/43/en/files/assets/basic-html/page43.html> Acesso a 30 de Setembro de 2013

## ANEXOS

Quadro 0.1 Insolação média (horas) mensal se anual – Estação: Praia Aeroporto  
Fonte: INMG-Delegação da Praia

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Media
1971	8,0	9,1	9,2	9,8	10,0	9,1	8,3	5,8	8,3	8,7	7,0		8,5
1973	7,8	6,9	9,1	9,5	9,4	8,4	6,7	5,4	8,3	7,7	7,6	7,2	7,8
1974	7,7	9,1	9,4	10,4	10,1	8,9	**	6,0	7,5	7,9	6,2	2,7	7,8
1975	3,4	8,2	8,6	8,9	9,7	9,1	**	5,8	6,3	7,8	6,7	6,4	7,4
1976	5,2	7,6	7,2	8,5	9,5	8,0	**	7,0	6,5	6,9	7,5	4,4	7,1
1977	7,2	7,6	6,9	9,6	9,2	9,8	7,8	6,2	8,6	7,6	8,3	6,0	7,9
1978	6,5	9,7	7,8	9,8	8,8	5,2	5,5	4,4	7,2	8,4	7,7	7,3	7,4
1979	7,5	10,0	8,0	9,4	9,9	8,6	7,2	7,6	7,9	5,9	**	**	8,2
1980	8,6	8,8	8,7	**	10,0	9,1	7,0	7,3	7,1	7,9	8,0	6,0	8,0
1981	7,0	6,3	9,7	8,8	9,4	9,3	6,1	7,2	7,0	7,2	7,1	6,3	7,6
1982	**	7,5	8,0	8,8	8,8	8,4	6,8	4,9	5,8	6,1	**	5,1	7,0
1983	4,6	9,1	7,3	8,8	8,4	8,1	7,6	**	7,1	7,4	7,2	6,5	7,5
1984	6,1	7,0	8,0	9,4	8,9	8,4	7,5	7,5	6,6	7,2	6,8	6,0	7,4
1985	8,0	7,9	7,0	8,9	9,9	7,5	5,3	6,2	6,6	7,3	8,0	4,6	7,3
1986	4,0	7,9	8,9	8,9	9,7	9,6	7,2	6,7	6,1	6,5	5,2	4,4	7,1
1987	8,0	9,5	9,1	8,4	7,8	8,6	7,6	6,8	6,8	6,1	6,4	7,9	7,8
1988	6,7	5,7	7,6	10,1	9,6	9,1	5,7	5,6	5,9	**	**	5,7	7,2
1989	6,6	6,2	8,5	9,7	9,9	8,6	6,2	5,6	6,7	5,6	6,7	8,2	7,4
1990	4,0	7,2	6,8	8,6	10,0	8,4	7,0	7,3	7,0	6,9	6,3	6,5	7,2
1991	5,4	7,8	9,2	9,7	9,6	8,1	6,1	4,9	6,6	7,5	6,8	4,7	7,2
1992	7,2	7,0	7,5	7,3	8,4	7,1	6,1	7,2	5,9	6,7	5,3	7,0	6,9
1993	4,3	7,7	8,1	8,6	8,4	9,1	6,4	6,1	6,7	7,2	5,8	6,3	7,1
1994	6,2	8,3	8,1	8,7	9,0	8,6	7,6	6,3	5,9	7,6	7,6	5,9	7,5
1995	6,7	7,7	8,1	9,4	10,4	9,5	5,6	6,2	7,0	7,7	7,1	6,7	7,7
1996	8,5	6,1	7,1	9,1	10,1	9,0	7,4	6,3	6,6	7,9	6,7	7,9	7,7
1997	5,3	5,1	5,7	9,7	8,5	7,4	7,4	6,6	7,2	8,4	7,0	7,8	7,2
1998	6,1	9,2	6,7	8,2	8,8	7,5	6,5	6,7	7,0	8,3	7,3	4,9	7,2

\*\*Dados não disponíveis