



Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

***ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO DO PROCESSO DA  
DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR***

**Aristides António Monteiro Santos**

Leiria, *Outubro* de 2013





Mestrado em Engenharia Civil – Construções Civas

***ANÁLISE CUSTO/BENEFÍCIO DO PROCESSO DA  
DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR***

Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Ramo das Construções Civas, apresentada à Escola Superior de Tecnologias e Gestão do Instituto Politécnico de Leiria, sob a orientação do Professor Doutor Ricardo Gomes.

**Aristides António Monteiro Santos**

Leiria, *Outubro* de 2013



À minha mãe Maria de Fátima Monteiro.



## ***AGRADECIMENTOS***

Antes de mais agradeço a Deus por mais uma etapa ultrapassada, com dignidade, de grande aprendizagem, e enriquecimento para a minha vida pessoal e profissional.

À minha mãe Maria de Fátima Monteiro, por tudo que fez, e continua a fazer para que hoje essa conquista fosse possível. Agradecer-lhe por acreditarem mim, me compreender e incentivar a ir cada vez mais além, mesmo que isso constitua grande esforço um grande emocional e financeiro. Obrigada, sobre tudo, pelo teu amor.

Ao meu pai por todo o apoio prestado ao longo da minha vida e pela amizade.

Aos meus familiares em Cabo Verde por todo o apoio, amizade e carinho dispensados em todos os momentos da minha vida e pela compreensão pelas minhas ausências ao longo do meu percurso académico.

Aos meus familiares em Portugal, Holanda e Espanha, pelo acolhimento, apoio, amizade e carinho durante a minha passagem e estadia pela Europa, nomeadamente, a tia Valentina Monteiro, e meus primos Liliana Cruz, Cleo Fernandes, Sandro Mota e meu amigo Fernando Rafael, São Belchior, Pedro Lorenzo, Quim Monteiro e toda a família.

Ao meu orientador, o Professor Doutor Ricardo Gomes, pelo contributo incondicional para que esse trabalho, se efetivasse realmente, na qualidade do orientador pela forma competente e motivadora que demonstrou no decorrer de elaboração deste trabalho, e na qualidade de amigo pelo apoio moral que me deu em momentos de desabafo.

Aos meus amigos e colegas da ESTG/IPL pela amizade, companheirismo e momentos de descontração durante esses dois anos, em especial a Ariene Lopes e Ricardo Silva, muito importantes para a minha fácil integração na cidade e na comunidade académica.

À Sílvia Fernandes pelo companheirismo, carinho e amizade, as caminhadas e os bons momentos que passamos juntos.

Ao Dr. Damiá Pujol da empresa Águas da Ponta Preta SA por se ter disponibilizado a fornecer-me material de apoio.

Ao Eng. José Neves Pujol da empresa ELECTRA SA por se ter disponibilizado a fornecer-me material de apoio.

A todos professores do curso de mestrado em Engenharia Civil pelos conhecimentos transmitidos, pela simpatia e atenção dispensada à minha pessoa.

Aos funcionários do ESTG e SAS do IPL, que sempre foram simpáticos, justos e atenciosos comigo.

Os meus sinceros Muito Obrigado a todos.



## *Resumo*

As previsões mais recentes, e em relação à “crise” da água, apontam para que até ao ano de 2025 quase dois terços da humanidade possa vir a sofrer com a escassez de água potável, afetando praticamente todos os países do mundo, incluindo os países desenvolvidos, a menos que haja uma redução da procura e/ou o desenvolvimento de novas fontes de água potável. Face ao atual panorama mundial de escassez de água potável, devido às alterações climáticas, deficiente gestão e exploração dos recursos hídricos e crescente procura de água para a agricultura, consumo doméstico e industrial, a dessalinização da água do mar apresenta-se como uma solução segura e confiável para fazer face a este problema.

Nesta dissertação são descritas as várias técnicas de dessalinização da água do mar em uso corrente, assim como as novas tecnologias e aplicações futuras. De todas as técnicas, a *Reverse Osmosis* (RO) foi tratada com mais detalhe neste estudo, por ser das técnicas mais utilizadas em todo mundo e porque é a mais promissora em termos de custo/benefício, mesmo em regiões onde antes a sua aplicação era impensável. Esta dissertação foca aspetos importantes relacionados com o processo da dessalinização, nomeadamente, os impactes ambientais e relação custo/benefício associados ao processo, e as perspetivas futuras. Finalmente procedeu-se a uma análise do processo de dessalinização aplicado à situação de Cabo Verde, onde os recursos hídricos de água potável são escassos, e a dessalinização apresenta-se como a principal fonte de água potável para abastecimento público.

**Palavra-Chave:** Análise custo/benefício, Dessalinização, Impactes ambientais, Tecnologias de dessalinização, Setor da água em Cabo Verde.

*(esta página foi deixada propositadamente em branco*

## *Abstract*

The most recent forecasts, and in relation to the "crisis" of the water, pointed out that by the year 2025 almost two thirds of humanity may suffer a shortage of fresh water, affecting virtually every country of the world, including countries developed unless there is a demand reduction and / or the development of new sources of clean fresh water. Face the current world scenario of drinking water shortages due to climate change, poor management and operation of water resources and increasing water demand for agriculture, domestic, and industrial consumption, desalination of sea water presents itself as a safe and reliable for tackle this problem.

In this work were introduced and explained the various desalination techniques in current use either thermal processes (phase shift) and whether the processes and membranes, as well, which is being developed for future applications. Of all the techniques, Reverse Osmosis (RO) was treated in more detail in this report, most of the techniques to be used throughout the world and because it is the most promising in terms of cost and benefits, even in regions where before their application was unthinkable. This dissertation focuses on important aspects related to the process of desalination, including environmental impacts and cost / benefits associated with the process, and future prospects. Finally we proceeded to an analysis of the desalination process applied to the situation of Cabo Verde, where water resources are scarce drinking water, desalination and presents as the main funding source of drinking water for public supply.

**Keywords:** Cost/benefit analysis, Desalination, Environmental, desalination technologies, e water sector in Cabo Verde.

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

## Índice de Figuras

---

FIGURA 1.1 – DISTRIBUIÇÃO DA ÁGUA NO PLANETA .	3
FIGURA 1.2 - CONSUMO DE ÁGUA POR DIFERENTES REGIÕES DO MUNDO ATÉ 2025	4
FIGURA 1.3 - RELAÇÃO ENTRE A DISPONIBILIDADE HÍDRICA E A POPULAÇÃO MUNDIAL	5
FIGURA 2.1 - EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA E DOS CUSTOS DA DESSALINIZAÇÃO	14
FIGURA 2.2 – EVOLUÇÃO E PREVISÃO DA CAPACIDADE INSTALADA POR TECNOLOGIAS	15
FIGURA 2.3 - EVOLUÇÃO DOS CUSTOS DA DESSALINIZAÇÃO ENTRE 1995 E 2004	22
FIGURA 2.4 - TENDÊNCIA DO CUSTO DOS RECURSOS HÍDRICOS	23
FIGURA 2.5 – COMPOSIÇÃO DO CUSTO TOTAL DA ÁGUA DESSALINIZADA POR MSF E RO .	28
FIGURA 2.6 – DIAGRAMA DO CUSTO TOTAL DA ÁGUA DOS PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO	29
FIGURA 3.1 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO MSF	38
FIGURA 3.2 – INSTALAÇÕES DE MSF EM TAWEELAH (ABU DAHBI, EMIRADOS ÁRABES UNIDOS)	38
FIGURA 3.3 – ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DO PROCESSO MED	40
FIGURA 3.4 – INSTALAÇÃO DE DESSALINIZAÇÃO MED EM ST. CROIX (VIRGIN ISLAND, USA)	40
FIGURA 3.5 – ESQUEMA DO PROCESSO MVC E IDAM MVC NA SARDENHA, ITÁLIA	42
FIGURA 3.6 - FLUXO POR OSMOSE E OSMOSE INVERSA	44
FIGURA 3.7 - ESQUEMA DE UM SISTEMA DE RO DE GRANDE ESCALA	45
FIGURA 3.8 - DIÂMETROS NOMINAIS DOS POROS DAS MEMBRANAS EXISTENTES	48
FIGURA 3.9 - ESQUEMA ESTRUTURAL DE UM MÓDULO DE MEMBRANA EM ESPIRAL.	48
FIGURA 3.10 - ESQUEMA ESTRUTURAL DE UM MÓDULO DE MEMBRANA EM FIBRA FINA OCA.	49
FIGURA 3.11 – SISTEMA HIDRÁULICO-MECÂNICO DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA	50
FIGURA 3.12 – SISTEMA EM SÉRIE DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA	51
FIGURA 3.13 – SISTEMA EM PARALELO DE RECUPERAÇÃO DE ENERGIA.	52
FIGURA 3.14 - UNIDADES DE RO DA IDAM DE LARNACA (CHIPRE)	53
FIGURA 3.15 - ESQUEMA DE FUNCIONAMENTO DE UMA PILHA DE MEMBRANAS ED/EDR	54
FIGURA 3.16 – INSTALAÇÃO DE DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUA SALOBRA POR EDR EM BARCELONA.	55
FIGURA 4.1 – MAPA DE CABO VERDE EM RELAÇÃO AOS VENTOS DOMINANTES.	60
FIGURA 4.2 – EVOLUÇÃO E PROJEÇÃO DA DEMOGRÁFICA EM CABO VERDE ( 1940 E 2015)	61
FIGURA 4.3 –TEMPERATURA E PRECIPITAÇÃO EM CABO VERDE ( 1969-1990 E 1990-2009)	63
FIGURA 4.4 – BARRAGEM DE POILÃO À COTA MÁXIMA	65
FIGURA 4.5 - MÉTODOS DE EXPLORAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM CABO VERDE	67
FIGURA 4.6 – NÚMERO DE PONTOS DE ÁGUA EXPLORADOS EM 2008	71

FIGURA 4.7 – VOLUME EXPLORADO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA EM 2008 (M <sup>3</sup> /DIA).....	72
FIGURA 4.8 – PERCENTAGEM DA POPULAÇÃO E A ORIGEM DE ÁGUA PARA ABASTECIMENTO .....	73
FIGURA 4.9 – PERCENTAGEM DA POPULAÇÃO COM ACESSO A ÁGUA POTÁVEL .....	74
FIGURA 4.10 – PERCENTAGEM DA POPULAÇÃO COM LIGAÇÃO DOMICILIARIA.....	75
FIGURA 4.11 – RESERVATÓRIOS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA À CIDADE DE MINDELO .....	75
FIGURA 4.12 – EVOLUÇÃO DA CAPACIDADE INSTALADA DE DESSALINIZAÇÃO EM CABO VERDE....	80
FIGURA 4.13 – TECNOLOGIAS DE DESSALINIZAÇÃO EM CABO VERDE ENTRE 1959 E 2012.....	81
FIGURA 4.14 – DISTRIBUIÇÃO DA CAPACIDADE DE DESSALINIZAÇÃO PARA AS DIFERENTES ILHAS.	82
FIGURA 4.15 – SISTEMAS DE RO INSTALADOS NAS CENTRAIS DA ELECTRA .....	86
FIGURA 4.16 – INSTALAÇÕES DE ELECTRA LOCALIZADA NO MATIOTA, ILHA DE SÃO VICENTE.....	86
FIGURA 4.17 – TECNOLOGIAS E CAPACIDADE INSTALADA NA ELECTRA DE 2005 A 2012 .....	87
FIGURA 4.18 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁGUA DESSALINIZADA PELA ELECTRA (M <sup>3</sup> ).....	88
FIGURA 4.19 – EVOLUÇÃO DA PRODUÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA PELA ELECTRA (M <sup>3</sup> ).....	88
FIGURA 4.20 – EVOLUÇÃO DO VOLUME TOTAL DE ÁGUA PRODUZIDA PELA ELECTRA (M <sup>3</sup> ).....	89
FIGURA 4.21 – EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DE VENDA DE ÁGUA DA ELECTRA (€/M <sup>3</sup> ).....	90
FIGURA 4.22 – INSTALAÇÃO DE DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR DA APN.....	90
FIGURA 4.23 - UNIDADES DE RO E ERDS RO KINETIC K200 NO IDAM DA APN.....	91
FIGURA 4.24 – EVOLUÇÃO DO VOLUME ANUAL FORNECIDO PARA A DISTRIBUIÇÃO (M <sup>3</sup> /ANO). ...	92
FIGURA 4.25 – CONSUMO PER CAPITA DA ÁGUA DESSALINIZADA EM PORTO NOVO. ....	92
FIGURA 4.26 – EVOLUÇÃO DO CONSUMO ANUAL DE COMBUSTÍVEL (L/ANO). ....	93
FIGURA 4.27 – EVOLUÇÃO DO PREÇO MÉDIO DA ÁGUA FORNECIDA (€/M <sup>3</sup> ). ....	93
FIGURA 4.28 – CUSTO DA AMORTIZAÇÃO E CUSTOS DE O&M NA IDAM DA APN EM 2012 .....	103
FIGURA 4.29 – COMPONENTES DO CUSTO TOTAL DA ÁGUA NA IDAM DA APN .....	103
FIGURA 4.30 – POÇO DE CAPTAÇÃO DE ÁGUA DO MAR NA IDAM DA ELECTRA (MATIOTA) .....	106
FIGURA 4.31 – DIFUSORES PARA DESCARGA DE EFLUENTE DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO ..	107

## Índice de Quadros

---

QUADRO 2.1 – CONSUMO DE ENERGIA E CUSTO DE ÁGUA DESSALINIZADA.....	24
QUADRO 2.2 – CAPACIDADE INSTALADA E O CUSTO DA ÁGUA PRODUZIDA.....	24
QUADRO 2.3 – TIPO DE FONTE DE ENERGIA E CUSTO DE ÁGUA PRODUZIDA .....	27
QUADRO 2.4 – PREVISÃO DE INVESTIMENTO NA DESSALINIZAÇÃO ATÉ 2015 .....	31
QUADRO 3.1 – PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO .....	35
QUADRO 3.2 – PRINCIPAIS MELHORIAS NOS PROCESSOS TÉRMICOS .....	42
QUADRO 3.3 – PRINCIPAIS MELHORIAS REGISTRADAS EM RELAÇÃO AO PROCESSO RO .....	52
QUADRO 4.1 – PRECIPITAÇÃO MÉDIA E CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS DAS ILHAS .....	62
QUADRO 4.2 – RECURSOS HÍDRICOS (MILHÕES M <sup>3</sup> /ANO) .....	66
QUADRO 4.4 – ESTIMATIVA DAS ÁGUAS SUPERFICIAIS (MILHÕES M <sup>3</sup> /ANO). .....	68
QUADRO 4.5 – ESTIMATIVA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS (MILHÕES M <sup>3</sup> /ANO). .....	68
QUADRO 4.6 – UNIDADES DE DESSALINIZAÇÃO A OPERAR EM CABO VERDE EM 2012. ....	70
QUADRO 4.7 – PERCENTAGEM DE ÁGUA SUBTERRÂNEA USADA NO ABASTECIMENTO PÚBLICO .	72
QUADRO 4.8 – SISTEMAS DE RO UTILIZADOS NAS INSTALAÇÕES DA ELECTRA.....	85
QUADRO 4.9 – PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DAS UNIDADES RO DA ÁGUAS DE PORTO NOVO....	91
QUADRO 4.11 – CUSTO MÉDIO DE INVESTIMENTO NA DESSALINIZAÇÃO EM CABO VERDE.....	95
QUADRO 4.12 – PRODUTOS QUÍMICOS USADOS NO PRÉ-TRATAMENTO .....	98
QUADRO 4.13 – PRODUTOS QUÍMICOS USADOS NO PÓS-TRATAMENTO .....	98
QUADRO 4.14 – CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA DESSALINIZADA, ÁGUAS DE PORTO NOVO....	102
QUADRO 4.15 – COMPONENTES DOS CUSTOS DE PRODUÇÃO DE ÁGUA, NA APN.....	102

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

## *Lista de Acrónimos*

---

<b>AEB</b> – Água e Electrecidade da Boa Vista	<b>OMS</b> – Organização Mundial da Saúde
<b>APN</b> – Água de Porto Novo	<b>OSW</b> – Office of Saline Water
<b>APP</b> – Água de Ponta Preta	<b>PAGIRH</b> – Plano de Acção Nacional de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos
<b>BOOT</b> – Built Own Operate Transfer	<b>PL</b> – Concelho do Paul
<b>BV</b> – Concelho da Boa Vista	<b>ppm</b> – partes por milhão
<b>BR</b> – Concelho da Brava	<b>PN</b> – Concelho do Porto Novo
<b>CDI</b> – Capacitive Deionization	<b>PR</b> – Concelho da Praia
<b>CSM</b> – Concelho da Calheta de São Miguel	<b>pr</b> – Performance Ratio
<b>ED</b> – Electrodiálise	<b>RBSN</b> – Concelho da Ribeira Brava de São Nicolau
<b>EDI</b> – Electrodeionization	<b>RG</b> – Concelho da Ribeira Grande de Santo Antão
<b>EDR</b> – Electrodiálise Reversível	<b>SC</b> – Concelho de Santa Catarina de Santiago
<b>ELECTRA</b> – Empresa Pública de Electrecidade e Água	<b>SCF</b> – Concelho de Santa Catarina do Fogo
<b>ERD</b> – Energy Recovery Device (Dispositivo de recuperação de Energia)	<b>SCZ</b> – Concelho de Santa Cruz
<b>ETAR</b> – Estação de Tratamento de Águas Residuais	<b>SD</b> – Concelho de São Domingos
<b>FS</b> – Freeze Separation	<b>SL</b> – Concelho do Sal
<b>FH</b> – Freezing With Hydrates	<b>SLO</b> – Concelho de São Lorenço dos Orgões
<b>GEE</b> – Gases de efeito de estufa	<b>SF</b> – Concelho de São Felipe
<b>HDI</b> – Human Development Index	<b>SSM</b> – Concelho de São Salvador do Mundo
<b>IDAM</b> – Instalação de dessalinização de água do mar	<b>SV</b> – Concelho de São Vicente
<b>IE</b> – Ion Exchange	<b>RO</b> – Reverse Osmosis
<b>INGRH</b> – Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos	<b>RSE</b> – Rapid Spray Evaporation
<b>MA</b> – Concelho do Maio	<b>TASN</b> – Concelho do Tarrafal de São Nicolau
<b>MEE</b> – Multi-effect Evaporation	<b>TAST</b> – Concelho do Tarrafal de Santiago
<b>MEB</b> – Multi-effect Boiling	<b>TDS</b> – Sais Dissolvidos Totais
<b>MED</b> – Multiple Effect Distillation	<b>TBT</b> – Top Brine Temperature
<b>MD</b> – Membrane Distillation	<b>SWRO</b> – Seawater Reverse Osmosis
<b>MGD</b> – Milhões de Galões por Dia	<b>ZLD</b> – Zero Liquid Discharge
<b>MSF</b> – Multistage Flash Distillation	<b>ZDTI</b> – Zona de Desenvolvimento Turístico Integrado
<b>MVC</b> – Mechanical Vapor Compression	
<b>O&amp;M</b> – Operação e manutenção	

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

# Índice

---

RESUMO .....	IX
ABSTRACT .....	XI
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XIII
ÍNDICE DE QUADROS .....	XV
LISTA DE ACRÓNIMOS.....	XVII
ÍNDICE.....	XIX
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO E OBJETIVOS .....</b>	<b>1</b>
1.1. ENQUADRAMENTO .....	3
1.1.1. DISPONIBILIDADE GLOBAL DE RECURSOS HÍDRICOS .....	3
1.1.2. PROCURA DE ÁGUA POTÁVEL.....	3
1.2. OBJETIVOS.....	6
1.3. MOTIVAÇÃO PARA A ESCOLHA DO TEMA.....	6
1.4. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	8
<b>CAPÍTULO II - REVISÃO DA LITERATURA .....</b>	<b>9</b>
2.1. EVOLUÇÃO CRONOLÓGICA DA DESSALINIZAÇÃO .....	11
2.2. DESSALINIZAÇÃO E OUTRAS FONTES DE ÁGUA POTÁVEL .....	15
2.3. IMPACTES AMBIENTAIS DA DESSALINIZAÇÃO .....	17
2.4. CUSTOS E BENEFÍCIOS DA DESSALINIZAÇÃO.....	21
2.4.1. RELAÇÃO CUSTO-BENEFÍCIO .....	21
2.4.2. PARÂMETROS QUE INFLUENCIAM O CUSTO DA DESSALINIZAÇÃO .....	23
2.4.3. CUSTO DE CAPITAL E CUSTO TOTAL DA ÁGUA.....	28
2.5. DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO E PERSPETIVAS PARA FUTURO .....	30
<b>CAPÍTULO III - PROCESSOS DE DESSALINIZAÇÃO .....</b>	<b>33</b>
3.1. INTRODUÇÃO .....	35
3.2. PROCESSOS TÉRMICOS .....	36
3.2.1. <i>MULTI-STAGE FLASH DISTILLATION</i> .....	37
3.2.2. <i>MULTIPLE EFFECT DISTILLATION</i> .....	39
3.2.3. <i>VAPOR COMPRESSION</i> .....	40
3.3. PROCESSOS DE MEMBRANA.....	43

3.3.1.	<i>REVERSE OSMOSIS</i> .....	43
3.3.2.	ELETRODIÁLISE E ELETRODIÁLISE REVERSÍVEL .....	53
<b>CAPÍTULO IV – ARQUIPÉLAGO DE CABO VERDE (CASO DE ESTUDO)</b> .....		<b>57</b>
4.1.	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>59</b>
4.1.1.	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA.....	59
4.1.2.	CARATERIZAÇÃO E EVOLUÇÃO DEMOGRÁFICA .....	60
4.1.3.	DISPONIBILIDADE DE RECURSOS HÍDRICOS EM CABO VERDE.....	61
4.2.	<b>CARACTERIZAÇÃO DO SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA</b> .....	<b>69</b>
4.2.1.	PRODUÇÃO DE ÁGUA .....	69
4.2.2.	REDE PÚBLICA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	72
4.2.3.	QUALIDADE DA ÁGUA .....	77
4.3.	<b>A DESSALINIZAÇÃO EM CABO VERDE</b> .....	<b>79</b>
4.3.1.	EVOLUÇÃO, CAPACIDADE INSTALADA E TECNOLOGIAS UTILIZADAS .....	79
4.3.2.	PRINCIPAIS ENTIDADES GESTORAS NO SETOR .....	83
4.3.3.	CUSTOS ASSOCIADOS À DESSALINIZAÇÃO DA ÁGUA DO MAR EM CABO VERDE .....	94
4.3.4.	BENEFÍCIOS DA DESSALINIZAÇÃO .....	103
4.3.5.	QUESTÕES SOBRE IMPACTES AMBIENTAIS .....	105
<b>CAPÍTULO V - CONCLUSÃO</b> .....		<b>109</b>
5.1.	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>111</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....		<b>113</b>

## *Capítulo I – Introdução e objetivos*

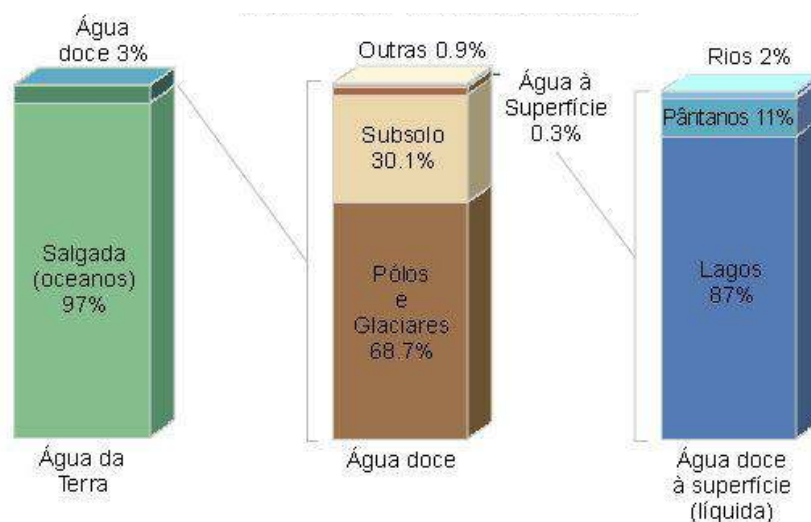
---

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

## 1.1. Enquadramento

### 1.1.1. Disponibilidade Global de Recursos Hídricos

A água é um dos recursos naturais mais abundantes no nosso planeta, cobrindo cerca de três quartos da sua superfície (ver Figura 1.1). Cerca de 97% da água no planeta é água salgada e apenas 3% (cerca de 36 milhões de km<sup>3</sup>) é água doce, contida nos polos e glaciares, em forma de vapor de água na atmosfera, em aquíferos subterrâneos, lagos, pântanos e rios, os quais satisfazem a maioria das necessidades humanas, plantas e animais. Cerca de 99,7% da água doce está praticamente inacessível, quer em forma de gelo nos polos e glaciares, quer em aquíferos a grande profundidade, pelo que apenas 0,3% constitui todos os lagos, pântanos e rios [1,2]. Por esta razão, a gestão sustentável e integrada dos recursos hídricos é um dos maiores desafios a nível global, atualmente.

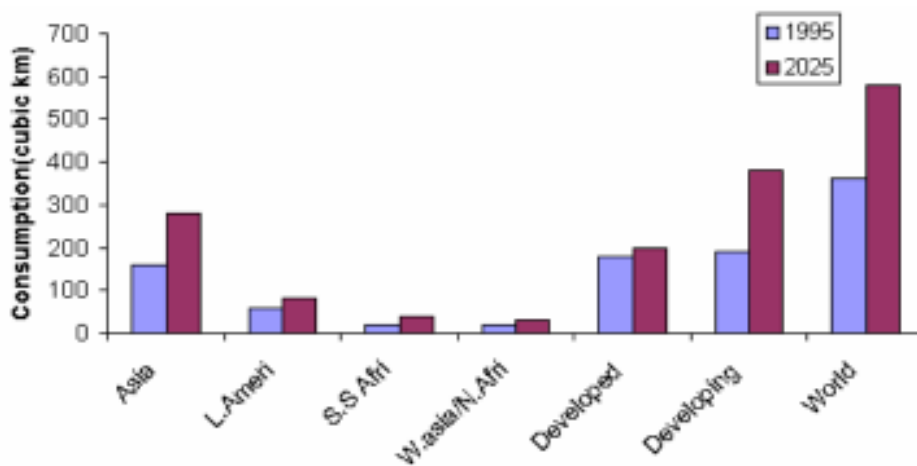


**Figura 1.1** – Distribuição da água no planeta [3].

### 1.1.2. Procura de Água Potável

A água é um bem essencial à vida, e é reconhecida pelas Nações Unidas [4] como um direito fundamental, a que todos devem ter acesso. O Homem desde sempre tem utilizado os rios, lagos e aquíferos para satisfazer as suas necessidades de água, quer para o consumo, quer para a produção de alimentos [1,2]. Atualmente grandes quantidades de água doce são necessárias em todo o mundo, na agricultura, indústria e atividades domésticas, sendo que, cerca de 70% da água consumida no mundo inteiro é utilizada na agricultura, 20% na indústria e 10%

corresponde ao consumo doméstico [1,2]. No entanto, o crescimento industrial e da população mundial esperada nas próximas décadas, sobretudo nos países em desenvolvimento, irão resultar ainda numa maior pressão sobre os recursos hídricos, tanto para satisfazer as necessidades de uso doméstico, como para a produção de quantidades adequadas de alimentos. Atualmente, cerca de 30 países estão em situação de *stress* hídrico, sendo que, 20 têm atualmente graves problemas ao nível do acesso à água potável. Previsões recentes apontam para que até 2020, o número de países em *stress* hídrico venha a aumentar para 35. Além disso, estima-se que um terço da população nos países em desenvolvimento enfrentará problemas relacionados com a escassez de água potável até 2025 [5]. Na Figura 1.2 é possível perceber qual a tendência do consumo de água para uso doméstico, industrial e pecuária nos países desenvolvidos e em desenvolvimento até 2025.



**Figura 1.2** - Consumo de água por diferentes regiões do mundo até 2025 [5].

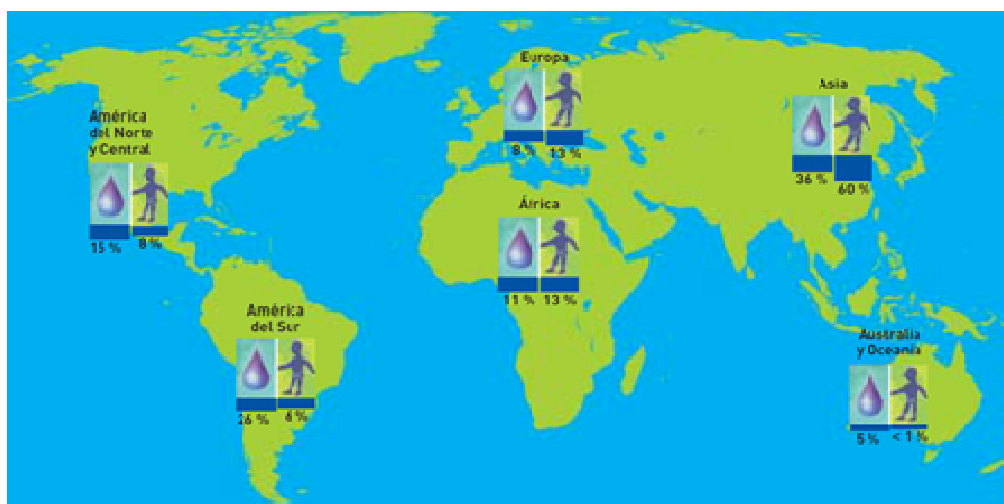
Neste contexto, destaca-se ainda o problema da poluição dos oceanos, mares, rios e lagos, por resíduos industriais e descargas de grandes quantidades de águas residuais não tratadas, que de alguma forma afetam os recursos hídricos disponíveis à escala global. A poluição de fontes naturais de água pelo Homem está a tornar-se uma das maiores causas da escassez de água potável no mundo [1,2].

Também devido às alterações climáticas, relacionadas com a poluição e emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera, os períodos de seca e a desertificação estão a aumentar significativamente, envolvendo áreas cada vez maiores do planeta, pelo que se espera que os problemas relacionados com a escassez de água potável se venham a agravar no futuro, mesmo nos países que atualmente não enfrentam problemas de escassez de água [6]. Baseado neste cenário, alguns especialistas anteveem uma crise mundial relacionada com a falta de água potável e de alimentos, cujas consequências se preveem desastrosas, e no qual os seus

impactes já se fazem sentir atualmente em algumas regiões do globo [7], incluindo Portugal e Cabo Verde (caso de estudo abordado mais à frente no Capítulo IV).

A Figura 1.3 evidencia a disparidade entre a disponibilidade hídrica total em relação à população mundial. No continente asiático, onde se concentra mais de metade da população mundial, verifica-se que existe apenas 36% dos recursos hídricos [8]. Por outro lado, na América do Sul a disponibilidade hídrica é muito superior à população que dele depende, mas quando comparada com a distribuição geográfica da população a situação é bastante diferente. Por exemplo, o Brasil com 8% das reservas de água doce a nível mundial (ao qual corresponde 18% do potencial de água doce de superfície no planeta), passa ao vigésimo terceiro a nível mundial, quando se comparam os recursos hídricos disponíveis e a população que deste depende – uma vez que a Região Amazónica, onde se concentra 80% dos recursos hídricos brasileiros, abrange apenas 7% da população desse país [8].

A tendência no passado evidencia que a procura de água potável tem duplicado a cada 20 anos, pelo que a situação é preocupante dada a expectativa de crescimento da população mundial nas próximas décadas [1,2]. As regiões do globo onde se espera que a população possa vir a aumentar mais nas próximas décadas, encontram-se sobretudo em países em desenvolvimento localizados na América do Sul, África e Ásia, onde a disponibilidade de recursos hídricos já é atualmente reduzida.



**Figura 1.3** - Relação entre a disponibilidade hídrica e a população mundial [8].

## **1.2. Objetivos**

O estudo apresentado nesta dissertação de mestrado tem como principal objetivo analisar diferentes alternativas para produção de água potável, dando especial destaque aos processos de dessalinização da água do mar. É ainda objeto de estudo a comparação entre os principais processos utilizados na dessalinização da água do mar, assim como os custos e benefícios associados. Pretende-se igualmente demonstrar o contributo da dessalinização da água do mar para a gestão sustentável e integrada dos recursos hídricos, bem como a experiência do arquipélago de Cabo Verde no que se refere à utilização de centrais de dessalinização da água do mar em detrimento dos métodos tradicionais de produção de água potável existentes em Portugal.

## **1.3. Motivação para a Escolha do Tema**

As previsões mais recentes, e em relação à “crise” da água, apontam para que até ao ano de 2025 quase dois terços da humanidade possa vir a sofrer com a escassez de água potável, afetando praticamente todos os países do mundo, incluindo os países desenvolvidos, a menos que haja uma redução da procura e/ou o desenvolvimento de novas fontes de água potável [5,6].

Segundo Falconer [9], atualmente aproximadamente 1,2 bilhões de pessoas vivem sem acesso à água potável. A falta de água contribui para a morte de mais de dez milhões de pessoas por ano, quer por insalubridade, quer por fome e sede, pois na realidade são numerosas as doenças que aparecem com a poluição hídrica e também as que derivam da falta deste recurso para criar condições de acesso aos bens alimentares [9,10]. Sabendo que mais de metade da população mundial vive perto do mar, cerca de 70% das megacidades encontram-se junto à linha de costa [11], a dessalinização da água do mar é uma opção atraente face a este problema de escassez de água potável, pois a fonte mais próxima e inesgotável de água são os oceanos. A sua única desvantagem é a sua elevada salinidade, que se reflete nos custos de produção e tratamento da água e dos efluentes.

A dessalinização é um processo de produção de água, apropriada ao consumo humano, indústria e para a agricultura, e está relacionada com a remoção do sal existente na água do

mar ou água salobra<sup>1</sup>. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o limite permitido de salinidade ou total de sólidos dissolvidos (em inglês, *Total Dissolved Solids – TDS*) da água doce é de 500 ppm, e para casos particulares tais como, irrigação agrícola e equipamentos desportivos, este limite pode chegar aos 1 000 ppm. Enquanto a maior parte das águas superficiais e à pequena profundidade têm salinidade até 10 000 ppm, a água do mar tem normalmente salinidade na gama de 35 000 a 45 000 ppm [1,2].

Cabo Verde é, sem dúvida nenhuma, um dos países do Sahel mais profundamente marcado pelos efeitos das secas dos anos setenta e que revelaram a sua vulnerabilidade, face a uma pluviometria largamente deficitária e irregular no espaço e no tempo. Paralelamente a essa situação, de degradação sem precedentes, o desenvolvimento urbano e o crescimento das necessidades em água para irrigação, turismo, indústria e outros, provocaram situações de carência, com tendência para o seu agravamento no tempo e no espaço. A água é um recurso, tanto pela sua quantidade como sua qualidade, condicionante do desenvolvimento económico e do bem-estar social de Cabo Verde. Porém o país tem desenvolvido ao longo das últimas décadas vários projetos de centrais dessalinizadoras da água do mar que têm permitido atenuar o problema de escassez, nomeadamente, ao nível do consumo doméstico e industrial. Previsões recentes apontam para o facto de que vários países em todo o mundo poderão vir a ser fortemente afetados com as alterações climáticas e escassez de água, pelo que é importante conhecer melhor a experiência cabo-verdiana<sup>2</sup>, no que se refere à produção de água potável através da dessalinização de água do mar onde esta se apresenta como a única alternativa viável para o abastecimento de água potável aos grandes centros populacionais do país.

---

<sup>1</sup> A salinidade é definida pelo número do total de sólidos dissolvidos, em Inglês, *Total Dissolved Solids (TDS)*. Na água salobra o número total de sólidos dissolvidos pode variar entre 2 000 ppm e 10 000 ppm. Na água do mar, a salinidade pode tomar valores entre 35 000 a 45 000 ppm.

<sup>2</sup> Numa entrevista ao jornal PÚBLICO, o próprio ex-ministro do Ambiente, o Eng.º Francisco Nunes Correia, destaca a vasta experiência em Cabo Verde no que se refere à dessalinização “... é um dos países do mundo com maior experiência na produção de água potável através da dessalinização de água do mar”. in <http://www.publico.pt/sociedade/noticia/cabo-verde-pode-ajudar-portugal-a-combater-falta-de-agua-1226002>, acedido em 20/10/2012

## 1.4. Estrutura da Dissertação

A dissertação encontra-se organizada da seguinte forma:

Capítulo I - Está relacionado com a apresentação dos objetivos, a motivação para a escolha do tema e a estrutura da dissertação.

Capítulo II - Neste capítulo destaca-se a revisão bibliográfica sobre os diferentes processos de dessalinização da água do mar, assim como a evolução cronológica, evolução dos custos de produção e venda de água, os impactes ambientais e a tendência do setor para os próximos anos.

Capítulo III - Neste capítulo são referidos, e descritos de forma detalhada, os principais processos de dessalinização da água do mar usados a nível mundial e com maior sucesso comercial, quer por mudança de fase, quer por membrana, com destaque para o processo de *Reverse Osmosis* (RO).

Capítulo IV – Neste capítulo é feita referência à disponibilidade dos recursos hídricos em Cabo Verde, assim como a experiência de Cabo Verde no que diz respeito à produção de água potável a partir da dessalinização da água do mar e o seu contributo ao nível da gestão sustentável e integrada dos recursos hídricos. São ainda comparados os custos de produção e venda de água, assim como os benefícios e impactes ambientais associados.

Capítulo V – Este capítulo foca as principais conclusões acerca do trabalho desenvolvido, bem como algumas recomendações para futuros trabalhos na área de dessalinização da água do mar.

## *Capítulo II - Revisão da literatura*

---

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

## 2.1. Evolução Cronológica da Dessalinização

Os países pioneiros na aplicação do processo de dessalinização, em grande escala para a produção de água potável para o abastecimento em meios urbanos, localizam-se no Golfo Pérsico (Kuwait, Arabia Saudita, etc.). No entanto, em 1870 foi concebida a primeira patente Americana referente a dessalinização por destilação solar para um trabalho experimental. Dois anos mais tarde, segundo Kalogirou [2], foi construído no Chile a primeira instalação de dessalinização com destilador solar<sup>3</sup> de grande capacidade que se destinava ao abastecimento de água potável a trabalhadores, e respetivas famílias, de uma mina de salitre e prata na proximidade, tornando-se no primeiro processo de dessalinização usado em grande escala para produzir água dessalinizada para abastecimento.

O interesse pela dessalinização aconteceu sobretudo durante a II Guerra Mundial, como forma de garantir o abastecimento de água portátil a soldados em zonas com escassez de água, bem como nos navios de guerra (usando as caldeiras a vapor para produzir água potável) [12]. Diversas unidades de compressão de vapor foram usadas pela primeira vez em navios de guerra, movidos por motores a diesel, em 1940 [13].

Após a II Guerra Mundial, com o rápido crescimento da população urbana e revolução industrial a necessidade de assegurar água de boa qualidade ganhou maior importância. Surge então nessa época um enorme interesse pela dessalinização, e com a criação da *Office of Saline Water (OSW)* nos Estados Unidos em 1952, intensificaram-se as pesquisas para a aplicação em grande escala da dessalinização, no seu desenvolvimento e aperfeiçoamento, promovidas tanto pelo governo como pelo setor privado (inicialmente o investimento foi de 2 milhões US\$, e posteriormente passou para 160 milhões US\$), o que levou à introdução da tecnologia de Eletrodialise (ED) em 1952 e a dessalinização por “Freezing” e *Reverse Osmosis* (RO) em 1954 [2].

As primeiras instalações de dessalinização da água do mar (IDAM) comerciais surgiram entre a década de 1950 e 1960, sendo a primeira unidade de dessalinização por *Muti-stage flash* (MSF) construída em 1954 pela marinha dos Estados Unidos, com capacidade para 189 m<sup>3</sup>/dia. Porém, a primeira instalação de dessalinização a grande escala pelo processo MSF foi inaugurado no Shuwaikh (Kuwait) em 1957, da qual fazia parte quatro unidades com capacidade individual para 2 271 m<sup>3</sup>/dia [14,15]. Entre 1957-59, a capacidade total instalada

---

<sup>3</sup> A central tinha capacidade para produzir cerca de 21,8 m<sup>3</sup> de água por dia (aproximadamente 4,9 litros/m<sup>2</sup>). A estrutura da central era em madeira, cobertura em vidro e ocupava uma área de 4 450 m<sup>2</sup>.

era apenas de 27 000 m<sup>3</sup>/dia e na década seguinte passou a ser de 694 000 m<sup>3</sup>/dia. Entre 1970 e 1999 verificou-se um aumento gradual da capacidade instalada, mas foi no período de 2000 a 2005 que se verificou o maior crescimento, cerca de 6,4 milhões de m<sup>3</sup>/dia. A capacidade instalada total de MSF até o final de 2005 era de 17 milhões de m<sup>3</sup>/dia. Segundo Reddy e Ghaffour [14], apesar das melhorias do processo a partir de 1960, o princípio básico não se alterou até hoje, sendo os avanços sobretudo na utilização de novos materiais e anti-incrustantes que permitiram que o limite máximo de temperatura da salmoura (TBT)<sup>4</sup> fosse aumentando gradualmente de 90 para 112°C. Isto levou a uma redução do custo da água dessalinizada, particularmente ao nível do custo de investimento (o custo total da água dessalinizada depende do custo de investimento e o custo de operação). O custo total da água produzida pelo processo MSF passou de 9,0 US\$/m<sup>3</sup> em 1960 para valores abaixo de 1,0 US\$/m<sup>3</sup> atualmente (para instalações de grande porte e para condições específicas do local), o que evidencia um grande avanço tecnológica ao nível do processo. A taxa de redução média anual dos custos unitários tem sido de aproximadamente 5,3% nos últimos 40 anos [16].

A comercialização do processo de dessalinização por RO, na produção de água potável, deu-se mais tarde. Em 1966 é apresentado o processo RO com módulo de membrana espiral, cuja capacidade atingia 0,05 MGD<sup>5</sup>, acabando o processo por entrar no mercado no início de 1970, após os processos de membrana se tornarem suficientemente eficientes e competitivos (em relação aos processos térmicos), visando a redução dos custos de produção [17].

A primeira instalação comercial de RO de água salobra com a membrana espiral foi construída no Kashima (Japão) em 1969, para atender às necessidades de água de uma fábrica. Mais tarde, em 1975, uma instalação de dessalinização de água do mar por RO com capacidade para 1 500 m<sup>3</sup>/dia, foi construída em Al-Kharj (Arábia Saudita). A capacidade instalada total de RO até o final de 2005 atingiu 23,4 milhões de m<sup>3</sup>/dia e atualmente ronda cerca de 39,74 milhões de m<sup>3</sup>/dia, ao qual corresponde a maior capacidade instalada em comparação com qualquer outro processo [13,14]. Os custos médios unitários de água produzida pelo processo de RO, a partir da água do mar caíram de 5,0 US\$/m<sup>3</sup> em 1970 para aproximadamente 0,5 US\$/m<sup>3</sup> atualmente (para instalações de grande porte, dependendo das condições locais), e em relação à água salobra o custo reduziu para menos do dobro desse valor [16]. Com os recentes avanços tecnológicos (baseados nas nanotecnologias e

---

<sup>4</sup> Top Brine Temperature (TBT) – Máxima temperatura que a salmoura pode ser mantida sem que ocorra ebulição (causa dos problemas de incrustação e corrosão).

<sup>5</sup> 1 MGD (milhões de galões por dia) corresponde a 3785,412 m<sup>3</sup>/dia.

nanomateriais) espera-se que o custo de produção de água a grande escala, a partir do processo de RO, possa vir a ser reduzido ainda em cerca de 50% no futuro próximo [18].

Outros processos, nomeadamente Multiple effect distillation (MED), Eletrodialise (ED) e Vapor compression (VC) contribuíram significativamente para o crescimento da dessalinização. A MED e VC são processos térmicos aplicados principalmente na dessalinização da água do mar, enquanto a ED é um processo de membrana e é normalmente usado para dessalinizar com menor teor em salinidade (água salobra). A par do processo de MSF, também o MED constitui um dos primeiros processos de dessalinização usado comercialmente a grande escala. Inicialmente a sua configuração incluía apenas tubos evaporadores verticais. Porém a partir da 1970 foram introduzidos os tubos evaporadores horizontais, e atualmente as instalações de MED podem conter tubos evaporadores horizontais, verticais ou submersos [16].

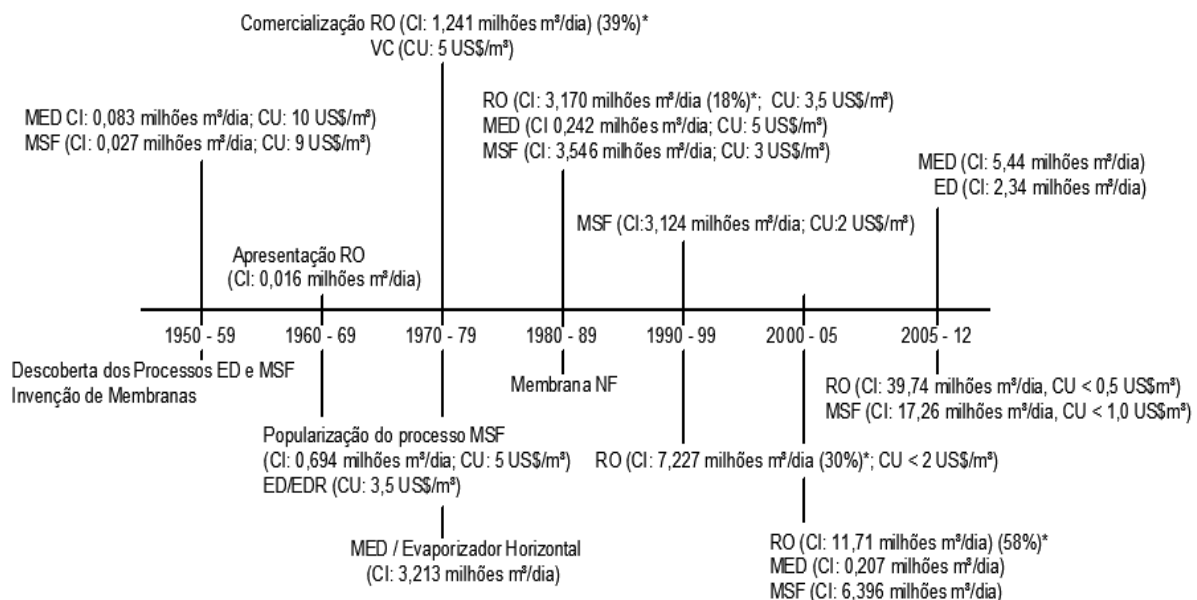
As membranas de Eletrodialise (ED) foram descobertas em 1950, e a partir da década de 1960 evoluiu para a atual Eletrodialise Reversível (EDR), tornando-se um processo economicamente viável [13]. O processo de VC começou a ser utilizado comercialmente na produção de água dessalinizada a partir de 1970. Inicialmente era usado para a dessalinização da água do mar em pequena e média escala, mas rapidamente foi evoluindo nas últimas décadas, sendo que em 2005 existiam cerca de 427 instalações de dessalinização pelo processo VC, cuja capacidade instalada total era de 1,3 milhões de m<sup>3</sup>/dia [16].

A tecnologia MED, inicialmente usada na indústria química, foi adaptada para a dessalinização em 1900, tendo sido usadas centenas de unidades móveis de MED durante a II Guerra Mundial (na época, os custos eram considerados muito elevado) [14]. O custo da água dessalinizada pelo processo MED caiu de 10,0 US\$/m<sup>3</sup> desde 1950 para cerca de 1,0 US\$/m<sup>3</sup> atualmente, porém comparado com os processos de RO e MSF, evoluiu muito pouco em termos de capacidade instalada, uma vez que entre 1950 e 2005 a capacidade instalada total foi de 1,175 milhões de m<sup>3</sup>/dia. Para o processo de VC, o custo também diminuiu consideravelmente ao longo do tempo, passando de 5,0 US\$/m<sup>3</sup> em 1970 para cerca de 1,0 US\$/m<sup>3</sup> atualmente.

Relativamente ao processo de ED, o custo médio unitário caiu de 3,5 US\$/m<sup>3</sup> em 1960 para menos de 1,0 US\$/m<sup>3</sup> atualmente. É notável o menor custo inicial do processo ED em relação aos outros processos (MED e VC). Como citado anteriormente, isto deve-se ao facto das instalações de dessalinização utilizando o processo ED serem alimentados maioritariamente

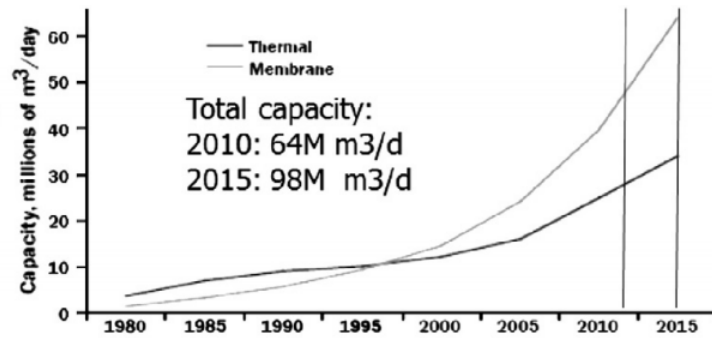
com água salobra. Atualmente o custo médio unitário de dessalinização de água salobra pelo processo ED ronda à volta de 0,6 US\$/m<sup>3</sup> [16].

Com os avanços registados na década de 1970, a dessalinização por MSF, MED, VC, ED e RO para produção comercial de água potável já era uma realidade, verificando-se a partir dessa altura a construção de inúmeras instalações de dessalinização usando essas tecnologias em diversas partes do mundo. A Figura 2.1 mostra a evolução cronológica dos processos de dessalinização, incluindo capacidade instalada (CI) e custo unitário (CU) do processo entre 1950 e 2012. Os valores indicados com (\*) representam a percentagem da dessalinização por RO a partir da água do mar.



**Figura 2.1** - Evolução da capacidade instalada e dos custos da dessalinização [13,14,16].

Segundo Garfour et al. [13], atualmente a capacidade instalada ronda os 66,4 milhões de m<sup>3</sup>/dia e espera-se que até 2015 esse valor aumente para quase 100 milhões de m<sup>3</sup>/dia. 63,7% da capacidade instalada de dessalinização a nível global utiliza processos de membrana, enquanto 34,4% utilizam processos térmicos. Cerca de 58,9% da água dessalinizada provém da água do mar, 21,2% de fontes de água salobra (provenientes de aquíferos subterrâneos), e a restante percentagem de águas superficiais e água residual salgada. Estes números são apenas indicativos, pois o mercado da dessalinização tem vindo a crescer muito rapidamente ao longo dos anos, com uma taxa de crescimento anual que ronda os 55%, o que é realmente impressionante (ver Figura 2.2).



**Figura 2.2** – Evolução e previsão da capacidade instalada por tecnologias [13].

A elevada taxa anual de crescimento da capacidade instalada da dessalinização nas últimas duas décadas está relacionada com dois fatores, o aumento da procura de água e a redução dos custos associados ao processo (fruto de um grande avanço tecnológico alcançado neste sector, fazendo com que o custo da água dessalinizada seja competitiva face às outras fontes de água potável). Porém, Gharffour et al. [13] afirma que a tendência da redução do custo da dessalinização pode vir a diminuir significativamente, ou poderá mesmo reverter-se, tendo em conta o atual aumento substancial dos custos de produção de energia e o possível aumento do preço das membranas.

## 2.2. Dessalinização e Outras Fontes de Água Potável

Para fazer face à escassez e ao aumento da procura de água potável a nível global, impõe-se uma maior racionalização da água captada à superfície e em profundidade, assim como procurar novas alternativas para dar resposta às crescentes necessidades de água (agricultura, indústria e consumo doméstico). Neste contexto, destacam-se, por exemplo, a reutilização das águas residuais, o aproveitamento das águas da chuva e a dessalinização da água do mar [19].

A reutilização das águas residuais é uma técnica já com alguma aceitação, principalmente em regiões onde a escassez de água é mais evidente. Atualmente, a sua utilização incide sobretudo na agricultura, combate a incêndios, lavagem de pavimentos e irrigação de jardins e campos de golfe. Segundo Paiva [19], tendo como referência Metcalf e Eddy [20], uma das barreiras que esta técnica enfrenta é a sua difícil aceitação pública, que começa agora a ser ultrapassada, se bem que os impactes da sua utilização ainda são dificilmente quantificáveis. Tendo por base o Programa Nacional Para o Uso Eficiente da Água [21], Paiva [19] aponta algumas das principais vantagens da reutilização de águas residuais, nomeadamente a redução

do caudal captado nos meios hídricos que possam afetar ecossistemas sensíveis, a redução de descarga de efluentes provenientes de Estações de Tratamento de Águas Residuais (ETARs) e a recirculação benéfica de nutrientes quando usada em irrigação. Além disso, com um tratamento adequado, poderão, no futuro, representar uma fonte de água sustentável para determinados tipos de usos domésticos e industriais.

O aproveitamento das águas da chuva para uso doméstico, industrial e atividades agrícolas está a ganhar cada vez mais importância em várias partes do mundo, visto ser considerado um processo simples e eficaz para atenuar o problema da crescente escassez de água potável. Este processo tem vindo a ser usado desde a antiguidade por diversos povos em todo o mundo. Trata-se de um processo muito usado em países como Alemanha, Japão, Reino Unido, Holanda e Estados Unidos, sobretudo para fins não potável, nomeadamente, atividades domésticas (irrigação de jardins, nos sanitários, lavagem de veículos e pavimentos, entre outros) e na agricultura. Segundo May [22], na Holanda, o aproveitamento das águas da chuva para além de evitar o transbordo dos canais que rodeiam o país (situado abaixo do nível médio das águas do mar) é usada na irrigação e no abastecimento de fontes ornamentais. No Reino Unido é incentivada a sua utilização nos sanitários, economizando assim nos custos de consumo da água potável. Na Austrália a utilização das águas da chuva permite economizar cerca de 45% do custo total do consumo de água potável numa residência e 65% na agricultura. Estes sistemas para além de reduzir o consumo de água potável, para fins não potável, diminuem o risco de inundações nas cidades, diminuem o custo total de captação e tratamento de águas e ainda favorecem a recarga dos aquíferos [22].

Tal como referido anteriormente, a dessalinização é um processo através do qual a água do mar se transforma em água passível de poder ser usada para o consumo humano, na agricultura e na indústria. Atualmente, esta técnica tem vindo a ser cada vez mais utilizada em todo o mundo, não só nas Regiões do Médio Oriente e Norte de Africa (onde a procura de água é elevada e outras fontes de abastecimento limitadas) mas também em países onde a dessalinização era impensável no passado, como por exemplo em Espanha. A dessalinização quando comparada com outras fontes de água convencionais (captações superficiais e subterrâneas) e não convencionais (reutilização de águas residuais e pluviais), apresenta como principais vantagens a elevada disponibilidade de água na origem (a água do mar representa cerca de 97% da água disponível no planeta) e o facto da maior parte da população mundial se encontrar junto à linha de costa. Estas vantagens evidenciam o potencial da água do mar, como principal fonte de água potável no futuro para os sistemas de abastecimento de água e irrigação a nível mundial [19]. No entanto, esta tecnologia ainda é considerada mais

dispendiosa quando comparada com as outras fontes de água convencionais, e ela impõe uma elevada quantidade de emissão de carbono devido ao intenso consumo de energia [23]. Um outro inconveniente associado a este processo tem a ver com os resíduos produzidos (salmoura), que geralmente são depositados nos solos e oceanos, e isso terá impactes negativos no meio ambiente a médio e longo prazo, sobretudo nas zonas costeiras como já acontece na linha costeira do Golfo Pérsico [23,24]. Ainda assim, ao longo dos últimos anos houve uma redução significativa nos custos dos processos de dessalinização (ver secção 2.4), particularmente no processo da RO, que tem vindo a contribuir para diminuir o fosso entre esta tecnologia e outras fontes de água convencionais, e que no futuro poderá vir a ser útil mesmo em países que não sofrem atualmente de *stress* hídrico.

### **2.3. Impactes Ambientais da Dessalinização**

A dessalinização, como qualquer outro processo industrial, tem impactes ambientais que devem ser compreendidos, quantificados e mitigados, e, que por sua vez, dependem do processo adotado, da eficiência e dimensão da instalação [15,25]. Os impactes ambientais da dessalinização incluem efeitos associados com a construção das instalações e, em especial, a sua operação a longo prazo, incluindo ocupação das linhas costeiras, a retirada de grandes volumes de água do ambiente marinho e a descarga de resíduos no meio ambiente e, ainda, os impactes indiretos decorrentes do uso intensivo de energia [12,26]. Os principais impactes ambientais associados à dessalinização da água do mar são:

- Impactes ambientais associados à captação de água em ambiente marinho: Os sistemas de captação de água e sua operação têm implicações ambientais e ecológicas significativas, sobretudo quando se trata de instalações costeiras que tipicamente captam grandes volumes de água do mar durante a operação. Um dos principais impactes negativos associados à captação de grandes volumes de água está relacionado com a destruição dos *habitats* naturais marinhos e ao extermínio de grandes quantidades de peixes adultos, aves, invertebrados, mortos na tomada de água devido à sucção das mesmas e de pequenos organismos que passam através das grelhas de entrada de água (plâncton, ovos e alguns peixes mais pequenos) e morrem durante o processamento da água salgada (arrastamento). Para além disso, os organismos mortos e arrastados são, posteriormente, lançados no ambiente marinho cuja decomposição pode reduzir o teor de oxigénio da água perto do ponto de

descarga, criando uma pressão adicional sobre os ecossistemas marinhos [12,25]. A magnitude e intensidade desses efeitos dependem de vários fatores, incluindo a percentagem da mortalidade das espécies vulneráveis, a taxa de mortalidade destes organismos em relação à taxa de mortalidade natural e o número de espécies [12]. Porém esses impactos são potencialmente maiores quando se utilizam sistemas de captação em aberto.

Uma série de medidas tecnológicas, construtivas e operacionais podem reduzir estes impactos negativos, entre as quais se destacam a existência de barreiras físicas, sistemas de desvio e barreiras comportamentais, bombas de rotação variável (que permitem reduzir a captação de água nos períodos mais críticos) e ainda a localização dos tubos de captação superficial fora das zonas de elevada produtividade biológica [12]. Os poços de captação submersos oferecem uma boa alternativa aos sistemas de captação em aberto. Estes incluem galerias de infiltração, poços horizontais (com inclinação) e verticais nas praias. Estes poços de captação submersos utilizam a areia como um filtro natural (atravessa camadas de areia antes de ser bombeada) e podem reduzir ou eliminar a invasão e arrastamento de organismos marinhos, bem como reduzir o uso de produtos químicos durante o pré-tratamento, revelando-se assim uma melhor solução em termos ambientais bem como em termos dos custos. No entanto, estes poços são limitados a volumes de 0,1 a 1,5 MGD de admissão (380 a 5 700 m<sup>3</sup>/dia) de água por poço [12,25].

- Impactes ambientais devido à descarga de grandes volumes de água salgada altamente concentrada no meio ambiente (salmoura): A eliminação segura da salmoura produzida pela instalação de dessalinização apresenta um desafio ambiental significativo. Os parâmetros críticos relacionados com concentrado (salmoura) lançado no meio ambiente são TDS, temperatura e densidade. A salinidade da salmoura depende da salinidade da água de alimentação, o método de dessalinização e a taxa de conversão (ou recuperação) da instalação. Normalmente a salmoura contém o dobro de concentração de sal em relação à água de alimentação e uma densidade mais elevada, e por conseguinte um grande risco de contaminação ambiental [12,27]. Para além dos elevados níveis de salinidade, esta pode conter concentrações de substâncias normalmente encontradas na água do mar, tais como o chumbo, o manganês e iodo, bem como produtos químicos provenientes da agricultura e áreas urbanas (levados até ao mar pelas linhas de água), tais como os nitratos. A salmoura pode também conter pequenas concentrações de produtos químicos usados durante os

processos de pré-tratamento e decorrentes da lavagem das membranas de RO, para além dos organismos marinhos mortos e arrastados durante o processo de dessalinização, como acima referido [12]. As instalações na qual se utilizam processos de membrana (RO) têm maior taxa de conversão, em relação às instalações de tecnologias de destilação térmica, resultando assim numa maior salinidade da salmoura. A salmoura derivado do processo RO contém uma concentração de sal duas vezes superior à da água de alimentação, enquanto no processo de destilação térmica a salmoura produzida apresenta apenas cerca de 10% de concentração de sal a mais do que a água de alimentação [27].

No que se refere à temperatura da salmoura, o potencial de impactos negativos só existe quando se trata de instalações de dessalinização utilizando o processo de destilação térmica. A salmoura resultante desses processos, cuja temperatura é normalmente elevada, quando descarregados diretamente no mar, vão aumentar a temperatura ambiente da água na proximidade do ponto de descarga e da instalação, com efeitos nocivos para organismos marinhos nesses ambientes, devido à exposição continua a condições ambientais mais desfavoráveis ou à prevalência de espécies que melhor se adaptem a essa nova condição. Segundo Daoud e Al Mulla [24], nos países do *Gulf Cooperation Council*<sup>6</sup>, onde a maior parte das centrais de dessalinização coexistem com centrais elétricas, os efluentes das centrais elétricas (água utilizada no arrefecimento da central), bem como a salmoura das centrais de dessalinização, quando lançados ao mar aumentam a temperatura ambiente da água em 7°C a 8°C acima das condições ambiente (que no verão em media é de 35°C). A descarga constante de efluentes com altos níveis de salinidade e temperatura pode, assim, ser fatal para a vida marinha, e pode causar uma mudança duradoura na composição e abundância das espécies no local de descarga.

A densidade dos efluentes é outro parâmetro crítico em relação aos aspetos ambientais, pois, esta pode ter efeitos muito nocivos no ambiente. No caso dos efluentes das centrais de RO, por terem maior densidade do que a água do mar, ficam depositados ao longo do fundo do mar e junto à linha de costa (a menos que sejam dissipadas por um sistema difusor), afetando assim comunidades tais como algas marinhas, corais etc., devido à elevada salinidade e concentração de produtos

---

<sup>6</sup> Conselho de Cooperação do Golfo cuja sigla em inglês é *Gulf Cooperation Council* é uma união política e económica dos países árabes vizinhos do Golfo Pérsico e localizados perto da Península Arábica, nomeadamente, Bahrain, Kuwait, Oman, Qatar, Arábia Saudita e Emirados Árabes Unidos.

químicos. Por outro lado, os efluentes das centrais térmicas, especialmente quando misturados com as águas de arrefecimento das centrais elétricas, normalmente flutuam afetando assim os organismos no mar aberto mais à superfície [24]. A magnitude desses impactos depende de alguns fatores morfológicos e hidrogeológicos do mar nomeadamente: batimetria, ondas, correntes, a profundidade da coluna de água, entre outros. São estes fatores que determinam a extensão da expansão dos efluentes, e, portanto, a área geográfica afetada [27].

Para além da descarga direta à superfície dos mares e oceanos, outros métodos de rejeição do concentrado têm vindo a ser usados, nomeadamente: poços profundos de injeção, aplicação no solo, lagoas de evaporação, concentradores de salmoura e tecnologias de descarga líquida zero (ZLD) [27]. Outras alternativas estão a ser estudadas tais como, bacias de evaporação, redução do volume dos efluentes através de plantas aquáticas e bacias de percolação [28]. Para a escolha da melhor opção de rejeição da salmoura, devem ser tidos em consideração alguns fatores, entre os quais, os locais disponíveis (tipo de solos, compatibilidade das águas recetoras e distância), as condições específicas da região onde o projeto se insere (morfologia e clima), o volume de concentrado a descarregar, os custos envolvidos (capital e operação), a aceitação pública e a legislação em vigor [28].

- Impactes ambientais indiretos devido ao consumo intensivo de energia: A dessalinização é uma atividade com elevado consumo de energia, utilizando sobretudo fontes de energia não renováveis (combustíveis fósseis), com potenciais impactes ambientais negativos ao nível das alterações climáticas (através da emissão de gases de efeito estufa - GEE) e ao nível da redução das reservas de combustíveis fósseis ainda existentes. Segundo Dawoud e Al Mulla [24], nos países designados por *Gulf Cooperation Council*, o setor da produção de água é o segundo maior emissor de CO<sub>2</sub> para a atmosfera depois do setor petrolífero. O aumento da produção de energia elétrica para satisfazer a procura de energia das instalações de dessalinização resulta em impactes ambientais indiretos, uma vez que exige mais queima de combustível, que por sua vez favorece a poluição do ar com emissões de gases (como por exemplo, dióxido de carbono, óxidos de enxofre e óxidos de azoto). Muitos são os esforços levado a cabo no sentido de reduzir esses impactos, nomeadamente com pesquisas visando a utilização de energias renováveis, o aumento da eficiência dos processos e a introdução de novas tecnologias com menor emissão de GEE. Segundo Einav *et al.* [27], estima-se que a quantidade de energia elétrica necessária para produzir 1,0 m<sup>3</sup> de

água varia entre 3,5 e 4,5 kWh/m<sup>3</sup>. A quantidade de carvão necessário para produzir 1,0 kWh é 353,8 g. A quantidade correspondente de óleo bruto (que varia de central para central) é de aproximadamente 234,9 g/kWh.

Em suma, apesar do impacto ambiental negativo associado à dessalinização, há que considerar o seu contributo para a preservação das reservas naturais de água potável. Assim sendo, e dada a importância deste assunto, destacam-se aqui algumas das principais áreas de investigação em curso: i) otimização dos processos de dessalinização, de forma a reduzir e/ou eliminar efluentes a lançar no meio ambiente; ii) reutilização e/ou tratamento de efluentes; iii) avaliação do impacto ambiental dos efluentes lançados no meio ambiente; e ainda iv) utilização de fontes de energia alternativas, nomeadamente fontes de energias renováveis tais como a energia solar, eólica e geotérmica.

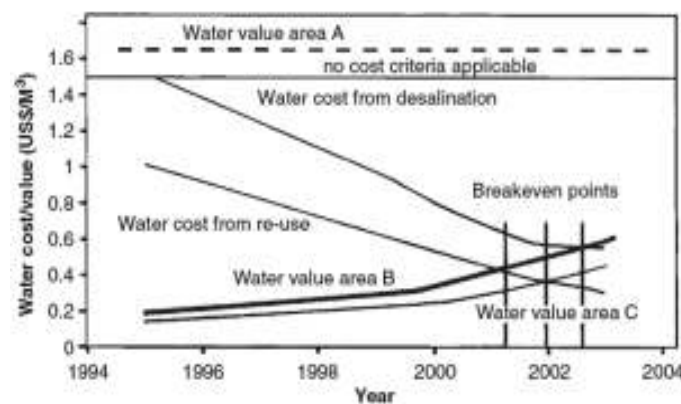
## **2.4. Custos e Benefícios da Dessalinização**

### **2.4.1. Relação custo-benefício**

Os custos de produção de água dessalinizada tem vindo a baixar todos os anos, devido a inúmeros fatores tais como, redução dos preços dos equipamentos, redução do consumo de energia, otimização do processo e experiência adquirida ao longo dos anos, isto, apesar da tendência de subida dos preços dos combustíveis fósseis [6,14]. Esta tendência resulta também do esforço contínuo de várias organizações e empresas (atraídas pela expansão do mercado) na melhoria das tecnologias de dessalinização mais competitivas, tendo em vista a redução dos custos, nomeadamente o *Multistage Flash Distillation* (MSF), *Multi Effect Distillation* (MED), *Vapor Comprission* (VC), *Reverse Osmosis* (RO) e Eletrodialise (ED). A redução dos custos da dessalinização, especialmente nas duas últimas décadas, está associada aos avanços tecnológicos no processo de RO, tais como um melhor desempenho da membrana *Seawater Reverse Osmosis* (SWRO), avanços significativos na capacidade de recuperar a energia, a redução dos preços das membranas, entre outros. Os custos dos processos térmicos também têm vindo a baixar devido a melhorias dos materiais, inovação nos processos e aumento da concorrência.

Atualmente o custo da água dessalinizada atinge valores inferiores a 0,5 US\$/m<sup>3</sup> [13] para instalações de SWRO de grande capacidade e inferiores a 1,0 US\$/m<sup>3</sup> para MSF. Este baixo custo, tal como referido anteriormente, vem assim contribuir para diminuir a diferença entre o

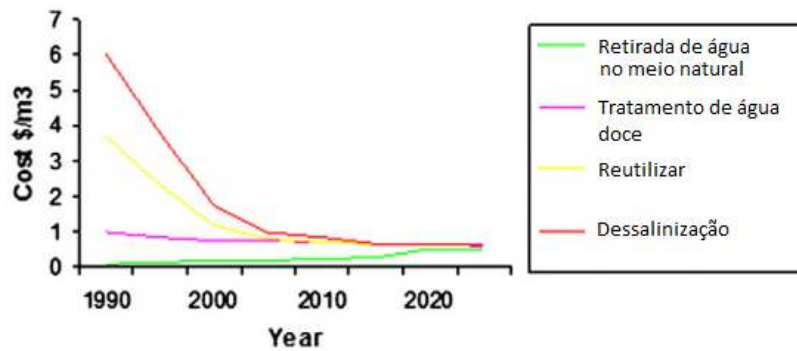
custo de produção de água a partir da dessalinização e os sistemas convencionais de produção de água potável [14]. Na Figura 2.3 pode-se observar o custo de água entre diferentes origens, regiões e situação de escassez, entre 1995 e 2004 [14]. Nos países do Médio Oriente, identificado como área geográfica A, os conceitos de preço não são aplicáveis, pois os recursos hídricos são tão escassos que a dessalinização é a única maneira de garantir sustentabilidade da vida e das indústrias nesta região. As áreas geográficas B e C representam, respetivamente, regiões com escassez de recursos hídricos e regiões com poucas limitações em termos de exploração de recursos hídricos.



**Figura 2.3** - Evolução dos custos da dessalinização entre 1995 e 2004 [14].

De acordo com Gahffour *et al.* [13], fatores subjacentes ao potencial de desenvolvimento da dessalinização, o torna mais viável do que apostar nos recursos convencionais a longo prazo. Para além de este ser independente das condições climáticas, chuvas e assim por diante, a disponibilidade ilimitada água salgada (oceanos) faz com que esta seja uma fonte fiável e segura, embora talvez limitado pela produção de energia.

Apesar de alguns processos de dessalinização ainda serem relativamente caros, em comparação com o tratamento convencional de água potável, o custo de dessalinização (particularmente RO) está a diminuir, enquanto os custos de produção de água convencional está a aumentar devido à poluição e difícil acesso. Na Figura 2.4 é visível a tendência dos custos de diferentes origens de água, incluindo a dessalinização por RO. Podemos constatar ainda que os custos de dessalinização e reutilização da água foram reduzidos a um nível comparável com opções tradicionais de abastecimento de água. O custo de dessalinização por RO inclui todas as etapas de tratamento, incluindo os processos de pré-tratamento e pós-tratamento, mas excluindo os custos de distribuição de água.



**Figura 2.4** - Tendência do custo dos recursos hídricos [13].

### 2.4.2. Parâmetros que influenciam o custo da dessalinização

O custo da água dessalinizada obtidas por diferentes processos é específico de cada local e depende de vários parâmetros, tais como a salinidade da água de alimentação e outros parâmetros de qualidade da água, a capacidade de produção da instalação, o consumo de energia e os custos de mão-de-obra, o tipo de contrato, a legislação em vigor, entre outros fatores [13,16]. Esses parâmetros influenciam significativamente o investimento total (capital) e os custos de operação e manutenção das instalações, pelo que devem ser considerados na escolha da tecnologia de dessalinização mais apropriada para uma determinada região [16]. Segundo Ghaffour *et al.* [13], os principais parâmetros da qual depende o custo da dessalinização são:

- Disponibilidade de energia elétrica: Neste caso a RO tem mais vantagens económicas que os processos térmicos ou híbridos, nomeadamente quando as instalações estão isoladas e a fonte de energia se encontra a alguma distância.
- Processo de dessalinização e capacidade da instalação: O custo de investimento associado a diferentes tecnologias de dessalinização difere significativamente entre as tecnologias de membrana e térmicas (ver Quadro 2.1). Para centrais com a mesma capacidade de produção, os processos térmicos exigem mais espaço e utilizam materiais e equipamentos mais caros que o processo RO, consomem maior quantidade de energia em relação à RO e é maior a quantidade de produtos químicos usados para evitar problemas como a incrustação e corrosão. Por outro lado, a água produzida pelos processos térmicos (o destilado) tem melhor qualidade em comparação à água produzida por RO, independentemente da salinidade da água de alimentação.

**Quadro 2.1** – Consumo de energia e custo de água dessalinizada em grande escala [13].

Processo de dessalinização	Energia	Energia	Total	Custo	Custo Total da
	Térmica (kWh/m <sup>3</sup> )	Elétrica (kWh/m <sup>3</sup> )	Energia (kWh/m <sup>3</sup> )	Investimento (US\$/m <sup>3</sup> /dia)	Água (US\$/m <sup>3</sup> /dia)
MED	4 - 7	2,5 - 4	10 - 16	1200 - 2500	(0,8 - 1,5) <sup>a</sup>
MSF	7,5 - 12	1,5 - 2	5,5 - 6	900 - 2000	0,7 - 1,2
RO (Água do mar)		(3 - 4) <sup>b</sup>	3 - 4	900 - 2500	0,5 - 1,2
RO (Água salobra)		0,5 - 2,5	0,5 - 2,5	300 - 1200	0,2 - 0,4

<sup>a</sup> inclui subsídios (preço dos combustíveis)

<sup>b</sup> inclui sistema de recuperação de energia

De um modo geral, e relacionado com o efeito de escala, quanto maior a capacidade da instalação, menor é o custo de investimento e o custo total de água produzida por metro cúbico. Os processos térmicos são usados principalmente em sistemas de médio e grande porte, enquanto os processos de membrana, são usados em sistemas de baixa capacidade [6]. No entanto, nos últimos anos, mesmo o RO tem sido usado em centrais de grande capacidade. Porém, questões políticas e ambientais têm vindo a limitar a implementação com sucesso, de tais megaprojetos [13]. O Quadro 2.2 evidencia a capacidade de diferentes unidades de dessalinização e o custo unitário da água produzida.

**Quadro 2.2** – Capacidade da unidade de dessalinização e o custo da água produzida [6].

Processo	Capacidade (m <sup>3</sup> /dia)	Custo (US\$/m <sup>3</sup> )
<u>Métodos Térmicos:</u>		
MED	< 100	2,50 - 10,0
	12 000 - 55 000	0,95 - 1,95
	> 91 000	0,53 - 1,01
MSF	23 000 - 528 000	0,53 - 1,75
VC	1 000 - 1 200	2,10 - 2,63
<u>Métodos de Membrana (RO):</u>		
Água salobra	< 20	5,30 - 12,9
	20 - 1 200	0,78 - 1,25
	40 000 - 46 000	0,26 - 0,54
Água do mar	< 100	1,50 - 18,85
	250 - 1 000	1,25 - 3,93
	1 000 - 4 800	0,70 - 1,73
	15 000 - 60 000	0,48 - 1,63
	100 000 - 320 000	0,45 - 0,66

- Localização geográfica e características específicas do local: A escolha do local mais apropriado para a localização de uma instalação de dessalinização é muito importante, sobretudo no que se refere à captação e elevação da água, bem como em relação à presença de correntes marítimas. As centrais de dessalinização (sobretudo em média e grande escala) devem ser construídas em locais adequados de modo a evitar custos adicionais com o transporte e/ou elevação da água. Neste contexto, o custo de expropriação de terrenos também é um fator importante, sobretudo quando é necessário o transporte de água a grandes distâncias ou quando é necessário atravessar terrenos com elevado valor comercial ou ambiental (por exemplo, zonas junto à costa destinadas ao turismo e reservas naturais) [13].
- Qualidade da água de alimentação e da água dessalinizada: O custo da água dessalinizada pode variar em função do tipo de água de alimentação. Num estudo apresentado por Karagiannis e Soldatos [6], verificou-se que para a dessalinização de água salobra de 3 000 ppm, o custo é 0,32 US\$/m<sup>3</sup>, enquanto a dessalinização da água com 10 000 ppm tinha um custo de 0,54 US\$/m<sup>3</sup>. No caso da RO, o custo pode ser significativamente afetado pela qualidade da água de alimentação caso seja necessário maior grau de pré-tratamento (maior custo). Além disso, é preciso ter em consideração que um pré-tratamento inadequado aumenta a incidência da “*fouling*” (incrustação das membranas), reduz a durabilidade da membrana e aumenta os custos de operação e manutenção e, pode até levar à sua suspensão temporária em alguns casos. Os sistemas de captação e o pré-tratamento são definidos em função da qualidade da água de alimentação, bem como as características geológicas do local. O pós-tratamento requerido é definido em função do tipo de utilização final do produto (água dessalinizada). Estes parâmetros afetam diretamente quer o capital, quer o custo de operação das instalações de dessalinização [13].
- Tipo de sistema de rejeição dos efluentes: Segundo Gahffour *et al.* [13], devido às restrições ambientais (legislação), os projetistas de instalações de dessalinização estão obrigados a desenvolver métodos mais adequados para rejeição dos efluentes tendo em conta aspetos ambientais, que também acaba por afetar o custo global do processo.
- Custo de energia: O consumo de energia é a variável com maior peso no custo total da água, variando de um terço para mais de metade do custo da água produzida [12]. Segundo Semiat [29], 44% do custo total da água produzida por RO é referente ao consumo de eletricidade e o restante está relacionado com outros custos variáveis de

operação e manutenção e com os custos fixos (amortização do capital, por exemplo) (ver Figura 2.5, esquerda). Para as centrais térmicas o gasto de energia é ainda maior. Referenciando Wangnick [30], Cooley *et al.* [12] afirmam que para uma central térmica de dessalinização de água do mar de grande capacidade, os custos de energia pode equivaler a cerca de 60% do custo total da água produzida (ver Figura 2.5, direita). A estas percentagens, um aumento de 25% no custo de energia iria aumentar o custo da água produzida em 11% e 15% para as centrais de RO e térmicas, respetivamente. Normalmente o custo de energia é definida nos contratos de venda de água como parte do custo total da água. No entanto, esses contratos preveem ajustamento do custo de energia para fazer face às variações (principalmente aos aumentos) nos custos de energia elétrica e dos combustíveis. Portanto, a redução no consumo de energia das centrais de dessalinização tem um grande impacto no custo total de água produzida [13].

- Fonte de energia: A dessalinização requer grandes quantidades de energia, proveniente de fontes de energia não renováveis (gás e petróleo) e mais recentemente fontes de energia renováveis (eólica, hídrica, solar e geotérmica). O expectável aumento da procura de água potável produzida a partir de centrais de dessalinização nas próximas décadas irá criar uma série de problemas relacionados, principalmente, com o aumento do consumo de energia e a poluição ambiental causada pelo intenso consumo de combustíveis fósseis (petróleo, carvão, etc.). A produção de água utilizando tecnologias de dessalinização acionadas por sistemas de energias renováveis (energia eólica, solar e geotérmica) poderá ser uma solução viável para a escassez de água em áreas remotas, caracterizadas por falta de água potável e fontes de energia convencionais (centrais térmicas de produção de energia elétrica) [31]. Porém a utilização de sistemas de energia renováveis, faz com que o custo de produção de água dessalinizada aumente significativamente, pois trata-se de sistemas de produção e fornecimento de energia mais cara (maior investimento e manutenção). Dependendo da dimensão da instalação, e do tipo de sistema de energia renovável, o custo do processo pode chegar aos 12,9 US\$/m<sup>3</sup>. No entanto, este custo é compensado pelos benefícios ambientais. Em alguns casos, estes sistemas estão ligados a uma fonte convencional de energia, a fim de minimizar as variações no nível de produção de energia e, conseqüentemente, a produção de água [6]. No Quadro 2.3 é possível comparar os custos de produção de água potável a partir da dessalinização e o tipo de energia usada.

**Quadro 2.3** – Tipo de fonte de energia e custo de água produzida [6].

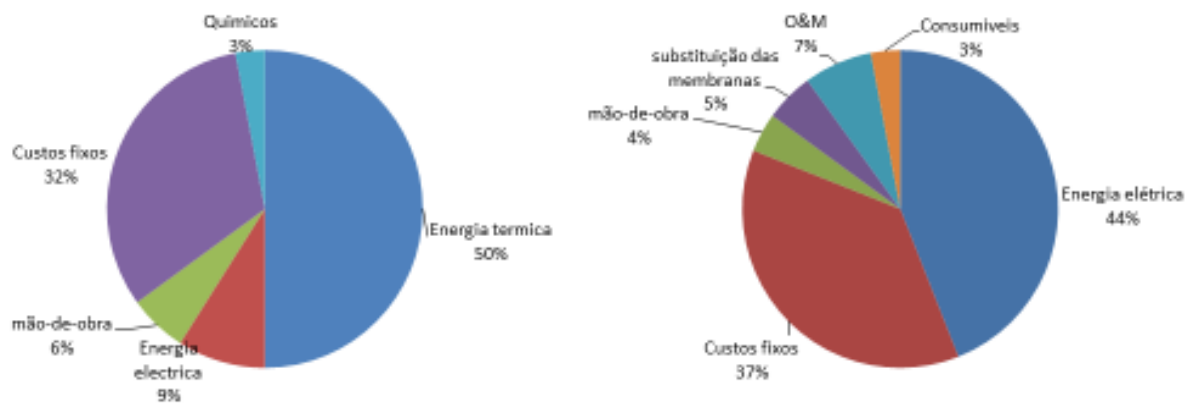
Tipo de Água	Tipo de Energia	Custo (US\$/m <sup>3</sup> )
Água salobra	Convencional	0,26 - 1,33
	Fotovoltaico	5,63 - 12,90
	Geotérmica	2,5
Água do mar	Convencional	0,44 - 2,5
	Vento	1,25 - 6,25
	Fotovoltaico	3,93 - 11,2
	Coletor solar	4,4 - 10

- Sistemas híbridos: As unidades de dessalinização podem usar sistemas híbridos para aumentar a eficiência e produtividade e assim reduzir o custo de produção. Uma unidade de dessalinização pode ser hibridizada não só no que diz respeito à fonte de energia, mas também ao processo de dessalinização. Estes sistemas são recomendáveis sobretudo onde há uma variação considerável da procura de água e energia [13] e, em situações devidamente ponderadas, podem representar uma boa opção para reduzir os custos de produção de água potável com recurso à dessalinização. Geralmente, os processos MSF ou MED são combinados com VC e RO ou nanofiltração (NF). Utilizando simultaneamente tecnologias de processos térmicos e de membrana (RO), as águas produzidas em ambos os processos podem ser misturadas para assim obter a qualidade da água desejada e ainda, reduzir o custo de produção e de investimento. Gahffour *et al.* [13] dá como exemplo, uma central com capacidade de produção de 150 000 m<sup>3</sup>/dia, combinando SWRO e MSF/MED (ou seja, 100 000 m<sup>3</sup>/dia RO e 50 000 m<sup>3</sup>/dia MSF/MED) – o custo total da água é reduzido em 0,064 US\$/m<sup>3</sup>, o que gera um benefício económico de cerca de 3,4 milhões US\$/ano. O processo MSF utilizando membranas de NF para reduzir o potencial de incrustação e corrosão, faz com que a central possa ser operada a alta temperatura, aumentando a sua eficiência e reduzindo significativamente o custo. Este procedimento permite reduzir o custo unitário da água produzida (pelo MSF) para valores inferiores a 1,0 US\$/m<sup>3</sup>.
- Custo de operação e manutenção [13]: A manutenção e substituição de membranas e equipamentos, produtos químicos e outros consumíveis utilizados no processo afetam diretamente os custos de operação e manutenção (O&M) das instalações de dessalinização, e está relacionado com o tipo de processo usado, tal como mostra a Figura 2.5. Além disso, a disponibilidade de pessoal qualificado resulta numa maior capacidade de produção. Em regiões onde a mão-de-obra é insuficiente ou inexistente, os custos operacionais podem ser mais elevados, devido aos salários elevados

(decorrentes da importação de mão-de-obra qualificada) ou ineficiências causadas pelo mau funcionamento da central.

- Financiamento e período de amortização [13]: Tendo em consideração o custo elevado associado à construção e manutenção deste tipo de infraestruturas, é aceitável considerar um longo período de amortização do investimento, sendo 25 anos um período razoável. Porém, quando maior o período de amortização menor a sua percentagem em relação ao custo total da água [32].
- Subsídios governamentais: Quando o serviço de fornecimento de água é subsidiado, o preço reportado ao consumidor final acaba por ser muito inferior ao custo real de produção. Por exemplo, numa proposta de um projeto de dessalinização em *Carlsbad (Poseidon)*, no estado da Califórnia (EUA), o custo total da água está definido como 0,77 US\$/m<sup>3</sup> sem subsídio, e cerca de 0,57 US\$/m<sup>3</sup> se for subsidiado [12].
- Tipo de contrato: A este nível destacam-se as parcerias entre o setor público e privado, fundamental para o desenvolvimento deste sector, não só pelo aspeto financeiro, mas também para aproveitar os avanços do setor privado ao nível da tecnologia e gestão.

A Figura 2.5 mostra a percentagem de cada uma das componentes do custo total da água dessalinizada: para centrais térmicas (MSF) e para centrais de membrana (RO).

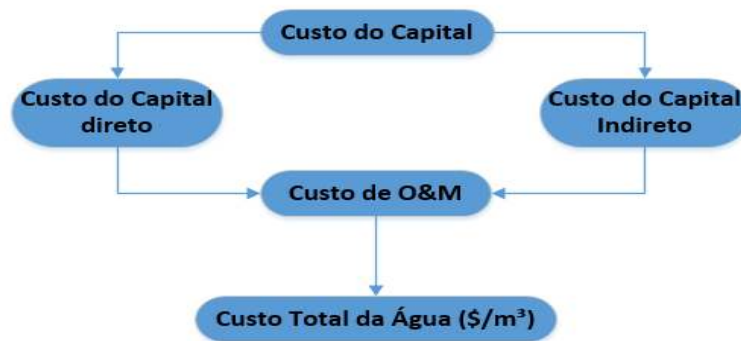


**Figura 2.5** – Composição típica do custo total da água dessalinizada em grande escala: processos térmicos MSF (esquerda) e para centrais de membrana RO (direita) [12].

### 2.4.3. Custo de capital e custo total da água

Segundo Ghaffour *et al.* [13], na avaliação dos projetos de dessalinização é importante ter em consideração o custo de capital e o custo total da água. O custo de capital, também designado

CAPEX<sup>7</sup>, inclui todos os custos diretos<sup>8</sup> e indiretos<sup>9</sup> correspondentes aos gastos associados com a implementação de um determinado projeto de dessalinização desde o momento da sua conceção até à sua entrada em funcionamento [13]. O custo total da água é dado pela soma do custo de capital e os custos de operação e manutenção para o período do contrato (ver Figura 2.6). O custo total da água é calculado dividindo a soma do custo do capital amortizado (anual) e os custos anuais de operação e manutenção (O&M) pelo volume médio anual de água potável produzida [13].



**Figura 2.6** – Diagrama da análise do custo total da água dos processos de dessalinização [13].

Os custos de operação e manutenção são específico do lugar onde o projeto de dessalinização se insere e consistem em custos fixos e custos variáveis. Os custos fixos estão relacionados com as despesas de seguro (contras riscos de acidentes e danos nos equipamentos das instalações) e amortizações (juros anuais para os custos de capital direto e indireto). No caso de instalações de RO, os custos variáveis de operação (OPEX)<sup>10</sup>, incluem o custo de mão-de-obra, consumo de energia, produtos químicos, substituição de membranas, conservação e manutenção dos equipamentos (bombas, tubagem e acessórios, instrumentação, instalações elétricas, reservatórios, trabalhos de construção civil, entre outros), consumíveis, custos referentes à reposição de peças, que dependem da relação entre a localização da instalação e os centros de produção e distribuição das mesmas [13].

<sup>7</sup> CAPEX é a sigla da expressão inglesa *Capital Expenditure* (em português, despesas de capital ou investimento em bens de capital) e que designa o montante de dinheiro despendido na aquisição (ou introdução de melhorias) de bens de capital de uma determinada empresa.

<sup>8</sup> Os custos de capitais diretos são todos os custos relacionados com a aquisição e instalação de equipamentos, tubagens, acessórios, instrumentação, obras de construção civil (edifícios, estradas e laboratórios), infraestruturas de captação de água (pode incluir poços, captação à superfície ou submerso) e descarga dos resíduos (inclui descarga em emissários, poços de injeção e/ou lagoas de evaporação). Também inclui o custo do terreno, cujo montante depende do tipo de contrato (compra, aluguer ou cedência do espaço por um determinado número de anos). Os custos de construção civil geralmente variam entre 50-85% do capital total investido.

<sup>9</sup> Os custos de capital indireto representam juros durante a fase de construção, seguros, gestão de projetos e honorários de arquitetura e engenharia, entre outros. De acordo com Ettouney *et al.* [33], estes custos são normalmente calculado como uma percentagem dos custos do capital direto com uma média de 40%, contudo os custos de capital indireto são muito específicos do projeto, podendo variar entre 15% a 50% [13,34] ou 30% a 40% [13,35] do custo direto.

<sup>10</sup> OPEX é uma sigla derivada da expressão *Operational Expenditure*, que significa o capital utilizado para manter ou melhorar os bens físicos de uma empresa, tais como equipamentos, propriedades e imóveis. As despesas operacionais (muitas vezes abreviado a OPEX) são os preços contínuos para dirigir um produto, o negócio ou o sistema.

No entanto, a análise acima descrita não é padrão, uma vez que diferentes entidades gestoras podem utilizar metodologias de avaliação do custo total da água distintas, com parâmetros próprios, o que contribui também para uma maior dificuldade e pouca precisão na estimativa do custo total da água, mesmo para projetos semelhantes.

## **2.5. Desenvolvimento Tecnológico e Perspetivas para Futuro**

Ao longo das últimas duas décadas, houve um grande progresso ao nível das tecnologias de dessalinização da água do mar, que resultaram na redução significativa dos custos de produção de água. Isto levou a uma maior aceitação e crescimento da indústria em todo o mundo, não só no Médio Oriente e Norte da África (região onde a procura de água é elevada e as outras fontes de abastecimento são limitados), mas também em países onde a dessalinização era impensável no passado, como em Espanha e Austrália.

Espera-se que o investimento em tecnologias de dessalinização venha a atingir 31 bilhões de dólares em 2015, sendo metade desse investimento em projetos de dessalinização da água do mar pelo processo da RO (ver Quadro 2.4), e por diversas razões: i) baixo custo de investimento e custo total da água comparado com o desenvolvimento de fontes convencionais; ii) ocupa um espaço relativamente reduzido quando comparado com outras tecnologias; e ainda, iii) permite o tratamento de água com grande salinidade, como por exemplo a água do mar do Golfo Pérsico [13]. Os processos térmicos também continuaram a ser utilizados especialmente onde a energia está disponível a baixo custo, mas a tendência é para que o processo MED vá substituir o MSF em projetos futuros, e pode até mesmo competir com o SWRO onde a água bruta é altamente poluída ou de muito alta salinidade. Processos térmicos permanecerão no mercado, até porque eles têm sido amplamente aceites na região do *Gulf Cooperation Council* [13].

Apesar do crescimento contínuo do mercado da dessalinização e a queda nos custos de produção nas últimas décadas, Ghaffour *et al.* [13], indo ao encontro de outros especialistas, também não acredita que o custo da água dessalinizada venha a baixar ao ritmo que se verificou no passado, isto devido aos preços instáveis do petróleo, flutuação da moeda e aumento nos preços das membranas. Outra questão importante tem a ver com o aumento dos custos de energia, transporte, matérias-primas (particularmente dos metais), equipamentos e preços de produtos químicos, juntamente com a legislação ambiental mais restritiva, afetando assim os custos de produção [13].

**Quadro 2.4** – Previsão de investimento na dessalinização até 2015 [13].

Tipo de projeto	2011 - 2015 (bilhões de dólares)
RO água do mar	15,48
MED	4,04
MSF	7,07
RO água salobra	2,18
RO elevada pureza	0,33
Térmicos pequenos	2,33
Total (bilhões)	31,40

Apesar de haver alguma margem para redução de custos ao nível dos processos de membrana, e relacionados com o aumento de eficiente das membranas, bombas e sistemas de recuperação de energia, a redução de custos será residual. Em relação aos processos térmicos, poderá haver melhorias no futuro, sobretudo com a utilização do processo de NF no pré-tratamento permitindo controlar incrustações e aumentar a temperatura da salmoura, e no desenvolvimento de sistemas híbridos baseados nos processos térmicos utilizando energias renováveis, como as energias geotérmica, solar ou eólica [13].

Segundo Younos e Tulou [36] são várias as tecnologias de dessalinização em investigação, nomeadamente: *Electrodeionization* (EDI); *Freeze Separation* (FS); *Capacitive Deionization* (CDI); *Rapid Spray Evaporation* (RSE); *Freezing With Hydrates* (FH) e *Vacuum Distillation* (VD). Para além das técnicas já mencionadas, o desenvolvimento de novas tecnologias de baixo custo, como as membranas em nanomateriais ou nanotecnologias [18,37], destilação de membrana (MD) e novos sistemas híbridos que utilizam energias renováveis, provavelmente poderão fazer baixar os custos. Mas a implementação dessas novas tecnologias vai demorar algum tempo até serem competitivas face aos processos já existentes [13].

Hoeck [18] apresenta uma nova membrana em escala nano (*nanotech*), que permite que a água atravesse a membrana com menor resistência possível. Estas contêm nano-partículas, formando uma membrana sintética altamente porosa, concebida para atrair a água e repelir os sais dissolvidos e outras impurezas, que tendem a obstruir as membranas convencionais. Este processo requer menos energia para injetar água através das membranas, porque esta repele as partículas que normalmente aderem às membranas. Neste caso os custos de manutenção e substituição das membranas é mais reduzido quando comparado com as membranas convencionais. O resultado em termos de qualidade da água são semelhantes aos métodos normalmente usados, mas mais eficientes e mais barato (consome em média menos 50% de energia, e reduz os custos da dessalinização da água do mar em cerca de 25%).



## *Capítulo III - Processos de dessalinização*

---

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

### 3.1. Introdução

Tal como referido anteriormente, as tecnologias de dessalinização podem ser classificadas em duas categorias: processos térmicos e processos de membrana. Nos processos térmicos (processos de mudança de fase), a água salgada é dessalinizada através da destilação utilizando fontes de energia térmica. A energia térmica utilizada nestes processos geralmente provém de fontes convencionais de combustíveis fósseis, energia nuclear, e fontes de energia renováveis tais como energia solar, eólica e geotérmica. O Quadro 3.1 apresenta uma lista das principais tecnologias de dessalinização usadas atualmente.

**Quadro 3.1** – Processos de dessalinização [2].

<b>I-Processos térmicos ou de mudança de fase:</b>	<b>II-Processos de membrana:</b>
I-1. <i>Multi-stage flash distillation</i> (MSF)	II-1. <i>Reverse Osmosis</i> (RO)
I-2. <i>Multiple effect distillation</i> (MED)	a. RO sem reaproveitamento de energia
I-3. <i>Vapor compression</i> (VC)	b. RO com reaproveitamento de energia
I-4. <i>Freezing</i> (congelamento)	II-2. Eletrodialise (ED) e eletrodialise reversível (EDR)
I-5. <i>Humidification/dehumidification</i> (HDH)	II-3. Nanofiltração (NF)
I-6. Destilador Solar	

Comercialmente as principais tecnologias de dessalinização de mudança de fase são: *Multi-stage-flash distillation* (MSF), *Multiple effect distillation* (MED) e *Vapor compression* (VC). Cada um destes processos está descrito na secção 3.2. É importante também recordar que os processos de *Freezing* (congelamento) e *Humidification/dehumidification* (humidificação/desumidificação), apesar de serem processos por mudança de fase, não recorrem ao método de destilação para remover o sal da água. Estes processos utilizam sistemas de refrigeração, mas com princípios de funcionamento diferentes. Outro método de dessalinização por mudança de fase é a Destilação solar [2]. A Destilação solar é o método de dessalinização (água do mar e água salobra) mais barato relativamente ao seu custo inicial, quando comparado com todos os sistemas de dessalinização atualmente disponíveis. Este é um sistema de recolha direta, muito fácil de construir e operar, porém com muito baixo rendimento, implicando assim grandes áreas de terreno plano para produção de água para abastecimento público. Esta técnica poderá ser viável em zonas próximas do mar, onde o custo do terreno é reduzido, e em áreas áridas e remotas onde o custo energético é muito elevado [31].

Em termos comerciais, as principais tecnologias de dessalinização com membranas são: *Reverse Osmosis* (RO) e Eletrodialise (ED). Estes processos serão descritos mais à frente (ver secção 3.3), com maior ênfase para a RO [2]. A Nanofiltração (NF) é um processo relativamente recente na dessalinização, e apesar de poder remover sal da água (somente para baixa concentração de salinidade), normalmente é usada para suavizar a água, diminuindo assim a carga de contaminantes no pré-tratamento [29]. Outras tecnologias de membrana usadas no tratamento de água, com diferentes graus de contaminação, são a Microfiltração (MF) e Ultrafiltração (UF). Estas tecnologias de membranas são usadas em centrais de dessalinização, mas na fase de pré-tratamento como unidades de filtragem prévia dos contaminantes (partícula, bactérias, entre outros) como alternativa ao pré-tratamento convencional. Estas tecnologias, só por si, não removem o sal da água, pois os poros das membranas são maiores como veremos mais à frente. A NF apesar de poder reter alguma salinidade é utilizada nas instalações de dessalinização também na fase de pré-tratamento [29,38].

Contudo, os processos de dessalinização não se restringem apenas às tecnologias de mudança de fase e membranas, pois existem tecnologias cuja dessalinização se processa através de uma abordagem química, como no caso da permuta iónica (*Ion Exchange* – IE), mas atualmente ainda muito pouco divulgada [29].

## 3.2. Processos Térmicos

O princípio de funcionamento dos processos térmicos implica a reutilização do calor latente de evaporação, para pré-aquecer a água de alimentação do sistema, e ao mesmo tempo condensar o vapor para produzir água potável. A energia térmica necessária pode ser produzida em caldeiras de vapor, ou proveniente de calor residual de extração ou contrapressão das turbinas a vapor em centrais elétricas, por exemplo. As necessidades de energia de tais sistemas são tradicionalmente definidos em termos de unidades de destilado produzido por unidade de massa (kg) de vapor ou por 2326 kJ de calor, que corresponde ao calor latente de evaporação a 73°C. Esta relação em kg/2326 kJ é conhecida como o coeficiente de rendimento (“*Performance ratio* – PR”) [2]. A seguir serão descritos os processos térmicos mais importantes a nível comercial, nomeadamente MSF, MED e VC.

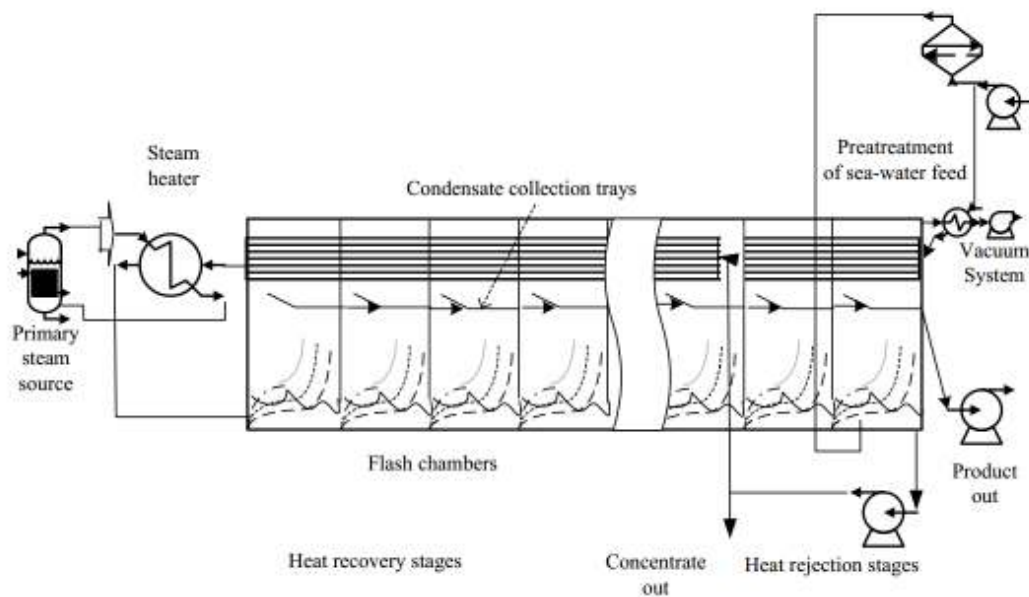
### 3.2.1. *Multi-stage flash distillation*

De acordo com Semiat [29], a *Multi-stage flash distillation* (MSF) é a tecnologia de dessalinização mais utilizada em todo o mundo e o segundo processo com maior capacidade instalada [13]. O processo MSF é constituído por uma série de câmaras (etapas), um conjunto de tubos (permutador de calor) que atravessam as câmaras na parte superior e um coletor do destilado a meio de cada câmara (ver Figuras 3.1 e 3.2). O processo está dividido em três fases, sendo a extremidade mais fria designada secção de rejeição de calor, seguida de uma secção com temperaturas intermédias (secção de recuperação de calor) e por fim uma secção a temperaturas mais elevadas designada secção de aquecimento (aquecedor de salmoura). As várias etapas têm diferentes pressões correspondentes ao ponto de ebulição da água em cada uma das etapas [29].

O processo inicia-se com água do mar pressurizada a partir da secção de rejeição de calor, a fluir numa série de tubos (permutadores de calor) nos quais há troca de calor com o vapor quente no interior de cada uma das câmaras (etapas). O diferencial térmico existente faz com que a água salgada aqueça enquanto circula pelos tubos. Após atravessar todas as etapas da secção de recuperação de calor, a água do mar pré-aquecida entra no chamado aquecedor de salmoura (secção de aquecimento), onde recebe calor adicional (aumentado a sua temperatura para valores próximos ao ponto de ebulição), através do vapor de uma fonte externa de calor. A seguir fluiu para dentro da última etapa da secção de recuperação de calor, (onde terá atravessado no interior dos tubos antes de entrar no aquecedor de salmoura), cuja temperatura e pressão são mais baixas do que no aquecedor de salmoura. Visto essa água se encontrar a uma temperatura acima do ponto de ebulição para a referida etapa, uma pequena fração evapora-se instantaneamente (o chamado “*flash*”). O vapor gerado entra em contato com o permutador de calor, transferindo assim calor para a água do mar no seu interior (que se encontra a uma temperatura mais baixa) e condensa. O vapor de água condensado precipita no coletor do condensado, que conduz essa água destilada para o exterior do processo atravessando as várias etapas antes de sair na secção de rejeição de calor (secção mais fria do processo). A salmoura restante passa para a etapa seguinte, e o processo repete-se etapa a etapa com a redução sucessiva da pressão (agora a uma temperatura inferior em relação à etapa anterior e assim sucessivamente). Quando a salmoura atinge valores muito elevados de concentração de sais, esta é descarregada a partir da secção de rejeição de calor. Normalmente, as unidades comerciais de MSF são projetadas com 10 a 30 etapas (com uma variação de temperatura de 2°C por etapa) [31]. O esquema da Figura 3.1 ilustra bem o

processo MSF. De acordo com Guerreiro [39], referindo outros autores, o coeficiente de rendimento de uma unidade MSF varia normalmente entre 7 a 9.

O processo MSF usa qualquer tipo de fonte de energia e tem capacidade para tratar uma grande quantidade de água. No entanto, é uma técnica muito dispendiosa uma vez que necessita de uma grande quantidade de energia para alimentar o processo. As instalações de MSF são muitas vezes combinadas com centrais de produção de energia elétrica, numa configuração de cogeração, aproveitando o calor residual da central elétrica para aquecer a água do mar, proporcionando ao mesmo tempo a refrigeração da central. Este procedimento pode reduzir o consumo de energia na instalação de dessalinização em cerca de metade a dois terços, pelo que terá um impacto significativo no custo total de produção de água [3]. Na Figura 3.2 é apresentada uma imagem de um conjunto de 6 unidades MSF, localizada em Taweelah (Abu Dahbi, Emirados Árabes Unidos), cada uma das quais com capacidade para produzir 57 600 m<sup>3</sup>/dia de água dessalinizada.



**Figura 3.1** – Esquema de funcionamento do processo MSF [29].



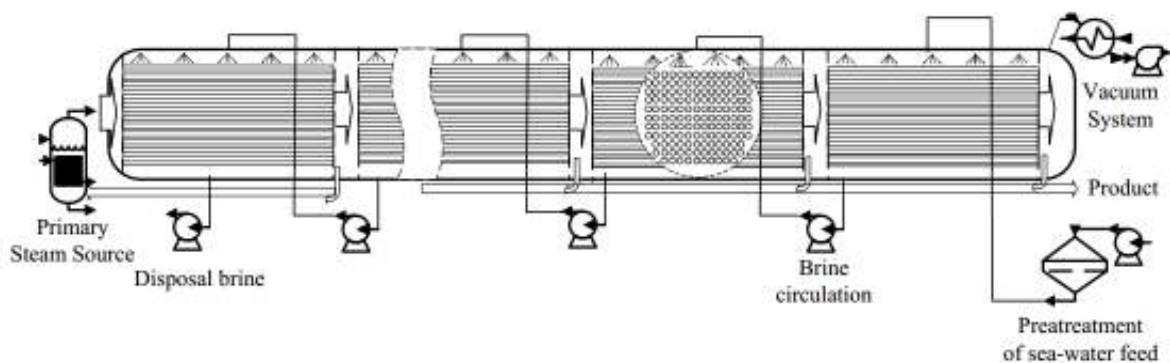
**Figura 3.2** – Instalações de MSF em Taweelah (Abu Dahbi, Emirados Árabes Unidos).  
Fonte: [www.idswater.com](http://www.idswater.com)

### **3.2.2. *Multiple effect distillation***

O processo *Multiple effect distillation* (MED), assim como o processo MSF, tem como princípio a redução sucessiva da temperatura e pressão nas várias câmaras (etapas). Isso permite que a água do mar (de alimentação) sofra múltiplas ebulições sem receber energia adicional, após a primeira câmara. O vapor usado na primeira câmara pode ser fornecido por uma caldeira de vapor, a carvão ou combustível, assim como vapor residual proveniente de uma central de energia elétrica [29].

O processo inicia-se com a água do mar pulverizada sobre a superfície de uma série de tubos com o vapor de água proveniente de uma fonte externa de calor. Este vapor de água aquece as superfícies dos tubos, fazendo com que haja transferência de calor entre as paredes dos tubos e a água do mar. A água do mar é pulverizada numa fina película, favorecendo assim a sua rápida ebulição e evaporação. O vapor gerado a partir da água do mar no primeiro efeito passa para o efeito seguinte através de tubos que ligam os dois efeitos (câmara ou etapa). É esse vapor de água gerado no primeiro efeito que vai fornecer calor ao efeito seguinte, sendo depois recolhido como água destilada. Apenas uma parte da água do mar é evaporada, na primeira câmara, sendo a parte remanescente encaminhada para o efeito seguinte (onde é novamente pulverizada sobre os tubos de vapor de água) – cuja temperatura e pressão são ligeiramente inferiores às verificadas na câmara imediatamente anterior. Este procedimento repete-se até à última câmara onde o teor de concentração da salmoura já está a níveis não desejados, e é encaminhado para fora do processo – o número de câmaras depende da máxima temperatura possível e da mínima temperatura de arrefecimento permitida, que por sua vez depende da temperatura a que se encontra a água do mar. Normalmente as unidades de MED são compostas por 8 a 16 câmaras, operando com tubos horizontais ou verticais [30]. A Figura 3.3 ilustra uma unidade MED com tubos horizontal.

Segundo Guerreiro [39], trata-se de uma técnica com baixo consumo de energia, comparada com outras técnicas (MSF ou RO). Exige um simples pré-tratamento e funciona a baixa temperatura, evitando grande incidência de incrustação e corrosão, resultando em baixos custos de manutenção. Os custos dos trabalhos de engenharia civil são baixos devido à área de implantação ser reduzida. Opera durante 24 horas por dia, exigindo pouca supervisão e com grande eficiência térmica o que permite poupar nos custos energéticos. A Figura 3.4 mostra uma instalação de dessalinização com quatro unidades MED, localizada em St. Croix (Virgin Island, USA) cuja capacidade individual chega a atingir 16 000 m<sup>3</sup>/dia.



**Figura 3.3** – Esquema de funcionamento do processo MED [29].



**Figura 3.4** – Instalação de dessalinização MED em St. Croix (Virgin Island, USA).  
Fonte: [www.ide-tech.com](http://www.ide-tech.com)

### 3.2.3. Vapor Compression

O *Vapor Compression* (VC) é um processo de destilação térmica tipicamente usado por pequenas e médias unidades de dessalinização da água do mar. Assim como o processo MED, esta técnica utiliza o princípio da redução da temperatura do ponto de ebulição, reduzindo a pressão ambiente, sendo que o calor necessário para fazer evaporar a água é produzida através de um mecanismo de compressão de vapor, em vez da troca direta de calor com o vapor produzido por fonte externa (caldeira de vapor) [12]. A compressão do vapor pode ser produzida por duas formas distintas. Numa, a compressão de vapor é efetuada utilizando um compressor mecânico (MVC), a forma mais comum, enquanto na outra, é adicionado pequenas quantidades de vapor a alta pressão por meio de um ejetor (compressão térmica - TVC).

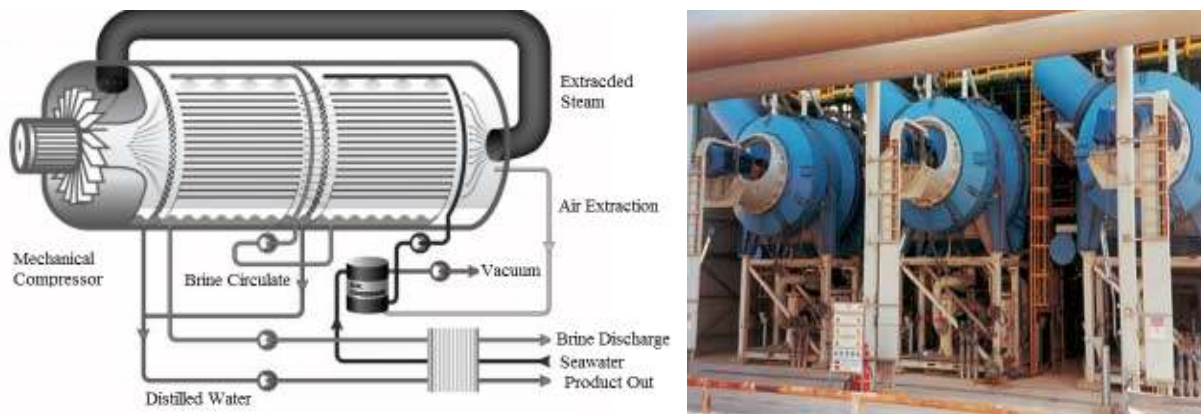
Esta técnica subdivide-se geralmente entre uma a três fases (etapas), o que permite escolher a temperatura de funcionamento mais adequada. Tratando-se da técnica MVC, o processo inicia-se com a água do mar a passar no chamado refrigeradores da salmoura e destilado, onde é pré-aquecida. Após passar no refrigerador, a água do mar pré-aquecida é pulverizada sobre

uma série de tubos (evaporador/condensador) no interior da primeira fase, gerando vapor de água devido ao calor latente das superfícies das paredes dos tubos cujo interior contém vapor de água a uma temperatura superior. O vapor produzido na primeira etapa é então enviado para o compressor de vapor, onde é mecanicamente comprimido, aumentando assim a sua temperatura de ebulição (devido ao aumento de pressão). O vapor de água comprimido é encaminhado para os tubos evaporadores/condensadores no interior da etapa a seguir ao compressor de vapor, onde vai fornecer a energia necessária para gerar novo vapor de água no interior da etapa, ao mesmo tempo que condensa no interior dos tubos condensadores. O vapor produzido nessa etapa pode ser usado para fornecer energia à mesma fase (quando se trata de uma única etapa), ou a outras etapas a seguir cuja pressão seja mais baixa, e o ciclo se repete [29].

Como se pode constatar, este processo não necessita de uma fonte externa de vapor, sendo que a recuperação de energia sob a forma de calor é baseada no aumento da pressão do vapor a partir de um compressor, cujo funcionamento baseia-se em energia elétrica. Isto permite que este processo seja usado muitas vezes em sistemas híbridos com outras tecnologias de dessalinização, permitindo uma otimização do consumo energético do sistema. A Figura 3.5 (esquerda) ilustra uma unidade do processo MVC com duas etapas.

Segundo Semiat [29], o processo VC é considerado o método mais eficiente de dessalinização por destilação. A sua capacidade de operar a baixas temperaturas, permite reduzir a incidência de corrosão e a formação de incrustações. As maiores unidades disponíveis no mercado podem produzir até 5 000 m<sup>3</sup>/dia. A Figura 3.5 (direita) ilustra uma unidade de dessalinização por MVC (*Mechanical Vapor Compression*) localizado na Sardenha (Itália), a maior central de dessalinização MVC do mundo, composta por 6 unidades individuais, correspondendo a uma capacidade total de 17 280 m<sup>3</sup>/dia.

Quase todos os processos de dessalinização requerem algum tipo de pré-tratamento. Os processos térmicos são pouco sensíveis à concentração inicial dos sais e partículas suspensas na água do mar, pelo que um pré-tratamento com técnicas simples de retenção/filtração pode ser suficiente nestes casos. Neste caso o pré-tratamento visa controlar a corrosão e incrustações nas superfícies de transferência de calor, bem como evitar a concentração excessiva de sais devido à decantação no interior das câmaras. Para além da filtragem, o pré-tratamento inclui a adição de ácidos e/ou anti-decantantes, biocidas para prevenir a atividade microbológica e desaeração para remover o oxigénio e para reduzir a possibilidade de acumulação de gás, sem que haja condensação [29].



**Figura 3.5** – Esquema de funcionamento do processo MVC (esquerda) e IDAM por MVC na Sardenha, Itália (direita). Fonte: [www.ide-tech.com](http://www.ide-tech.com)

**Quadro 3.2** – Principais melhorias nos processos térmicos [13].

MSF	MED	VC
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Otimização nos projetos de configuração e equipamentos, projetos de termodinâmica;</li> <li>- O tamanho da unidade típica aumentou de 19 000 para 90 000 m<sup>3</sup>/dia;</li> <li>- Aumento da concentração de salmoura nas câmaras;</li> <li>- Maior fiabilidade das instalações, em termos de desempenho térmico (coeficiente de rendimento acima de 9, ver secção 3.2);</li> <li>- O TBT aumentou gradualmente de 90 a 112°C, e agora a 120°C;</li> <li>- Melhorias nos aspetos estruturais e materiais de construção (materiais de baixo custo);</li> <li>- Redução dos custos de instalação, apesar do aumento do custo das matérias-primas e mão-de-obra;</li> <li>- Utilização de sistemas híbridos (MSF-RO, MSF-NF, MSF-MED e sistemas de refrigeração a ar).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- O tamanho da unidade típica aumentou de 3 800 para 22 700 m<sup>3</sup>/dia;</li> <li>- Redução dos problemas de incrustação com melhoria na configuração dos feixes de tubos condensadores e projeção do vapor de água sobre os mesmos;</li> <li>- Introdução de materiais com superfície de transferência de calor adequada, melhorando assim os coeficientes de transferência de calor;</li> <li>- Estabilização da temperatura mínima de operação constante;</li> <li>- Utilização de alumínio nas superfícies de transferência de calor;</li> <li>- TBT mantida a 70°C;</li> <li>- Uso de sistemas híbridos de TVC com MED.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso de sistemas híbridos de TVC com MED;</li> <li>- O tamanho típico da unidade aumentou;</li> <li>- O consumo de energia é reduzido, e inferior a 6 kWh/m<sup>3</sup>.</li> </ul>

Outro aspeto importante relacionado com estas técnicas tem a ver com o facto da água produzida por destilação não ter o sabor adequado e ter elevada pureza, com muito pouca quantidade de minerais e sais dissolvidos (cerca de 10-50 ppm de TDS), o que as torna agressivas e corrosivas para os materiais normalmente utilizados em sistemas de distribuição de água, tais como metais e betão. Para ultrapassar estes problemas essa água é submetida a um pós-tratamento, que passa pela cloração injetando gás de cloro, hipoclorito de sódio ou cálcio para desinfetar e evitar bactérias, arejamento (ou não) para repor oxigénio e melhorar o sabor, remineralização com injeção de dióxido de carbono e cal (hidróxido de cálcio) para

diminuir a sua agressividade, aumentar a alcalinidade, o pH e o teor de minerais dissolvidos, estabelecendo o equilíbrio de carbonato de cálcio, que por sua vez inibem a corrosão formando camadas protetoras de carbonato de cálcio [15].

Nas últimas décadas os processos térmicos registaram grandes avanços que contribuíram significativamente para a melhoria do desempenho dessas tecnologias, o que levou à redução dos custos nos processos de dessalinização. Gahfour *et al.* [13] resumem as principais melhorias nos processos térmicos, as quais se encontram no Quadro 3.2.

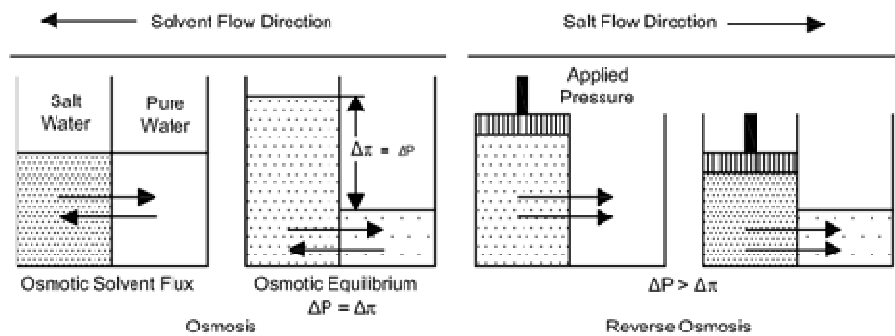
### **3.3. Processos de Membrana**

A membrana é uma fina película de material poroso que permite que as moléculas de água passem através dela, mas, simultaneamente, impede a passagem de moléculas grandes e indesejáveis, tais como, bactérias, metais e sais [36]. As membranas desempenham um papel importante na separação dos sais nos processos naturais de diálise e osmose. Estes conceitos físicos foram adaptados para dois processos de dessalinização com grande aceitação no mercado: *Reverse Osmosis* (RO) e Eletrodiálise (ED). Estes processos utilizam a energia elétrica tanto para operar bombas de alta pressão (no caso dos processos RO e NF) como para a ionização da água salgada (nos processos de ED e EDR).

#### **3.3.1. Reverse Osmosis**

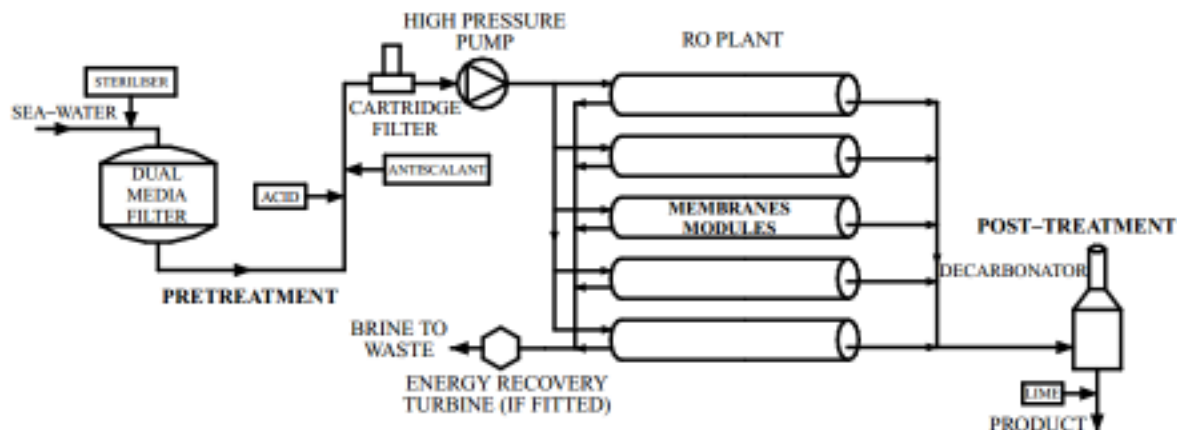
A osmose é um fenómeno físico que ocorre quando dois líquidos com concentração diferentes de solutos e solventes são separados por uma membrana semipermeável. Esta membrana seletiva retém certos iões do soluto e permite a passagem do solvente do lado de menor concentração para o lado de maior concentração do soluto, de modo a estabelecer um equilíbrio químico entre as duas concentrações. Em tal situação origina-se uma diferença de pressões entre os dois lados da membrana, a que se dá o nome de pressão osmótica ( $\Delta P$ ), (ver Figura 3.6). A osmose inversa, ou em inglês *Reverse Osmosis (RO)*, ocorre quando o líquido com maior concentração de soluto (sais) é submetido a uma pressão superior à pressão osmótica, forçando-o a inverter o fluxo no sentido contrário à da osmose, resultando na passagem da água através dos poros da membrana que retém os sais dissolvidos do lado pressurizado, aumentando assim a sua concentração. A membrana usada na RO permite reter

os sólidos dissolvidos totais com concentrações acima dos 45 000 mg/L, podendo ser aplicada tanto na dessalinização da água salobra como da água do mar [36].



**Figura 3.6** - Fluxo por osmose e osmose inversa [36].

O processo RO ocorre à temperatura ambiente, usando a energia elétrica para ativar os dispositivos (bombas de alta pressão) que conferem à água que alimenta o sistema a pressão necessária para atravessar as membranas [2]. A água salina é pressurizada contra as membranas, em recipientes fechados chamados módulo de pressão (ver Figuras 3.9 e 3.10). A alta pressão vai forçar a passagem da água através dos poros da membrana que se encontra aderente à superfície exterior de um tubo localizado ao longo do eixo do módulo. Parte dessa água atravessa a membrana, que retém a maioria dos sólidos dissolvidos, e posteriormente é recolhida. A água que não atravessa a membrana, em conjunto com os restantes sais, é rejeitada (a alta pressão) – pois o aumento contínuo da concentração de sais implica uma maior pressão osmótica para atravessar a membrana, acarretando mais gasto em energia. As principais componentes de uma instalação de dessalinização pelo processo RO são: pré-tratamento da água de alimentação, bombas de alta pressão, membranas de separação e pós-tratamento. Nas instalações de RO a grande escala, torna-se economicamente viável incorporar o chamado dispositivo de recuperação da energia (ERD), existente no fluxo do concentrado, que tal como foi referido é rejeitado a altas pressões. A Figura 3.7 ilustra um sistema de RO de grande escala.



**Figura 3.7** - Esquema de um sistema de RO de grande escala [2].

O pré-tratamento é uma etapa fundamental para garantir um melhor desempenho do processo, isto é, garantir o máximo volume de água tratada, com a menor pressão de serviço e o menor desgaste dos materiais. O pré-tratamento na RO tem como objetivo principal eliminar constituintes indesejáveis da água do mar, que podem causar incrustações “*fouling*” nas membranas. Este aumenta o tempo de vida útil dos equipamentos e acessórios, reduz os custos de manutenção do sistema e o custo de substituição das membranas. O pré-tratamento pode ser mais ou menos complexo, dependendo das características da água de alimentação, o tipo de membrana e sua configuração, a taxa de recuperação e a qualidade da água desejada [38]. O tipo de pré-tratamento requerido é definido através do chamado teste *Silt Density Index (SDI)*, que correlaciona os sólidos em suspensão na água, à tendência de incrustação da membrana. Este teste é utilizado para monitorizar a qualidade da água de alimentação e prevenir o “*fouling*” das membranas<sup>11</sup> [38]. Para as instalações de dessalinização de água do mar utilizando sistemas de RO, a filtração deve ser muito eficiente devido ao alto e também variável índice SDI da água do mar.

Segundo Greenlee *et al.* [38], existe atualmente dois tipos de pré-tratamento, o pré-tratamento convencional e o pré-tratamento com membranas. O pré-tratamento convencional consiste na adição de ácido, adição de coagulantes/floculantes, desinfecção, filtração multimídia (sílica, granito, areia) para remover sólidos em suspensão, filtração por “cartuchos” para remover pequenos micro-organismos (materiais orgânicos, entre outros). O ácido reduz o pH da água de alimentação (pH típico varia entre 5-7), aumentando assim a solubilidade de carbonato de cálcio, que se encontra precipitado na água. Normalmente utiliza-se neste processo o ácido

<sup>11</sup> Normalmente, a água de alimentação para sistemas de RO com membranas tipo espiral necessitam de um SDI inferior a 5, enquanto nos sistemas de RO com membranas fibra fina oca o índice SDI deve ser inferior a 3. Neste contexto, enquanto as águas captadas a grande profundidade (com um SDI típico de 3) não necessitam de filtração, o mesmo não acontece quando a água de alimentação é captada à superfície (com um SDI típico superior a 6).

sulfúrico ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ), mas quando o ácido sulfúrico apresenta potencial para causar precipitação de sulfatos, é utilizado ácido clorídrico ( $\text{HCl}$ ) [38].

Os coagulantes e floculantes assim como os ácidos têm como principal função, preparar a água para o processo de filtração multimédia dos sólidos em suspensão. A coagulação consiste na adição de produtos químicos (orgânicos ou inorgânicos) que têm por finalidade agrupar as partículas em suspensão de dimensões microscópicas (coloidais) existente na água. Os coagulantes inorgânicos são normalmente sais de alumínio ou de ferro tais como o cloreto férrico ou sulfato de alumínio, enquanto coagulantes orgânicos são normalmente polímeros catiónico, de baixo peso molecular (ou seja, cloreto de dimetildialilamónio ou poliaminas). No entanto, o alumínio é menos utilizado devido aos potenciais danos que pode causar ao sistema de membranas. A floculação consiste na formação de agregados maiores e mais pesados (flóculos), devido a agitação moderada da água. Quando a água de alimentação tem qualidade moderada, e dispensa a floculação, é utilizada uma coagulação em linha imediatamente antes da filtração multimédia, de modo alterar as propriedades químicas das superfícies das partículas suspensas e favorecer a sua melhor aderência ao meio filtrante [38].

A filtração multimédia inclui materiais granulares, tais como areia, antracite, pedra-pomes, cascalho e gravilha e, muitas vezes, uma combinação de materiais dispostos em camadas no tanque de filtração, de modo a tirar partido da diferente granulometria dos materiais. Esta filtração pode ser feita em ambiente aberto, usando a gravidade para fazer a água fluir entre o material filtrante, ou em ambiente fechado e pressurizado. Esta última, apesar de ser mais caro e consumir mais energia, é mais comum no pré-tratamento da RO e geralmente reduz o coeficiente SDI da água de alimentação para um fator 2. O filtro de “cartucho” é usado como a última etapa do pré-tratamento convencional de RO. Consiste em superfícies com poros de 1 a 10  $\mu\text{m}$  de diâmetro, e destinam-se a remover pequenas partículas (materiais orgânicos, entre outros com 5 a 10  $\mu\text{m}$ ) que passam na filtração multimédia, e podem obstruir os poros das membranas, portanto, necessária antes da passagem da água nas membranas de RO [38].

A desinfecção é conseguida através da adição de um oxidante, tais como o ozono, o cloro (gás, dióxido de cloro ou hipoclorito de sódio), cloramina, ou permanganato de potássio. O oxidante é normalmente administrado a uma concentração suficientemente elevada (0,5-1,0 mg/L) para permitir que parte residual do desinfetante passe para as restantes partes do sistema de pré-tratamento e impedir o crescimento biológico. Quando é utilizado o cloro como desinfetante, deve-se utilizar o carvão ativado (normalmente contida num filtro) ou bissulfito de sódio no final do sistema de pré-tratamento para remover o cloro, pois, a maior

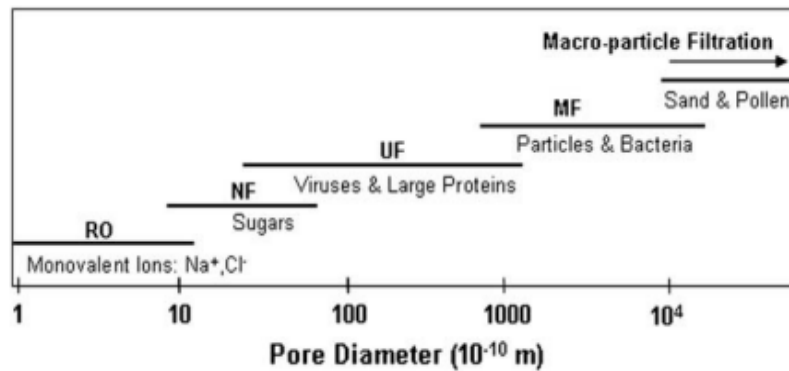
parte das membranas de RO existentes no mercado são feitas de poliamidas aromáticas, e tais estruturas são sensíveis ao ataque químico do cloro. Isto é, a exposição prolongada ao cloro causa a deterioração da membrana [38].

O pré-tratamento da água do mar com recurso a membranas é relativamente recente em sistemas de RO, entre as quais se destaca a Nanofiltração (NF). A NF é um processo de membrana utilizada principalmente no “amaciamento” da água do mar, como alternativa ao “amaciamento” químico [2]. O pré-tratamento por NF para além de eliminar as partículas em suspensão, e reduzir a incrustação microbiana nas membranas de RO (remove a turvação e bactérias), previne a decantação removendo os iões de dureza. Este método minimiza a pressão requerida no processo de RO, pois reduz a concentração dos sólidos totais dissolvidos da água de alimentação [40].

As bombas de alta pressão são um dos elementos fundamentais do processo, pois são estes equipamentos que vão fornecer a energia necessária para que se atinja a pressão desejada para fazer atravessar a água através das membranas. O processo utiliza a energia elétrica para o funcionamento das bombas, sendo o dispositivo que mais energia consome nos sistemas de RO. A utilização de energias renováveis implica necessariamente a incorporação de dispositivos de recuperação de energia para minimizar o custo de energia, pois o custo unitário de produção das energias renováveis ainda é muito elevado. Segundo Younos e Tulou [36], a pressão de serviço à entrada das membranas está diretamente relacionada com a concentração de sólidos totais dissolvidos na água. Semiat [29] refere que para o tratamento de água salobra, a pressão necessária situa-se entre 10-25 bar enquanto para água do mar este valor varia entre 50-80 bar. Neste contexto, são usadas geralmente bombas centrífugas.

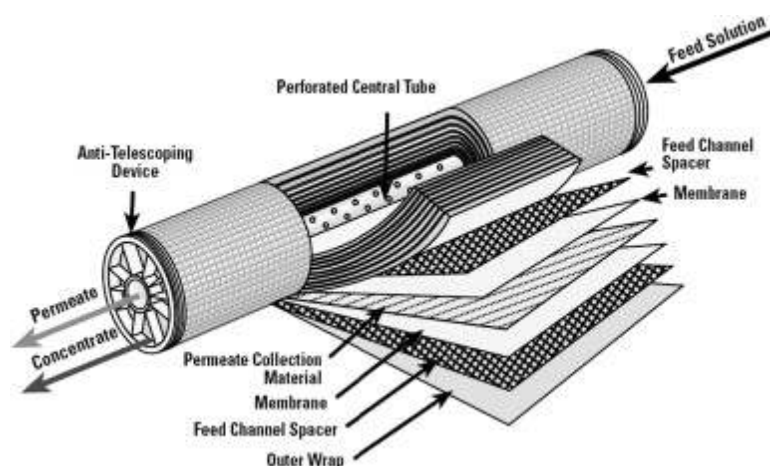
As membranas são o elemento primordial do processo de RO, pois são estas que vão formar a barreira que permite separar os sais da água. As membranas são sensíveis às variações do pH, pequenas concentrações de substâncias oxidadas, como óxidos de cloro, uma vasta gama de materiais orgânicos, algas e bactérias, daí a importância do pré-tratamento referido anteriormente. A capacidade de rejeição dos sais pelas membranas aumentou muito ao longo dos últimos anos, aumentando assim o índice de recuperação da água salgada. Segundo Ghaffou *et al.* [13], a taxa de conversão da dessalinização da água do mar (35 000 mg/L de salinidade) passou de 25% em 1980 para 35% em 1990. Atualmente situa-se nos 45% e pode chegar ao 60% se for aplicada uma segunda fase. Na Figura 3.8 podemos constatar que as membranas de RO podem reter substâncias de dimensões muito reduzidas (entre 1-10

Angström<sup>12</sup>), enquanto outras membranas, incluindo a Nanofiltração (NF), Ultrafiltração (UF) e Micro-filtração (MF), permitem remover substâncias de tamanho crescente [34].



**Figura 3.8** - Diâmetros nominais dos poros das membranas existentes [38].

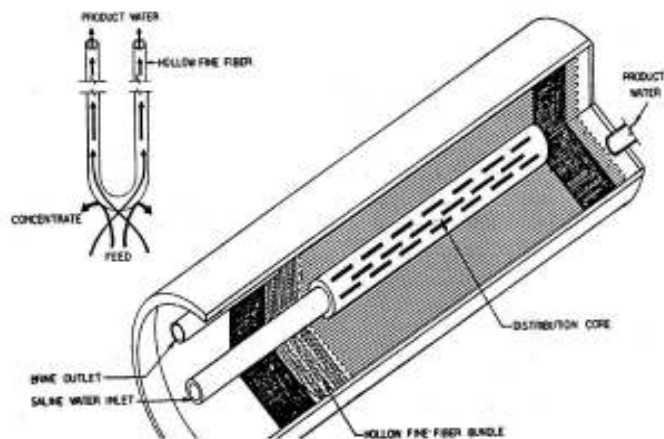
As membranas são normalmente fabricadas com diferentes materiais, tais como tri-acetato de celulose, poliamida, e constituídas por finas camadas de polímeros semipermeáveis, presos a um tubo no interior dos módulos de pressão. Os tipos de membranas distinguem-se entre simétricas, assimétricas e compósitas [38]. Quanto aos tipos de configurações e desenhos de membranas, em termos comerciais os mais importantes são: membrana em espiral (em Inglês *Spiral-wound*) e membrana em fibra fina oca (em Inglês *Hollow-fine-fiber*). Estas encontram-se ilustradas nas Figuras 3.9 e 3.10, respetivamente.



**Figura 3.9** - Esquema estrutural de um módulo de membrana em espiral.

Fonte: <http://espwaterproducts.com/about-reverse-osmosis.htm>

<sup>12</sup> O Angström (Å) é uma unidade de medida de comprimento que se relaciona com o metro através da relação  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ m}$ . Esta unidade é igualmente utilizada para lidar com grandezas da ordem do átomo.



**Figura 3.10** - Esquema estrutural de um módulo de membrana em fibra fina oca.

Fonte: <http://buildingcriteria1.tpub.com>

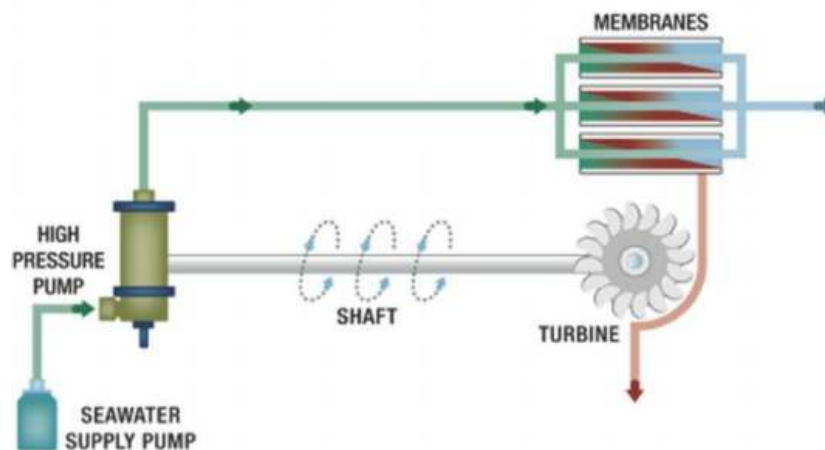
De acordo com Semiat [29], quanto maior a temperatura da água de alimentação (tendo em conta o limite permitido pela membrana), maior será o fluxo de água através da membrana (devido à menor viscosidade da água). Logo, uma das soluções possíveis para aumentar a eficiência do processo, seria usar a água do mar utilizada nos processos de arrefecimento das centrais elétricas [39].

No que diz respeito ao pós-tratamento (correção da água dessalinizada a partir do processo RO), esta geralmente inclui o ajuste do pH, remoção de gases dissolvidos tais como o dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e sulfeto de hidrogénio ( $\text{H}_2\text{S}$ ), e dependendo da água de alimentação, a adição de cal [ $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ] e desinfecção com cloro ou hipoclorito de cálcio [15]. A adição de cal tem como propósito aumentar a dureza da água dessalinizada, a alcalinidade e o pH, bem como prevenir a lixiviação de cálcio nas condutas do sistema de distribuição de água. A dureza da água é o parâmetro responsável pelo sabor típico de água potável, e também evita a corrosão. A alcalinidade (carbonato e bicarbonato) ajuda a estabilizar o pH da água ao longo da rede de distribuição – também pode ser usado a soda cáustica [ $\text{NaOH}$ ] para ajustar o pH. O pós-tratamento em certos casos pode também incluir a reposição do flúor [38].

A par do desenvolvimento de novas membranas, o desenvolvimento dos dispositivos de recuperação de energia (ERDs) têm contribuído muito para a redução dos custos de operação nas últimas décadas. A principal função de um dispositivo de recuperação de energia é melhorar a eficiência energética do sistema, a partir do aproveitamento da energia na rejeição da salmoura e devolvendo-a novamente à água de alimentação. A pressão de saída da salmoura perde cerca de 1-4 bar em relação à pressão aplicada pela bomba de alta pressão à água de alimentação [15,38]. Vários métodos têm sido explorados no domínio de dispositivos

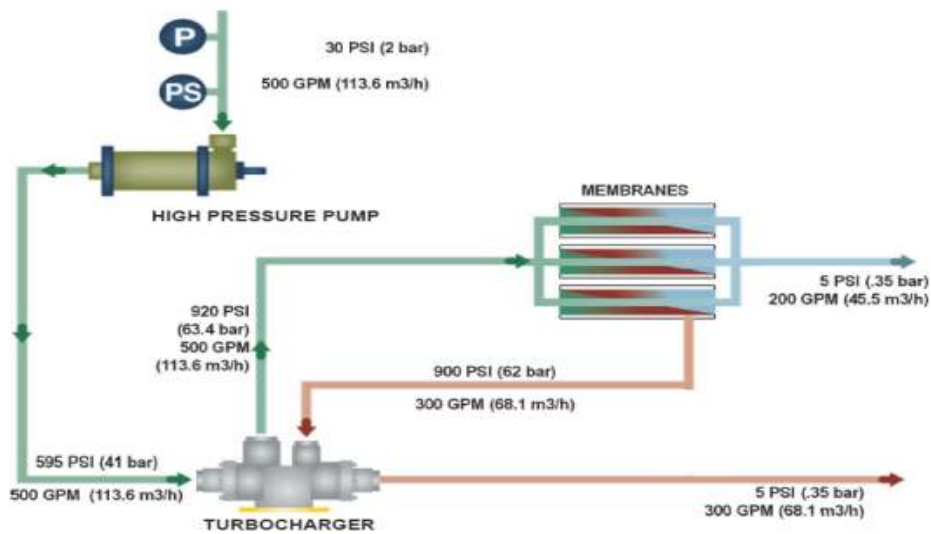
de recuperação de energia [41], os quais são classificados de seguinte forma:

- Sistema hidráulico-mecânico de recuperação de energia: Este sistema utiliza uma turbina ligada a um eixo que por sua vez está ligado à bomba de alta pressão (fazendo funcionar a bomba de alimentação principal). A turbina referida pode ser Pelton ou Francis. Estes sistemas são conhecidos com ERDs de primeira classe. A principal desvantagem deste sistema é que envolve uma dupla conversão de energia. A primeira conversão ocorre quando a energia hidráulica da salmoura é convertida em energia mecânica do eixo de rotação, e a segunda conversão ocorre quando a energia mecânica do veio é convertido em energia hidráulica da água de alimentação (ver Figura 3.11). Este procedimento é pouco eficiente e a redução dos custos associados ao processo de RO são pouco significativos [41].



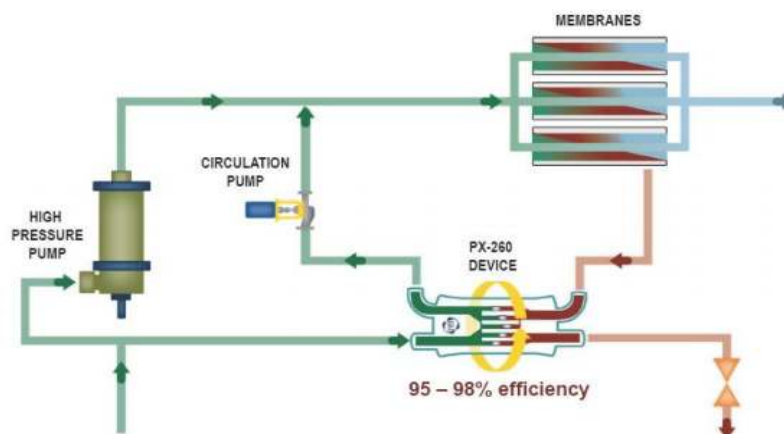
**Figura 3.11** – Sistema hidráulico-mecânico de recuperação de energia [41].

- Sistema em série de recuperação de energia: Este sistema pertence à segunda classe de ERDs. O dispositivo é composto por um impulsor e uma turbina, acoplados a um eixo dentro da mesma caixa, sendo que a bomba de alta pressão (bomba de alimentação principal) e a câmara do impulsor são colocadas em série (ver Figura 3.12). Estes sistemas ganharam grande aceitação entre os consumidores, especialmente em pequenas e médias instalações de dessalinização. Este tipo de sistema não é muito eficiente, porém apresenta melhores resultados do que os ERDs da primeira classe [41].



**Figura 3.12** – Sistema em série de recuperação de energia [41].

- Sistema em paralelo de recuperação de energia: Esta técnica surgiu no final dos anos 80, e baseia-se na “teoria de troca de trabalho”, isto é, na transferência direta de energia hidráulica da salmoura para a água de alimentação (ver Figura 3.13) [41]. Esta "teoria de intercâmbio de trabalho" levou ao desenvolvimento da terceira classe de dispositivos de recuperação de energia, na qual se integra bombas em paralelo. A bomba principal de alimentação é colocada em paralelo com o dispositivo e opera sobre uma corrente da alimentação cuja quantidade é igual ao valor do produto; o dispositivo funciona com uma outra corrente de alimentação cuja quantidade é igual à salmoura rejeitada, aumentando assim a eficiência energética do processo que poderá atingir valores acima dos 90% [41]. Como exemplo de permutadores de trabalho temos o PX (Pressure Exchanger ou permutador de pressão), o Recuperator (câmara isobárica) e o RO Kinetic. Esses dispositivos são designados ERDs de terceira classe. Atualmente o RO Kinetic é um dos dispositivos de recuperação de energia mais promissoras no mercado, podendo atingir eficiências energéticas da ordem dos 98%, praticamente sem manutenção e grande facilidade de operação [42].



**Figura 3.13** – Sistema em paralelo de recuperação de energia [41].

Os avanços tecnológicos verificados nas últimas décadas permitiram alcançar melhorias significativas da tecnologia de dessalinização por RO. Estas melhorias contribuíram, por exemplo, para reduzir o custo unitário da água dessalinizada e o aumento de capacidade das centrais. O Quadro 3.3 apresenta algumas das principais melhorias [13].

**Quadro 3.3** – Principais melhorias registadas em relação ao processo RO [13].

Componentes do processo	Melhorias
Membranas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Melhor desempenho das membranas no que diz respeito à rejeição de sal;</li> <li>- Aumento da área de superfície das membranas por unidade de volume atravessado;</li> <li>- Aumento do tempo de vida útil das membranas;</li> <li>- Capacidade para trabalhar com pressões mais elevadas;</li> <li>- Redução dos custos das membranas.</li> </ul> <p>Observação: Estas melhorias têm implicação direta na redução do investimento e custos de operação.</p>
Sistemas de recuperação de energia	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução do consumo de energia, devido à utilização de sistemas de recuperação de energia mais eficientes (redução do custo de operação).</li> </ul>
Pré-tratamento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Introdução de processos de Microfiltração e Ultrafiltração, reduzindo a quantidade de químicos utilizados (tornando o processo mais “amigo” do ambiente) e o consumo de energia.</li> </ul>
Sistemas de captação	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento de novos projetos de captação de água, nomeadamente, poços horizontais ou drenos ou ainda galerias de captação. Estes sistemas de filtração natural, para além de reduzir os impactos de arrastamento de partículas, reduzem a quantidade de produtos químicos utilizados.</li> </ul>

A Figura 3.14 ilustra algumas unidades de RO de uma central de dessalinização de água do mar, localizada em Larnaca (Chipre). Esta central está em funcionamento desde 2001, e tem atualmente capacidade para produzir 21,5 milhões de metros cúbicos de água dessalinizada

por ano – encontra-se atualmente em expansão [43].



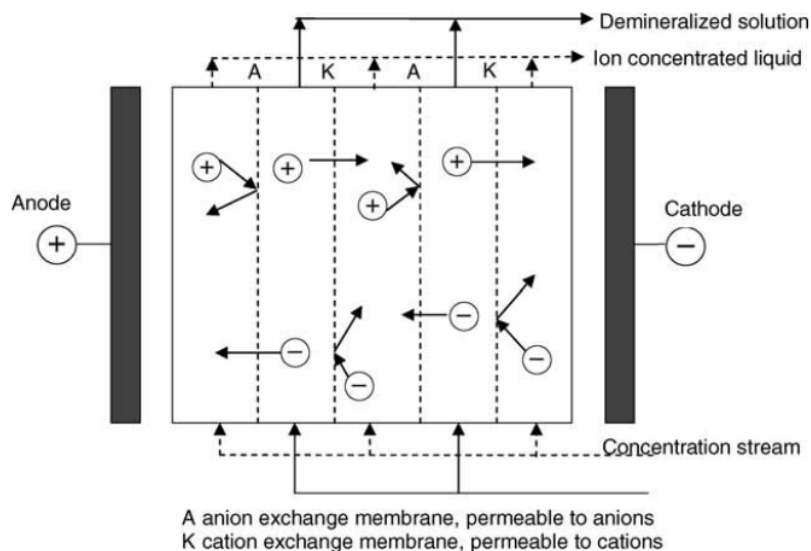
**Figura 3.14** - Unidades de RO de uma instalação de dessalinização de água do mar (IDAM) (Larnaca, Chipre). Fonte: [www.ide-tech.com](http://www.ide-tech.com)

### 3.3.2. Eletrodialise e Eletrodialise Reversível

A Eletrodialise (ED) consiste basicamente na remoção de componentes iônicos (sais) de uma solução aquosa salina através de membrana, aplicando uma força eletromotriz em elétrodos que se encontram em ambos os lados da membrana. A membrana é seletiva, semipermeável, e só permite a passagem dos iões negativos (aniões) ou iões positivos (catiões). Neste processo a separação dos sais dissolvidos na água dá-se devido à natureza das cargas (íons) das substâncias, ao invés das diferenças das suas dimensões como acontece na RO. Os iões de sódio (catiões) são atraídos pelo catodo e os iões de cloreto (aniões) são atraídos para o ânodo, e imediatamente removidos, resultando numa água com menos substâncias iónicas (sais dissolvidos). As membranas estão dispostas alternadamente sendo uma membrana seletiva dos aniões, seguida por uma membrana seletiva de cationes. Segundo Paul Chen *et al.* [43] um sistema de ED pode operar sobre uma vasta gama de pH (entre 1,0-13,0), assim como uma vasta gama de temperaturas (até 43°C), porém o custo de operação e manutenção da ED é ligeiramente superior ao da RO. Segundo Younos e Tulou [36], esta técnica tem ainda uma elevada taxa de recuperação e consegue remover entre 75% e 98% de TDS.

O principal inconveniente deste processo é o fato das superfícies das membranas poderem ser facilmente obstruídas. Para colmatar esse problema desenvolveu-se uma nova técnica baseada na eletrodialise, designada Eletrodialise Reversível (EDR). Esta técnica é semelhante à ED, porém invertendo alternadamente a polaridade de corrente entre o catião e o anião. Isto é benéfico pois evita a escamação do material e a acumulação de resíduos nas membranas

permitindo a sua lavagem. O processo EDR típico opera durante 15 minutos em cada polaridade. Younos e Tulou [36], referenciando Brunner [44], afirmam que estas duas tecnologias são as mais adequadas no tratamento de água salobra com TDS até 4 000 mg/L, porém deixam de ser um processo económico para concentrações superiores. A Figura 3.15 mostra o mecanismo de funcionamento do processo. A ED processa-se no chamado célula, sendo esta o espaço delimitado por duas membranas diferentes, uma de transferência de anião, a outra de transferência de catião. Com duas células temos uma unidade de células ou um par de células. As células vão alternando entre duas fases: primeiro com poucos iões (canal de água dessalinizada) e depois com elevada concentração de iões (canal da salmoura). As unidades de células e eléctrodos podem ser dispostos horizontalmente ou verticalmente, sendo o conjunto designado de pilha de membranas. Este processo requer enormes quantidades de energia.



**Figura 3.15** - Esquema de funcionamento de uma pilha de membranas ED/EDR [43].

A solução salina, ao entrar nas células que se encontram sob um determinado potencial elétrico entre eléctrodos, fazem com que os aniões (carga negativa) migrem em direção ao ânodo (eléctrodo de carga positiva) e os catiões (carga positiva) em direção ao cátodo (eléctrodo com carga negativa). Visto que as membranas seletivas de aniões e catiões estão dispostas alternadamente, os catiões atravessam a membrana seletiva de catiões e são retidas pelas membranas seletivas de aniões e vice-versa. Consequentemente, a concentração de sais no canal de água potável diminui, enquanto no canal de salmoura a concentração aumenta [43].

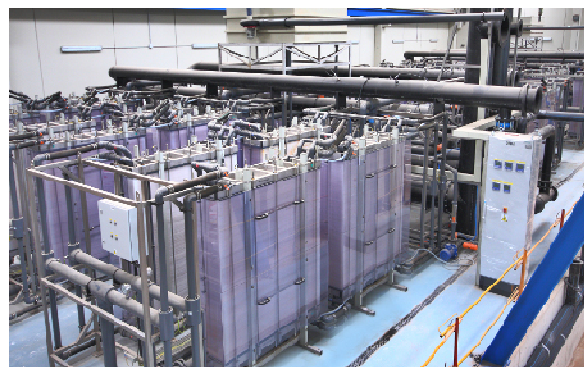
De acordo com Paul Chen *et al.* [43], a qualidade da água dessalinizada por este processo depende dos seguintes fatores: 1) temperatura das águas a tratar; 2) quantidade de corrente elétrica transmitida; 3) tipo e quantidade de iões; 4) propriedades da membrana de

permeabilidade seletiva; 5) potencial de incrustação e sedimentação da água de alimentação; 6) taxa de fluxo de águas de alimentação; e 7) número e configuração das fases.

Antes da água de alimentação ser submetida ao processo de ED, é necessário o seu pré-tratamento para remover os sólidos em suspensão, microrganismos, iões orgânicos e óxidos metálicos e substâncias orgânicas coloides, que de outra forma podem danificar as membranas e alterar as suas propriedades químicas, afetando assim o seu desempenho. Geralmente este pré-tratamento consiste no tratamento por carvão ativado (para remover o material orgânico), floculação (para remover os coloides) e uma filtragem. O crescimento de microrganismos é um outro tipo de problema a ter em consideração, uma vez que pode causar incrustação da membrana. Neste caso é adicionado o cloro para fazer a desinfecção de modo a evitar que estes cresçam na membrana [43].

Após o pré-tratamento, a água de alimentação é bombeada através da pilha de membranas ED, que usualmente contém mais de 100 pares de células de membrana, cada uma com uma área de membrana de 1-2 m<sup>2</sup>. A bomba de baixa pressão permite que a água atravesse a pilha de membranas, ao exercer pressão suficiente para vencer a resistência à passagem da água. Paul Chen *et al.* [43] afirmam que a energia necessária para fazer atravessar a água através das membranas aumenta com a diminuição da concentração média de sal na água de alimentação. Isto pode ser significativo quando a concentração de sais na água de alimentação toma valores muito baixos. Younos e Tulou [36], referenciando Brunner [44], referem que a pressão exigida pelas bombas está entre 70 e 90 psi (0,48 e 0,62 MPa).

O pós-tratamento inclui a estabilização e ajuste do pH da água e a remoção de gases indesejáveis, tais como o sulfureto. A Figura 3.16 ilustra algumas pilhas de membranas EDR de uma central de dessalinização de água salobra, localizada em Barcelona (Espanha). Esta central está em funcionamento desde 2009, cuja capacidade instalada é de 60 000 m<sup>3</sup>/dia.



**Figura 3.16** – Instalação de dessalinização de água salobra por membranas EDR em Barcelona (Espanha). Fonte: [www.abeinsa.com](http://www.abeinsa.com)



## *Capítulo IV – Arquipélago de Cabo Verde*

*(caso de estudo)*

---

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

## 4.1. Introdução

A escassez de água potável em Cabo Verde foi sempre um dos maiores entraves ao desenvolvimento socioeconómico do país. Tal situação resulta das condições climáticas que se verificam no país, ou seja fraca pluviosidade e sua irregularidade (no tempo e no espaço), da descontinuidade do país (país insular) e da dispersão dos diversos aglomerados populacionais. Paralelamente a essa situação, o aumento da população, o crescimento urbano e o aumento das necessidades de água para irrigação, turismo, indústria e outros, causa situações de *stress* hídrico, cuja tendência é para o seu agravamento no futuro. Por se tratar de um país insular, esta situação assume ainda maior importância, devido à impossibilidade de transferências hídricas. Assim, e tal como já referido anteriormente, em Cabo Verde a água é um recurso que tanto pela sua quantidade como pela sua qualidade, um forte condicionante ao crescimento económico e ao bem-estar social.

### 4.1.1. Localização Geográfica

Localizado a cerca de 450 km da costa ocidental africana, ao largo do Senegal (ver Figura 4.1), o arquipélago de Cabo Verde é constituído por dez ilhas (Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, Sal, Boa Vista, Maio, Santiago, Fogo e Brava) e cinco ilhéus. As ilhas ocupam, no seu conjunto, uma superfície emersa total de 4 033 km<sup>2</sup> e uma zona económica exclusiva que se estende por cerca de 734 000 km<sup>2</sup> [45]. A ilha de Santa Luzia e os ilhéus (não habitados) ocupam cerca de 46 km<sup>2</sup>. A linha de costa é relativamente grande, com aproximadamente 1 020 km, preenchida de praias de areia negra e branca que se alternam com escarpas. O arquipélago está dividido em dois grupos de acordo com a sua localização e direção dos ventos dominantes do Nordeste. O grupo a Norte, designado de grupo Barlavento, inclui os ilhéus Branco e Raso e as ilhas de Santo Antão, São Vicente, Santa Luzia, São Nicolau, e também Sal e Boa Vista, sendo estes dois últimos mais a leste. O grupo a Sul, designado de Sotavento, inclui as ilhas de Maio, Santiago, Fogo, Brava e alguns ilhéus (entre os quais, os ilhéus Grande, Rombo e Baixo). A capital é a cidade da Praia, localizada na ilha de Santiago, a maior ilha do país.



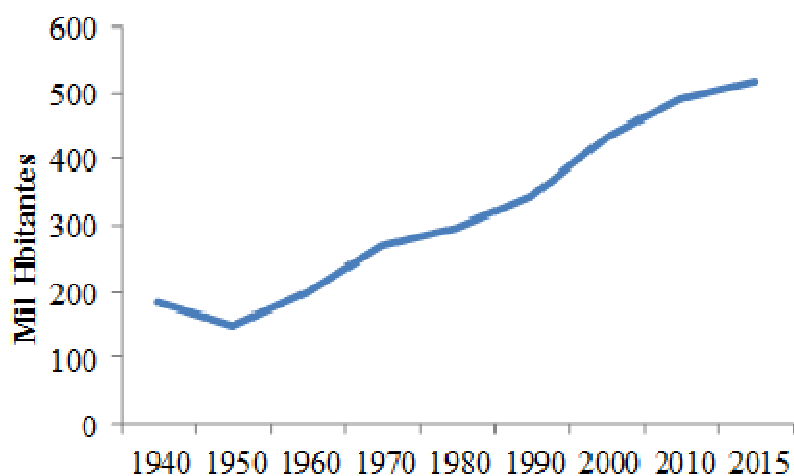
**Figura 4.1** – Mapa do Cabo Verde em relação aos ventos dominantes.  
 Fonte: <http://www.ezmapfinder.com/>

#### 4.1.2. Caracterização e Evolução Demográfica

A população de Cabo Verde é relativamente jovem, sendo que 47% da população tem menos de 15 anos, 64,3% tem menos de 25 anos e 8,6% corresponde à população com mais de 60 anos. O censo realizado em 2010 revelou uma desaceleração da taxa de crescimento da população para 1,25%, com a população a rondar atualmente 491 683 habitantes [46]. A repartição da população entre ilhas é muito irregular devido às migrações internas, sendo que, cerca de 74% dos fluxos migratórios dirigem-se para as ilhas de Santiago e São Vicente, onde se encontram os dois centros urbanos da Praia e do Mindelo, principais polos de atração em que também podemos incluir as ilhas do Sal e Boa Vista. De acordo com os dados do INE<sup>13</sup> [46], em 2010, a população urbana em Cabo Verde era de 303 673 habitantes (62%), enquanto a população rural correspondia a 188 010 habitantes (38%). De notar que cerca de 80% da população Cabo-verdiana ocupa as zonas costeiras. Estima-se que em 2015 o número total de habitantes no país possa atingir valores próximos dos 520 mil habitantes, dos quais 64,4% passará a residir em centros urbanos. Na Figura 4.2 pode-se observar a tendência de

<sup>13</sup> Instituto Nacional de Estatística (INE): <http://www.ine.cv/censo/censo2010.aspx>

crescimento da população em Cabo Verde entre 1940 e 2010, bem como a estimativa da população para 2015, previsto pela *Unite Nations Populations Division* (UNPD) [47].



**Figura 4.2** - Evolução e projeção demográfica em Cabo Verde (1940 e 2015). Fonte: INE e UNPD.

#### **4.1.3. Disponibilidade de recursos hídricos em Cabo Verde**

Para compreender melhor a disponibilidade de recursos hídricos em Cabo Verde é necessário conhecer alguns parâmetros, entre os quais, se destacam, a precipitação, a temperatura, o tipo de uso e ocupação do solo e as reservas de água à superfície e em profundidade. Este tipo de análise permite perceber melhor a escassez dos recursos hídricos em Cabo Verde e a razão pela qual se utiliza a dessalinização como fonte de água potável alternativa no país.

##### **a) Precipitação**

Localizado na zona saheliana, as condições climáticas no arquipélago de Cabo Verde são do tipo subtropical árido a semiárido, caracterizado por uma curta estação de chuvas que vai de julho a outubro, resultante de uma frente intertropical, com fracas precipitações, mal distribuídas no tempo e no espaço e por vezes torrenciais, constituindo o principal fator da erosão acelerada dos solos e danos nas infraestruturas. As precipitações de maior intensidade estão concentradas nos meses de agosto e setembro, durante o qual chove 60% a 80% da precipitação total anual, e são geralmente fracas em todo o território, sendo que a quantidade de chuva nas ilhas está relacionada com o relevo e latitude. A precipitação média anual, em todo o arquipélago, é de aproximadamente 230 mm [48].

Nas zonas situadas a menos de 400 m de altitude, a precipitação média anual não ultrapassa 300 mm, sendo as zonas sob a influência negativa dos alísios ainda mais secas (150 mm). Nas zonas situadas a mais de 500 m de altitude e expostas aos alísios, as precipitações podem ultrapassar 700 mm. Neste contexto, verifica-se que as ilhas montanhosas são as mais chuvosas, nomeadamente, Fogo, Santiago, Santo Antão e Brava. As ilhas mais orientais do arquipélago e as mais planas são as que menos têm precipitação, estas são as ilhas do Sal, da Boa Vista e Maio. As outras ilhas apresentam condições de pluviosidade intermédia. No Quadro 4.1 é possível comparar a precipitação média em cada uma das ilhas, tendo em consideração as suas características morfológicas.

Considerando a precipitação média anual (P) como um índice de classificação climática, a cada uma das ilhas é possível atribuir a seguinte classificação [48]: i) Sal e Boa Vista: extremamente árido ( $P < 100$  mm); ii) São Vicente, São Nicolau e Maio: árido ( $100 \text{ mm} < P < 200$  mm); e iii) Santo Antão, Fogo, Santiago e Brava: semiárido ( $200 \text{ mm} < P < 500$  mm).

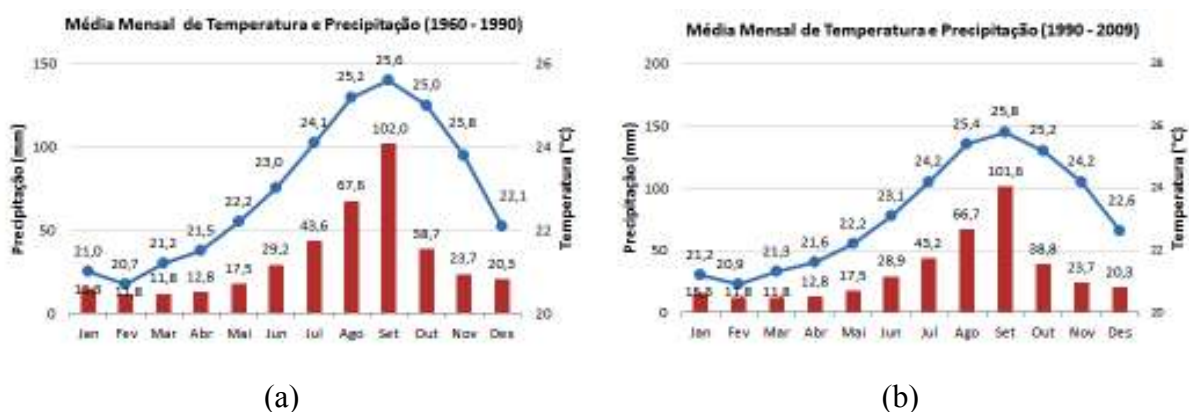
**Quadro 4.1** – Precipitação média e características morfológicas das ilhas [48].

Ilhas	Superfície (km <sup>2</sup> )		Altitude (m)	Precipitações (mm/ano)	Terra arável (ha)	
Santo Antão	785	19%	1 979	237	8 800	21%
São Vicente	230	6%	750	93	450	1%
Santa Luzia	46	1%	-	-	-	-
São Nicolau	347	9%	1 312	142	2 000	5%
Sal	221	5%	406	60	220	1%
Boa Vista	628	15%	387	68	500	1%
Maio	275	7%	437	150	660	2%
Santiago	1 007	25%	1 394	321	21 500	52%
Fogo	470	12%	2 829	495	5 900	14%
Brava	63	2%	976	268	1 060	3%

## b) Temperatura

Outro aspeto importante, e relacionado com o ciclo hidrológico, é a temperatura média anual, a qual tem vindo a sofrer alterações nos últimos anos devido às mudanças climáticas. O problema das alterações climáticas, decorrentes da emissão de gases de efeito de estufa para a atmosférica, está na ordem do dia e coloca interrogações sobre a redistribuição espacial e temporal da temperatura e precipitação a nível global. A este respeito, e apenas como exemplo, cita-se aqui um excerto do artigo publicado no jornal alemão *Deutsche Welle*<sup>14</sup> relativamente às preocupações dos países africanos relativamente ao impacto das alterações climáticas: “*Desertificação, cheias, secas, perda de culturas agrícolas, aumento da temperatura, erosão costeira e escassez de água são algumas das preocupações apresentadas pelos cerca de 40 países africanos representados em Bona*”.

Sendo a pluviometria e a temperatura dois parâmetros do clima, com mais impacto sobre os recursos hídricos, torna-se óbvio que a variabilidade e mudança climática têm implicações diretas na produção de água potável, para o abastecimento das populações, agricultura e indústrias, com repercussões imediatas na economia. Sendo assim é importante avaliar as variações e alterações no clima registado ao longo dos últimos anos. As Figura 4.3 (a) e 4.3 (b) mostram o histórico da média mensal de temperatura e precipitação em Cabo Verde entre 1960-1990 e 1990-2009, respetivamente. Observando os gráficos da Figura 4.3, podemos constatar um ligeiro aumento da média mensal das temperaturas registada no país no período 1990-2009, em relação ao período de 1960-1990.



**Figura 4.3** – Média mensal da temperatura e precipitação em Cabo Verde durante os períodos 1969-1990 e 1990-2009. Fonte: *The World Bank Group - Climate Change Knowledge Portal*<sup>15</sup>

<sup>14</sup> Artigo publicado no jornal alemão *Deutsche Welle*, em 08/06/2011 (acedido em 06/06/2013): <http://www.dw.de/Africa-reticente-quanto-aos-progressos-sobre-mudancasclimaticas>

<sup>15</sup> [http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country\\_historical\\_climate&ThisRegion=Africa&ThisCCCode=CPV](http://sdwebx.worldbank.org/climateportal/index.cfm?page=country_historical_climate&ThisRegion=Africa&ThisCCCode=CPV) accedido em 12/09/2013

### c) Tipo de uso e ocupação do solo

Em Cabo Verde, os solos são no geral duros e compactos<sup>16</sup>, e formaram-se a partir de rochas vulcânicas tais como os basaltos, fotolitos, tufos, escórias, traquitos, andesites e rochas sedimentares, principalmente calcárias. São, na sua grande maioria, esqueléticos e pobres em matéria orgânica. Apenas 10% das terras são, potencialmente aráveis; destas, 95% têm vindo a ser ocupadas pela agricultura de sequeiro<sup>17</sup> e os restantes 5% pela agricultura de regadio. A maior parte das terras aráveis localizam-se em zonas semiáridas e áridas, onde a pressão dos fatores climáticos adversos se manifesta com maior intensidade, dificultando assim o estabelecimento do coberto vegetal, indispensável à produção agrícola [49].

### d) Reservas de água superficiais e subterrâneas

Os recursos hídricos superficiais e subterrâneos existentes no arquipélago de Cabo Verde estão diretamente relacionados com a precipitação. Sabendo que a precipitação em Cabo Verde é reduzida e irregular, com a agravante de que uma grande parte da água que resulta da precipitação se perde no mar, verifica-se que as reservas superficiais e subterrâneas de água potável são limitadas, pelo que requerem uma gestão e exploração sustentável sob pena de se degradarem ainda mais os ecossistemas.

Cursos de água permanentes (rios e lagos) são inexistentes no país. Tirando a ilha de Santo Antão, onde se verifica a existência de algumas ribeiras durante quase todo o ano, nas outras ilhas a água superficial flui apenas durante algumas horas nas principais ribeiras após chuvadas, pois as características vulcânicas e/ou íngremes do arquipélago facilitam o escoamento superficial de forma rápida e com pouca infiltração. De acordo com o “Esquema Diretor para a Exploração dos Recursos Hídricos” (1993-2005) [51], o balanço hidrológico mostra que a precipitação sobre as ilhas se reparte em termos médio, da seguinte forma: evaporação (67%), escoamento superficial (20%) e recarga de aquíferos (13%).

Os recursos hídricos superficiais estão estimados em cerca de 181 milhões de metros cúbicos por ano [50]. A exploração destes recursos é muito escassa, sendo que a captação e o armazenamento representa uma parcela muito insignificante do volume potencial existente. A captação e armazenamento de águas da chuva, é evidenciada com alguma relevância na ilha

---

<sup>16</sup> Este tipo de solo favorece o rápido escoamento da água superficial, dificultando a infiltração da água de precipitação bem com o melhor aproveitamento da água superficial, muito por culpa também do tipo de escoamento superficial (torrencial devido à chuva intensa) que ocorre nas ilhas.

<sup>17</sup> A agricultura de sequeiro é uma técnica agrícola para cultivar terrenos onde a pluviosidade é reduzida. A expressão “sequeiro” deriva da palavra “seco” e refere-se a uma plantação em solo firme.

do Fogo, através da utilização de cisternas e sistemas prediais de recolha de águas pluviais [48]. Porém nos últimos anos uma nova dinâmica tem vindo a ser implementada no que se refere à captação e armazenamento das águas da chuva, através da construção de novas infraestruturas hidráulicas de maior dimensão, com destaque para a primeira barragem de Cabo Verde em 2006. Localizada na bacia hidrográfica da Ribeira Seca (Poilão), no interior da ilha de Santiago, esta infraestrutura tem por objetivo o armazenamento de água para irrigação, tendo uma capacidade máxima de  $1,7 \text{ hm}^3$  (ver Figura 4.4).



**Figura 4.4** – Barragem de Poilão à cota máxima: a) albufeira, b) descarregador.  
Fonte: Caboindex e blogue ssantacruz

Para além da barragem de Poilão, foram concluídas no decorrer deste ano mais três barragens na ilha de Santiago: i) barragem de Salineiro (Ribeira Grande), cuja capacidade de armazenamento é  $0,651$  milhões  $\text{m}^3$ ; ii) barragem de Faveta (São Salvador do Mundo), cuja capacidade de armazenamento é  $0,563$  milhões  $\text{m}^3$ ; e iii) barragem de Saquinho (Santa Catarina), cuja capacidade de armazenamento é  $0,538$  milhões  $\text{m}^3$ .

A quantidade de água armazenada com a construção destas infraestruturas ainda assim é muito insignificante face ao potencial existente, visto representarem menos de 1% do total de escoamento superficial estimado no país (ver Quadro 4.2). Para além das infraestruturas já referidas, encontra-se em curso a construção de várias outras barragens nomeadamente em Santiago (Figueira Gorda, em Santa Cruz), Santo Antão (Canto Cagarra), São Nicolau (Banca Furada), para além de estudos para construção de uma barragem para a ilha de Boa Vista. A utilização da água armazenada nestas infraestruturas permitirá, no futuro próximo, uma melhor gestão dos recursos hídricos, com vista a minimizar os impactos da exploração intensiva das águas subterrâneas, bem como o desenvolvimento do sector da agricultura.

Os recursos hídricos subterrâneos em Cabo Verde estão estimados em cerca de 124 milhões de metros cúbicos por ano. Desse volume, apenas 65 milhões de metros cúbicos por ano é tecnicamente explorável, num ano de pluviometria normal, e 44 milhões de metros cúbicos por ano durante os períodos de seca (ver Quadro 4.2). No Quadro 4.2 apresenta-se uma estimativa dos recursos hídricos (superficiais e subterrâneos) existentes no país.

**Quadro 4.2** – Recursos hídricos (milhões m<sup>3</sup>/ano) [50].

Ilhas	Precipitação mm (Período médio)	Água Superficial (Período médio)	Águas Subterrâneas		
			Bruto (Período médio)	Explorável (Período médio)	Explorável (Período seco)
Santo Antão	186	27,0	28,6	21,3	14,5
São Vicente	21	2,3	0,6	0,4	0,2
São Nicolau	49	5,9	4,2	2,5	1,5
Sal	13	0,7	0,4	0,1	0,05
Boa Vista	42	2,5	1,6	0,7	0,3
Maio	41	4,7	2,1	0,9	0,5
Santiago	323	56,6	42,4	26,0	16,5
Fogo	233	79	42	12,0	9,3
Brava	17	2,3	1,9	1,6	1,0
<b>Cabo Verde</b>	<b>925</b>	<b>181</b>	<b>124</b>	<b>65</b>	<b>44</b>

As águas subterrâneas são usadas para o abastecimento público, agricultura e indústrias. No entanto, a exploração dos recursos subterrâneos apresenta sérios problemas de ordem técnica, tendo em conta que os possíveis lençóis por explorar se encontram a grandes profundidades, serem sensíveis à extração excessiva, à intrusão salina e haver uma certa incerteza no que se refere aos caudais a explorar. A necessidade de uma gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, sem sobre exploração, faz com que a gestão destes recursos seja muito difícil, ocorrendo por vezes falhas ao nível do fornecimento de água para usos domésticos, agricultura e indústria. A exploração das águas subterrâneas efetua-se de acordo com os

seguintes sistemas: a) através de captação de nascentes; b) através de galerias escavadas horizontalmente nos basaltos; c) através da captação de aquíferos aluvionares por meio de poços e drenos transversais; e d) através de furos profundos que exploram os aquíferos descontínuos dos basaltos (ver Figura 4.5).



a)



b)



c)



d)

**Figura 4.5** - Métodos de exploração de águas subterrâneas em Cabo Verde: a) nascente em Santiago; b) galerias no Monte Vermelho Mosteiro, na ilha do Fogo; c) poço de extração de água subterrânea, no interior da ilha de Santiago; e d) furo de captação de água subterrânea em Santiago [51].

Um estudo recente realizado pela Cooperação Japonesa, na ilha de Santiago conclui que, contrariamente ao apontado por estudos anteriores, o potencial de água superficial que se perde através do escoamento superficial, nessa ilha seria superior às perdas por evaporação (ver Quadros 4.3, 4.4 e 4.5). Esta conclusão altera drasticamente o cenário de escassez de água, especialmente em termos de potencialidade da água superficial que poderia ser melhor aproveitada para desenvolver sectores importantes da economia, nomeadamente a agricultura. É neste sentido que se tem vindo a construir várias barragens na ilha de Santiago.

**Quadro 4.3** – Disponibilidade dos recursos hídricos. Fonte: INGRH

Origem	Evaporação	Escoamento Superficial	Infiltração
CVI/75/001	50%	33%	17%
PNUD/INGRH	67%	20%	13%
Coop. Japonesa	36%	51%	13%
Valor Médio	51%	34,7%	14,3

**Quadro 4.4** – Estimativa das águas superficiais (milhões m<sup>3</sup>/ano). Fonte: INGRH

Ilha	PNUD	Plano Diretor	Cooperação Japonesa
Santo Antão	97	27	
São Vicente	2	2,3	
São Nicolau	14	5,9	
Sal	2	0,7	
Boa Vista	6	2,5	
Maio	4	4,7	
Santiago	108	56,6	168,4
Fogo	87	79	
Brava	8	2,3	
Total	328	181	

**Quadro 4.5** – Estimativa das águas subterrâneas (milhões m<sup>3</sup>/ano). Fonte: INGRH

Ilha	BURGEAP	PNUD	Plano Diretor	Cooperação Japonesa
Santo Antão	29,2	54,0	28,6	
São Vicente	0,3	1,0	0,6	
São Nicolau	4,3	9,0	4,2	
Sal	0,1	1,0	0,4	
Boa Vista	0,4	5,0	1,6	
Maio	1,1	3,0	2,1	
Santiago	21,9	55,0	42,4	34,9
Fogo	21,9	42,0	42,4	
Brava	1,64	5,0	1,9	
Total	80,84	175	124	

## 4.2. Caracterização do Sistema de Abastecimento de água

### 4.2.1. Produção de Água

A política atual consiste na produção de água dessalinizada para o abastecimento público, de modo a libertar as reservas de águas subterrâneas para as atividades agrícolas. Excluindo as ilhas do Fogo e Brava, a água dessalinizada é produzida em quase todas as ilhas do país. Nos principais centros urbanos (Praia, Mindelo e Sal), este serviço é prestado pela ELECTRA SA, empresa concessionária da produção e distribuição de água potável, nos termos do contrato geral de concessão de transporte e distribuição de energia elétrica e água e de recolha e tratamento de águas residuais para reutilização, celebrados com o Estado em 2002. No interior da ilha de Santiago, prevê-se a entrada em funcionamento da Companhia das Águas do Interior de Santiago que se irá ocupar da produção de água dessalinizada nos municípios do interior desta ilha, conforme as bases do contrato de concessão para a conceção, projeto, construção, financiamento, exploração e manutenção de um sistema de dessalinização de água do mar para o abastecimento público, bem como para a irrigação, nos municípios de Santa Catarina, Santa Cruz, São Lourenço dos Órgãos, São Miguel e São Salvador do Mundo, já aprovadas pelo Decreto-Lei nº 36/2008, de 10 de Novembro [52].

Existe ainda no país, três produtores independentes de água dessalinizada para o abastecimento público, nomeadamente: Águas de Ponta Preta, SA (APP) (que é detentora de uma licença operacional para produção de água e eletricidade), na ilha do Sal; Águas e Energia da Boa Vista SA, na ilha da Boa Vista (que além de detentora de uma licença operacional para produção de água e eletricidade, tem um contrato de subconcessão relativo ao transporte e distribuição de energia elétrica e água na ilha da Boa Vista com a ELECTRA SA); e Águas do Porto Novo SA (que além de detentora de uma licença operacional para produção de água e eletricidade, tem uma concessão para a conceção, projeto, construção, financiamento e manutenção de um sistema de dessalinização de água do mar na vila do Porto Novo).

No interior da ilha de Santiago, também existe uma unidade de RO no *Resort Sambala Village*, situada em São Domingos cuja capacidade nominal instalada é de 1 000 m<sup>3</sup>/dia. No concelho de Santa Cruz, está em curso a instalação de uma nova unidade de dessalinização por RO, fruto de uma parceria público-privada entre a câmara municipal e a empresa CAPE VERDE WINA LLC. Segundo os promotores desse projeto, a unidade tem capacidade de produzir 2 500 m<sup>3</sup>/dia, com recurso a sistemas de energia renovável, nomeadamente energia

eólica. O Quadro 4.6 apresenta a capacidade instalada e os operadores no sector de produção de água dessalinizada em Cabo Verde, referentes ao ano 2012.

**Quadro 4.6** – Unidades de dessalinização a operar em Cabo verde em 2012.

Ilhas/Unidade Produção	Dessalinização		
	Processo	Capacidade Nominal (m <sup>3</sup> /dia)	Capacidade Garantida (m <sup>3</sup> /dia)
Cidade da Praia (ELECTRA)	RO	2x1200	2x1200
	RO	5000	5000
Santa Cruz (SAASSC)	RO	500	500
São Domingos (Sambala Village)	RO	1000	1000
Total Santiago		8900	8900
São Vicente (ELECTRA)	RO	3x1000	3x1000
	RO	2x1200	2x1200
Total São Vicente		5400	5400
Sal (ELECTRA)	RO	2x1000	2x1000
	RO	2x1200	2x1200
Sal (APP)	RO	2x500	2x500
	RO	2x1000	2x1000
Total Sal		6200	6200
Boa Vista (AEB)	RO	2000	2000
Porto Novo (APN)	RO	2x500	2x500
São Nicolau (SAASRB)	RO	1100	1100
Maio (SAASM) <sup>18</sup>	RO	800	380
Total Instalada no país		26600	26180

Fonte: Adaptado dos relatórios da ELECTRA, PAGIRH, APP, APN, Proyecto PECAVE, SAASM.

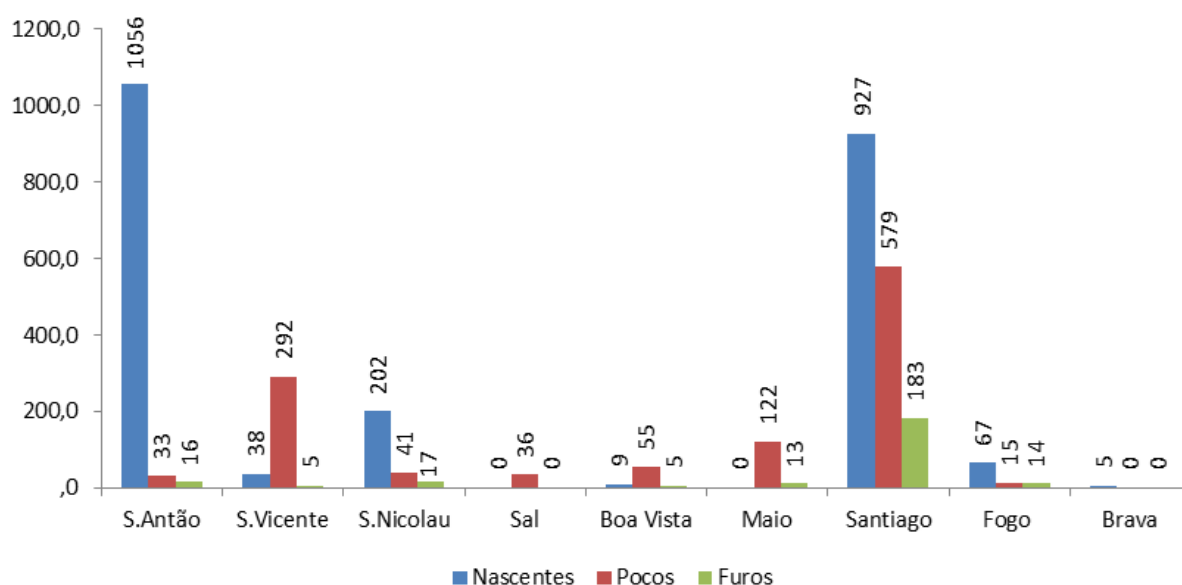
No Quadro 4.6 ainda é possível observar que todas as unidades de dessalinização a operar no país utilizam tecnologias de membrana, nomeadamente a RO. Esta situação deve-se ao facto dos custos de dessalinização por destilação térmica, que consome muita energia, serem particularmente elevados quando comparados com a RO, sobretudo devido à sua dependência em relação à produção de água em pequena escala, e ao custo de importação de combustível, com reflexos diretos no custo de produção de água.

É importante referir ainda que devido à capacidade instalada, insuficiente para satisfazer as necessidades do número crescente de Hotéis e Resorts que se vão estabelecendo no país, várias unidades turísticas têm optado por investir em sistemas próprios de abastecimento de água a partir da dessalinização da água do mar, o que acaba por elevar o custo de investimento no sector do turismo em Cabo Verde, reduzindo assim a competitividade do

<sup>18</sup> A capacidade instalada nos SAASM encontra-se dividida por três pequenas instalações: Ponta Preta (600 m<sup>3</sup>/dia); Pedro Vaz (100 m<sup>3</sup>/dia) e Ribeira Don João (100 m<sup>3</sup>/dia), totalizando os 800 m<sup>3</sup>/dia.

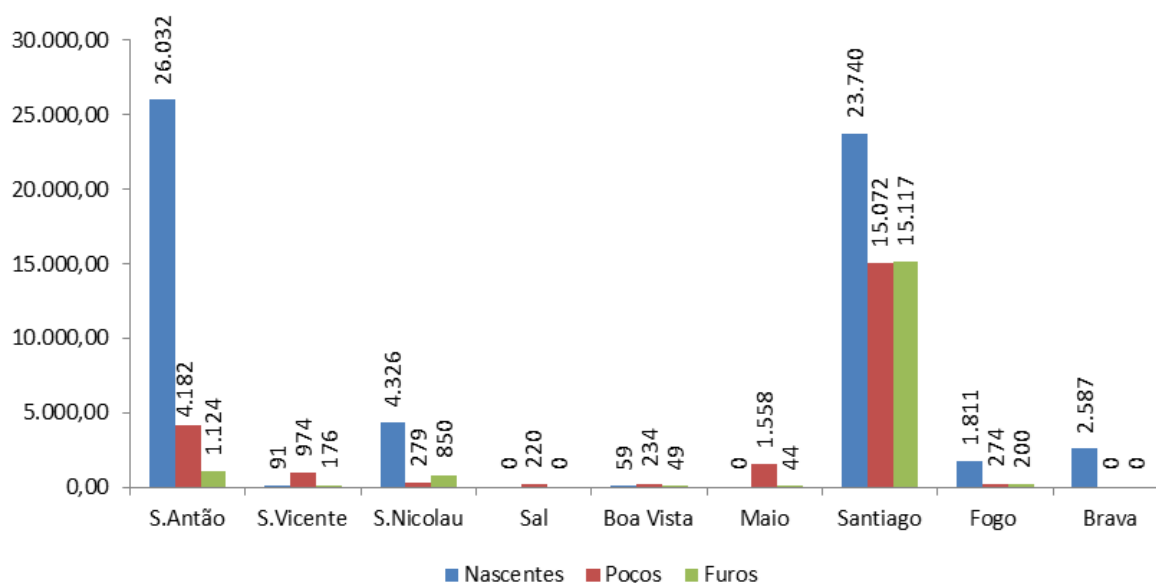
país. Estas unidades de dessalinização não se incluem neste estudo, devido à falta de informação sobre as mesmas, mas estima-se que a capacidade média instalada nessas unidades ascenda a 10 000 m<sup>3</sup>/dia, equivalentes a 3 milhões de m<sup>3</sup>/ano [48].

O volume de água produzido continua a ser manifestamente inferior às necessidades atuais, pelo que a água dos aquíferos continua a ser uma das principais fontes de abastecimento da população, sobretudo no meio rural. As Figuras 4.6 e 4.7 mostram a quantidade de água subterrânea explorada nas diferentes ilhas do país durante o ano de 2008, sendo que o volume total de água subterrânea explorada nesse período foi de aproximadamente 99 mil m<sup>3</sup>/dia. Nas ilhas de Santiago e Santo Antão, registou-se o maior caudal explorado. Por outro lado, nas ilhas do Sal e da Boa Vista, registou-se o menor caudal explorado, como era de esperar. O volume de água subterrânea captada nessas duas ilhas foi utilizado sobretudo no sector da construção civil.



**Figura 4.6** – Número de pontos de água explorados em 2008 [48].

De acordo com os volumes faturados pela INGRH (ver Quadro 4.7), entre 2002 e 2006 a água subterrânea correspondia a cerca de 50% do total de água usada para abastecimento público. Em 2008, 53% da água destinada ao consumo doméstico era proveniente da dessalinização da água do mar, tornando-se assim na principal fonte de água potável para o abastecimento público no país. Atualmente estima-se que 56% da água produzida em Cabo Verde para abastecimento público é água dessalinizada, sendo que 47% dessa água é produzida pela ELECTRA SA.



**Figura 4.7** – Volume explorado de água subterrânea em 2008 (m<sup>3</sup>/dia) [48].

**Quadro 4.7** – Percentagem de água subterrânea usada no abastecimento público [48].

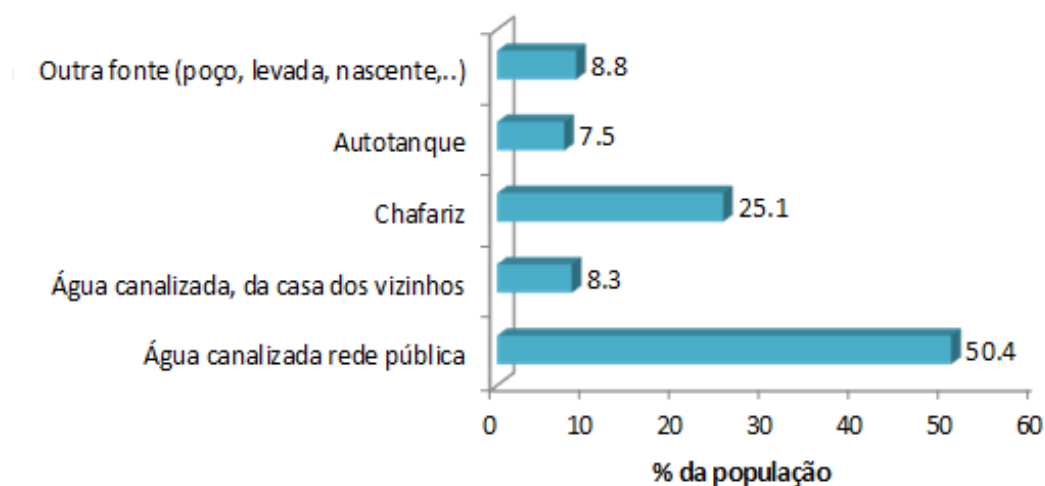
Ano	2002	2003	2004	2005	2006
<b>Total explorado</b>	6.255.664,88	6.358.308,74	6.422.874,74	6.486.816,31	6.630.274,97
<b>Abastecimento</b>	3.155.870,67	3.039.400,75	3.289.012,27	3.363.703,93	3.358.287,93
	50%	48%	51%	52%	51%

#### 4.2.2. Rede pública de abastecimento de água

De acordo com a Lei nº 134/IV/95, o abastecimento de água é da responsabilidade dos municípios, exercida pelos Serviços Autónomos de Água e Saneamento, por Empresas Municipais ou por Serviços Municipais. Nas ilhas do Sal, São Vicente, Boa Vista e na cidade da Praia a distribuição de água é da responsabilidade da ELECTRA SA. Em 2010, a ELECTRA SA celebrou com a empresa Águas e Eletricidade da Boa Vista SA (parceria público-privada), um contrato de subconcessão de transporte e distribuição da água potável na ilha da Boa Vista. No caso da ilha do Sal, a empresa Águas de Ponta Preta, SA abastece a maior parte dos hotéis de Santa Maria devido à falta de capacidade de transporte na rede de distribuição da ELECTRA SA.

De acordo com o censo 2010 [46], 91,2% da população cabo-verdiana tem acesso a água potável de forma mais ou menos segura (através da rede pública, chafarizes ou autotanques). No entanto, o cenário não é idêntico de ilha para ilha, e, dentro da mesma ilha, de concelho para concelho, e do meio urbano para o meio rural. Neste contexto, refira-se, por exemplo, que o acesso à água potável é mais fácil no meio urbano onde apenas 1,6% da população tem

acesso a água de forma precária, enquanto no meio rural esta percentagem pode chegar aos 22,7%. A Figura 4.8 mostra a percentagem da população de Cabo Verde, em função do tipo de origem de água para abastecimento público.

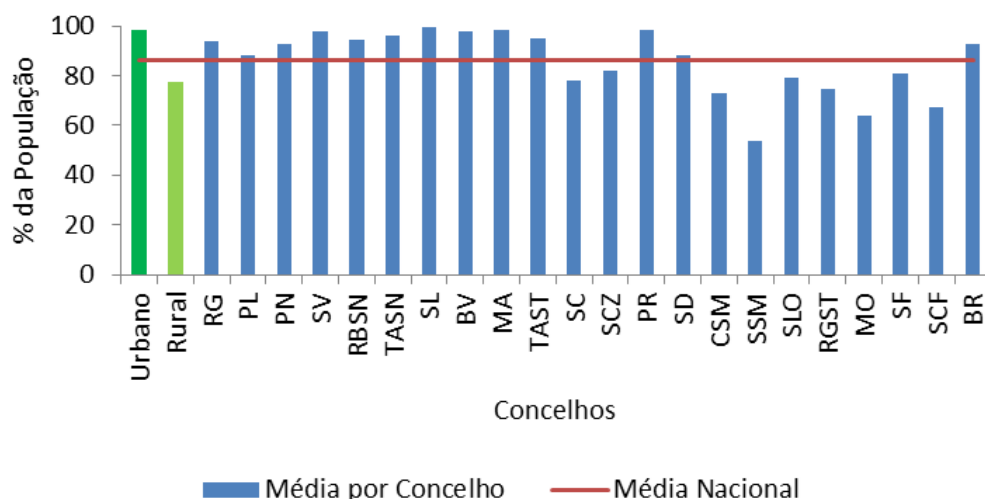


**Figura 4.8** – Percentagem da população de Cabo Verde, em função da origem de água para abastecimento público. Fonte: Censo 2010, INE

Tal como mostra a Figura 4.8, 50,4% da população de Cabo Verde é abastecida diretamente a partir da rede pública e 8,3% recorrem aos vizinhos quando necessitam de água. Cerca de 25,1% da população utiliza o chafariz como meio de acesso a água potável, sendo que no meio rural a percentagem de população que utiliza este meio de acesso a água potável é ligeiramente superior (27,4%) em relação ao meio urbano (23,9%). Na ilha da Boa Vista a utilização de chafariz tem um peso significativo, uma vez que cerca de metade da população (49,8%) usa este meio de acesso a água potável. A população abastecida com recurso a autotanques representa cerca de 7,5%, sendo que 7,8% refere-se a zonas urbanas e 6,7% a zonas rurais. A percentagem da população cujo acesso à água potável é feito de forma mais ou menos precária corresponde a aproximadamente 8,8%, sendo que 22,7% diz respeito ao meio rural e 1,6% ao meio urbano [46].

Analisando o gráfico da Figura 4.9 pode-se constatar que a nível dos concelhos, a população com acesso a água potável nos concelhos da ilha do Fogo [São Filipe (SF), Santa Catarina (SCF) e Mosteiro (MO)] e Santiago [à exceção dos concelhos da Praia (PR), Tarrafal (TAST) e São Domingos (SD)], está abaixo da média nacional (86,1%). Curiosamente, os concelhos cujo abastecimento é feito essencialmente a partir da água dessalinizada figuram no top do ranking dos concelhos com melhor acesso a água potável. Os referidos concelhos são: Sal (SL-99,3%), Maio (MA-98,6%), Boa Vista (BV-97,8%), São Vicente (SV-97,6%) e concelho

da Praia (98,2%). Na cidade da Praia cerca de 86% da água produzida em 2010 teve origem na dessalinização da água do mar, e apenas 14% na água subterrânea captada através de furos [47]. Esta situação deverá estar relacionada com o facto de nestes concelhos a dessalinização ser a única fonte de água potável, o que permite um melhor controlo e coordenação na distribuição de água.



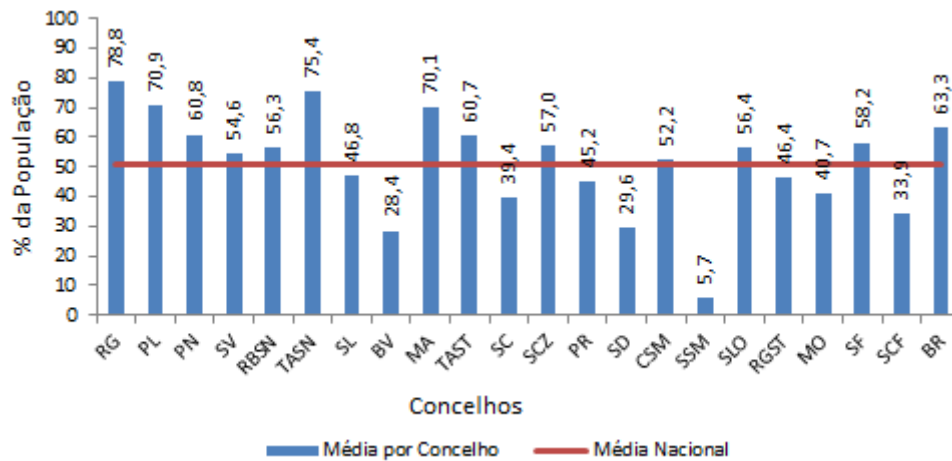
**Figura 4.9** – Percentagem da população com acesso a água potável. Fonte: Censo 2010, INE

No que se refere ao número de ligações domiciliárias (ver Figura 4.10), a média nacional é de 51,4%. Também aqui há uma grande disparidade entre os centros urbanos (56,7%) e as zonas rurais (38,2%) [46]. Esta disparidade mostra que ainda há muito a fazer, sobretudo no que toca ao abastecimento público nas zonas rurais. Esta situação deve-se essencialmente ao baixo índice de desenvolvimento em infraestruturas básicas no país, inclusive nos centros urbanos, fazendo com que o acesso à água canalizada seja ainda limitado em algumas zonas do país.

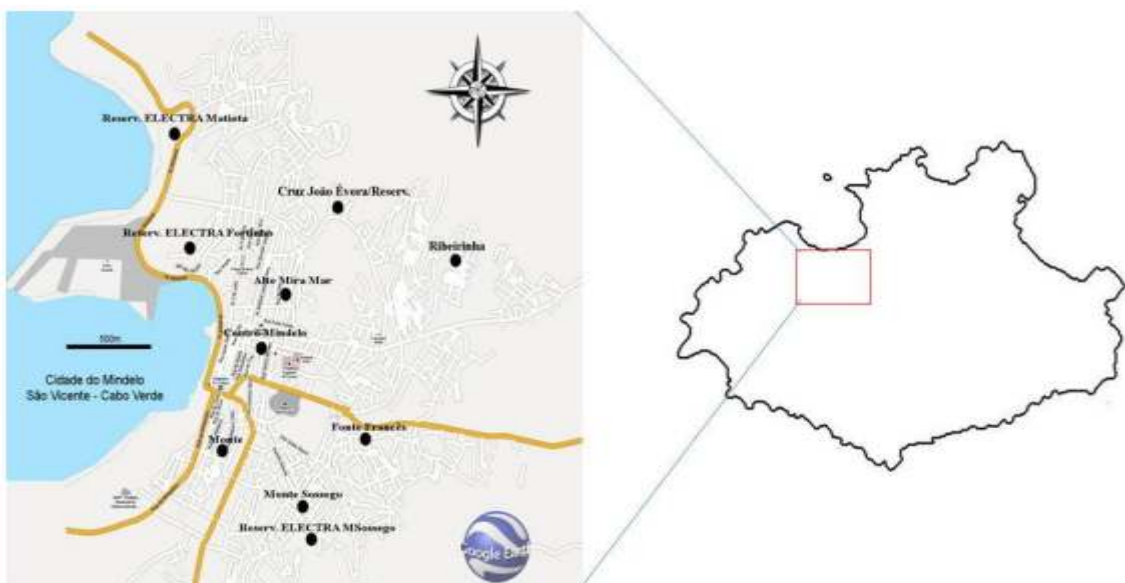
A taxa de cobertura nos municípios abastecidos pela ELECTRA SA era de aproximadamente 65% em 2012. O transporte de água, entre as estações de produção (unidades de dessalinização) e aos reservatórios de distribuição, é feito com recurso a estações elevatórias. A partir dos reservatórios de distribuição, localizados em pontos estratégicos, é possível assegurar a distribuição de água até ao consumidor final por gravidade. Atualmente a rede de distribuição de água já apresenta alguns sinais de degradação, levando a frequentes roturas e perdas elevadas (36% de perdas, muito acima dos valores considerados normais pela entidade reguladora<sup>19</sup>) [53]. Por exemplo, na ilha de São Vicente, o abastecimento de água à cidade de Mindelo é feito a partir dos reservatórios da ELECTRA SA que asseguram o fornecimento de

<sup>19</sup> Agência de Regulação Económica (ARE) – é uma entidade administrativa independente, e tem como missão assegurar adequada prestação de serviços aos consumidores e a sustentabilidade dos operadores nos sectores de Energia, Água, Transportes Coletivos Urbanos e Marítimos de Passageiros, através de uma regulação independente.

água aos reservatórios de distribuição do Alto de São Nicolau (Fortinho), Cruz João Évora, Monte Sossego Alto e Monte Sossego Baixo com capacidades de armazenamento que variam entre 350 e 3 000 m<sup>3</sup> (ver Figura 4.11) [54].



**Figura 4.10** – Percentagem da população com ligação domiciliária à rede pública de abastecimento de água em 2010. Fonte: Censo 2010, INE



**Figura 4.11** – Reservatórios de abastecimento de água à cidade de Mindelo (São Vicente) [54].

Tal como referido anteriormente, a percentagem da população desprovida de ligações domiciliárias é abastecida através de chafarizes/fontanários ou autotanques. De um modo geral, este serviço é prestado pela câmara municipal, ou empresas municipais, mesmo nos locais onde o abastecimento de água é da responsabilidade de empresas privadas. Enquanto na ilha de São Vicente, o fornecimento de água à população não servida pela rede pública é assegurado também pela ELECTRA SA. Noutros casos, como por exemplo no município da

Praia, foi criada uma empresa municipal para garantir o fornecimento de água à população não servida pela rede pública, sendo responsável neste momento por 93 chafarizes. De acordo com a informação recolhida na empresa intermunicipal de água da região Fogo e Brava (Águas Brava Lda), o abastecimento de água no concelho de São Filipe é feito através da rede pública, 45 chafarizes e autotanques. A água captada é armazenada em reservatórios situados nas proximidades dos furos, sendo depois transportada para diversos reservatórios de distribuição, que, por sua vez, garante o fornecimento de água à população. A distribuição de água com recurso a autotanques é feita para as localidades ainda não abrangidas pela rede pública.

Apesar de nos últimos anos se ter aumentado a oferta com a liberalização do mercado de produção de água dessalinizada, com exceção dos municípios da ilha do Fogo (São Filipe, Santa Catarina do Fogo e Mosteiros) e Brava, não se conhecem localidades onde é possível encontrar água na rede durante 24 horas por dia. A distribuição de água é feita de forma intermitente, durante poucas horas ao longo do dia, variando no espaço e no tempo. O consumo de água é condicionado por vários fatores, entre os quais, se destacam, a reduzida disponibilidade de águas subterrâneas e superficiais, a distância entre os pontos de captação de água e as zonas de consumo e o preço da água. Em média o consumo per capita é de 35 l/hab/dia, valor que se situa próximo dos níveis de subsistência, e quase metade da média verificada entre os países de baixo rendimento, que segundo Banerjee *et al.* [55] é de 64,1 l/hab/dia. De acordo com os dados apresentados no Plano Nacional de Saneamento de 2010 [56], para as populações com acesso a água potável, o consumo varia entre 40 a 60 l/hab/dia, nas zonas com elevada densidade de ligações domiciliárias, e entre 10 a 20 l/hab/dia nas zonas onde a população é servida por chafarizes/fontanários.

Tal como foi referido acima, o fornecimento de água não é contínuo pelo que a construção de reservatórios domiciliários é uma prática corrente e, importante, para fazer face às necessidades durante os períodos de avaria/reparação de equipamentos ou interrupção do fornecimento de água. Quanto ao tipo de consumos, estes podem ser subdivididos em cinco categorias: i) consumos residenciais; ii) consumo industriais; iii) consumos turísticos; iv) consumos públicos (hospitais, fontanários públicos, associações de carácter social sem fins lucrativos); e v) consumos de comércio e serviços (serviços públicos, embaixadas, serviços consulares, estabelecimentos comerciais públicos e privados, empresas de navegação aérea e marítima, armazéns).

### 4.2.3. Qualidade da água

A água para consumo humano deve apresentar características que garantam a sua potabilidade, de modo a não constituir um risco para a saúde pública. Esta deve ser submetida a um controlo através de análises físico-químicas e microbiológicas que permitem verificar a conformidade dos parâmetros que definem a qualidade da água, isto é, se obedecem aos padrões internacionalmente definidos para a água potável. Em Cabo Verde, os padrões da qualidade da água são definidos pela legislação vigente através do Decreto-Lei n.º8/2004, que 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.

Estudos recentes do *U.S. Geological Survey* [57,58,59] revelaram que a qualidade das águas subterrâneas nas bacias hidrográficas de Cabo Verde são na sua maioria boas, e em algumas regiões são mesmo muito boas, como é o caso da bacia hidrográfica da Ribeira do Paul em Santo Antão. No entanto, estes recursos estão suscetíveis a diferentes tipos de contaminações, nomeadamente a intrusão salina (devido à sobre exploração dos aquíferos) e a infiltração dos detritos químicos, sépticos e agrícolas, relacionados com a infiltração das águas superficiais.

No que diz respeito ao controlo da qualidade da água subterrânea, esta é irregular devido a vários fatores, entre os quais a falta de pessoal capacitado, a fraca capacidade operativa dos laboratórios, a rotura constante de *stock* de reagentes e a elevada mobilidade de quadros afetos ao setor. Estudos recentes, realizados pelo INGRH, apontam para a presença de coliformes fecais em muitas amostras e a presença de nitritos e nitratos, que podem ser indicadores de poluição recente ou remota, tendo comprovado maiores problemas nas zonas urbanas periféricas e rurais, onde imperam condições precárias de higiene, resultando por isso em maiores riscos para a saúde pública devido ao consumo de água de qualidade imprópria [60]. Nas ilhas de Fogo e Brava, o controlo de qualidade da água é efetuado pela empresa municipal Água-brava, Lda. No entanto, esse controlo ainda é incipiente, pois o laboratório encontra-se em fase de implementação. Segundo técnicos da empresa contactados, atualmente, os equipamentos e reagentes disponíveis permitem apenas realizar análises dos parâmetros físico-químicos, ficando as análises biológicas a cargo do INGRH.

A dessalinização tem como principal vantagem o potencial para produzir água de elevada qualidade. As instalações de dessalinização são projetadas para remover numerosas impurezas e produzir água de boa qualidade, quando comparadas com as águas de fontes naturais existentes (águas superficiais e subterrâneas).

Atualmente, a água dessalinizada distribuída no país resulta do processo da RO, daí apresentar uma ligeira salinidade inerente ao processo, que pode atingir os 500 mg/l. No passado recente, também se distribuía água dessalinizada através da destilação térmica pelos processos MED e VC, cuja salinidade total atingia valores de concentração inferior a 30 mg/l. Nas instalações de dessalinização da ELECTRA SA a salinidade da água produzida ronda os seguintes valores: São Vicente (200-370 mg/l), Sal e Praia (300-350 mg/l) [61]. Nas instalações de dessalinização da APP e APN, a concentração média da salinidade da água produzida é de 300 mg/l. De acordo com a Organização Mundial de Saúde, o valor máximo recomendado (VMR) para a salinidade da água para consumo humano é de 400 mg/l, e o valor máximo admissível (VMA) é de 1 000 mg/l.

#### ➤ Pós-tratamento

Para garantir a boa qualidade microbiológica da água distribuída, e obedecer à legislação em vigor, a água produzida é submetida a um tratamento de desinfecção por cloragem com hipoclorito de cálcio. O limite de concentração de cloro livre é de 0,3 mg/l à saída dos reservatórios e 0,1 mg/l na rede de distribuição [61].

A água dessalinizada, devido ao seu baixo pH, torna-se agressiva aos metais ferrosos usados na rede de distribuição, redes prediais e reservatórios, produzindo óxidos de ferro insolúveis, que ficam em suspensão e transmitem uma cor avermelhada à água. Para corrigir o pH, e diminuir a agressividade da água, é adicionado cal (hidróxido de cálcio) [61]. Todavia, nem sempre se consegue evitar este fenómeno da cor avermelhada da água, sobretudo quando a rede de distribuição não está em carga permanente, como acontece muitas vezes em algumas localidades da cidade da Praia. No entanto, segundo os técnicos da ELECTRA SA<sup>20</sup>, embora a cor avermelhada da água seja desagradável para o utilizador, não tem qualquer risco para a saúde pública uma vez que o organismo humano não retém os óxidos de ferro que se encontram em suspensão na água.

#### ➤ Controlo de qualidade

Para garantir que a água produzida mantém a qualidade desejada até ao consumidor final, esta é submetida a um rigoroso controlo de qualidade. Segundo a ELECTRA SA, e baseado no Plano de Controle de Qualidade da Empresa, o controlo da qualidade da água consiste na recolha de amostras para ensaios laboratoriais (ensaios físico-químicos e microbiológicos) em vários pontos de amostragem, nomeadamente, nas unidades de dessalinização, reservatórios

---

<sup>20</sup> Site: <http://www.electra.cv/index.php/Analises-de-Agua/View-category.html>

de distribuição e pontos de consumo. Essas amostras são posteriormente submetidas aos controlos laboratoriais destinados a verificar a conformidade dos parâmetros que definem a qualidade da água, e alertar os serviços internos da empresa caso seja encontrada alguma não conformidade, permitindo atuar prontamente em caso de contaminação.

As análises efetuadas nos Laboratórios da Água do Palmarejo (ilha da Praia) e da Matiota (ilha de São Vicente), incidem sobre a determinação dos seguintes parâmetros [61]:

- Parâmetros que sugerem risco de contaminação – cloro residual, sólidos totais dissolvidos, nitritos, nitratos, azoto amoniacal, turvação, contagem de micro-organismos totais a 37°C, contagem de coliformes totais e fecais.
- Parâmetros que indicam o carácter agressivo e incrustante da água – condutividade, alcalinidade, pH, dureza total, cálcio, magnésio, cloretos, sulfatos, ferro e sílica.
- Pontos de recolha de amostras – reservatórios de distribuição, fontenários, ao longo da rede de distribuição, furos e galerias.

## **4.3. A Dessalinização em Cabo Verde**

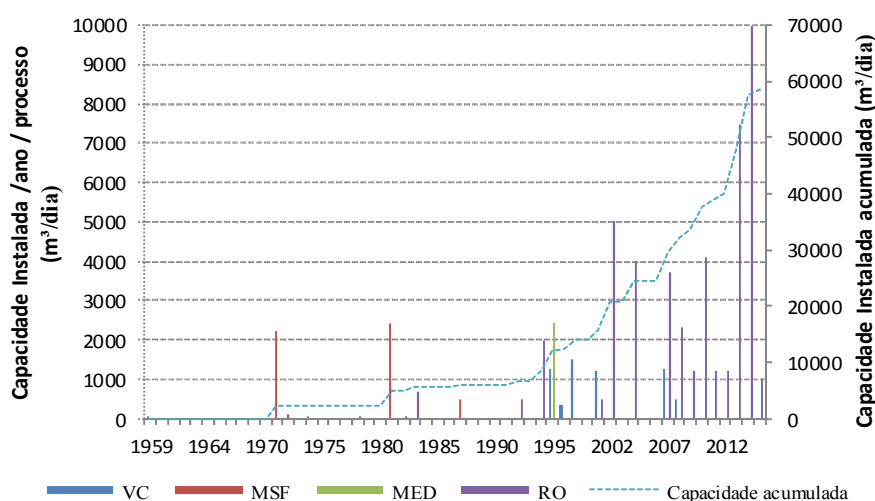
### **4.3.1. Evolução, capacidade instalada e tecnologias utilizadas**

As ilhas do Sal e São Vicente foram as primeiras a adotar a dessalinização como fonte de água potável para o abastecimento público. Com a escassez dos recursos hídricos (águas subterrâneas e superficiais), o aumento demográfico e o desenvolvimento económico, a dessalinização tornou-se naquelas ilhas a única fonte de água potável capaz de satisfazer as necessidades das populações. A ilha do Sal foi a pioneira na dessalinização da água do mar no país, com a instalação de unidade de dessalinização no aeroporto internacional da ilha do Sal em 1959. A referida dessalinizadora baseava-se no processo VC/MVC e tinha a capacidade para produzir 21,6 m<sup>3</sup>/dia. Em 1971 é instalada em São Vicente a primeira unidade de dessalinização da água do mar para o abastecimento público municipal, através de um protocolo de cooperação com o Banco Africano de Desenvolvimento, e que pertenceu à então Junta Autónoma das Instalações de Dessalinização de Água (JAIDA). Esta seria a primeira instalação de dessalinização a grande escala instalada no país, com capacidade para produzir 2 200 m<sup>3</sup>/dia (composta por duas unidades de 1 100 m<sup>3</sup>/dia utilizando a tecnologia de MSF), e no entanto, essa capacidade nunca foi atingida devido a problemas técnicos e planos de contingência. Nos anos seguintes surgiram outras unidades de pequena dimensão no Sal (capacidade instalada de 90 m<sup>3</sup>/dia, utilizando o processo MSF), nomeadamente na vila de Santa Maria em 1972 e no aeroporto internacional da ilha do Sal, em 1974 (capacidade

instalada de 50 m<sup>3</sup>/dia, utilizando o processo VC/MVC). Os processos de membrana por RO só foram introduzidos anos mais tarde, com a construção do primeiro empreendimento turístico na ilha em 1978 (hotel Morabeza), cuja capacidade nominal era de 40 m<sup>3</sup>/dia [62].

Ainda antes da criação da ELECTRA SA em 1981 é instalada em São Vicente a maior unidade de dessalinização do país, utilizando o processo de destilação térmica, também baseado no processo MSF. Esta instalação, com capacidade nominal de 2 400 m<sup>3</sup>/dia, foi uma das maiores unidades de dessalinização por destilação térmica no país. Nos anos seguintes, novas unidades de dessalinização foram sendo instaladas, com maior aposta nos processos de membranas (RO): no aeroporto do Sal (com a instalação de uma unidade de 34,4 m<sup>3</sup>/dia, em 1982) e em 1983 a instalação de três unidades de dessalinização de 220 m<sup>3</sup>/dia na localidade da Palmeira (também na ilha do Sal). A seguir às ilhas do Sal e São Vicente, a dessalinização foi introduzida na ilha da Boa Vista (1992), e só então na cidade da Praia, com a instalação de duas unidades de dessalinização VC/MVC em 1995. O processo MED foi o último a ser introduzido no país, sendo que a primeira e única dessalinizadora do género no país, foi instalada em 1995, nas instalações da ELECTRA SA no Matiota (ilha de São Vicente), e tinha capacidade nominal de produção 2 400 m<sup>3</sup>/dia [53]. Esta dessalinizadora esteve em funcionamento durante 15 anos, tendo sido desativada em 2010.

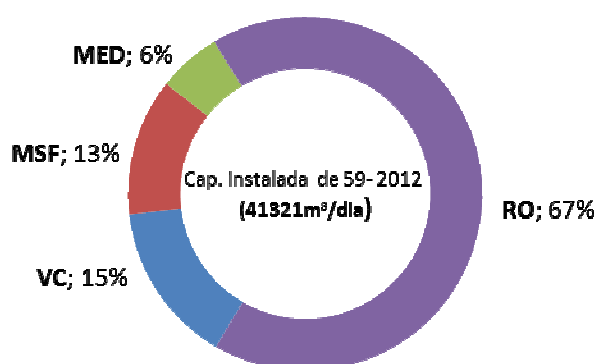
Com a abertura do setor da água e energia à iniciativa privada (em 1998), impulsionado pelo desenvolvimento urbano e turístico em algumas ilhas, a capacidade instalada tem vindo a aumentar. Segundo dados recentes, os investimentos previstos e projetos em curso até 2015, nomeadamente da ELECTRA SA e Águas e Energia da Boa Vista (AEB), estima-se que a capacidade total instalada possa atingir brevemente 60 000 m<sup>3</sup>/dia (ver Figura 4.12).



**Figura 4.12** – Evolução da capacidade instalada de dessalinização em Cabo Verde.  
Fonte: adaptado de ELECTRA, APP, PAGIRH, Proyecto PECAVE.

A Figura 4.12 mostra a evolução da capacidade total instalada de dessalinização em Cabo Verde, registada entre 1959 e 2012, sendo que se trata de uma estimativa e não valores exatos. É possível verificar que a capacidade total instalada cresceu muito nos últimos anos. Os dados utilizados foram compilados de trabalhos e relatórios elaborados pelas empresas e instituições de gestão da água e saneamento no país, sendo que inclui unidades de dessalinização que atualmente se encontram desativadas, em funcionamento e em fase de implementação.

Como em quase todo o mundo, a RO foi a tecnologia de dessalinização mais utilizada no país, totalizando quase 67% da capacidade total instalada no país entre 1959 e 2012, cerca de 27 634 m<sup>3</sup>/dia (ver Figura 4.13). Os restantes 34% são referentes às tecnologias térmicas. A segunda tecnologia de dessalinização mais utilizada no país, a seguir à RO, foi a VC/MVC, com 15% da capacidade total instalada (6 097 m<sup>3</sup>/dia). Entre as tecnologias de dessalinização da água do mar utilizadas no país, o processo MED foi o menos utilizado. Apenas 6% da capacidade total instalada no país referem-se a esta tecnologia, sendo também a última tecnologia de dessalinização de água do mar introduzida no país. Outra tecnologia de dessalinização muito utilizada no país foi o MSF (13% da capacidade total instalada). Contudo, devido aos elevados custos associados, estas foram rapidamente substituídas por sistemas economicamente mais rentáveis (RO). A capacidade total acumulada referente à tecnologia de MSF em Cabo Verde é de aproximadamente 5 190 m<sup>3</sup>/dia. A Figura 4.13 mostra, em percentagem, as tecnologias de dessalinização utilizadas no país entre 1959 e 2012. Também aqui são incluídos unidades dessalinadoras que se encontram atualmente desativadas, em funcionamento e em fase de implementação.

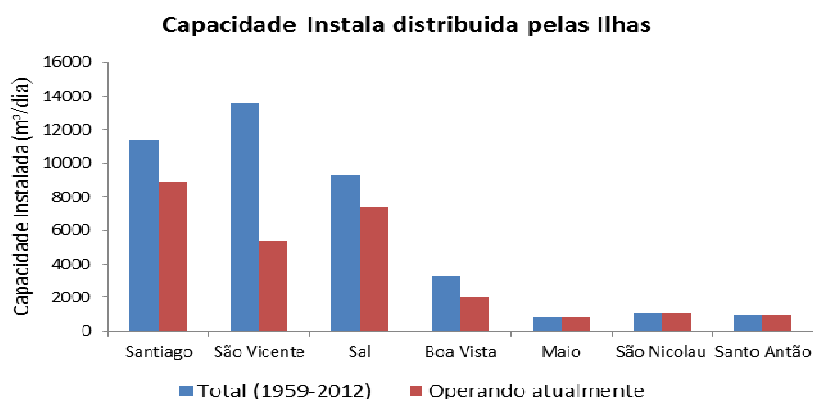


**Figura 4.13** – Tecnologias de dessalinização utilizados em Cabo Verde entre 1959 e 2012.  
Fonte: adaptado de ELECTRA, APP, PAGIRH, Proyecto PECAVE.

Apesar da dessalinização da água do mar ser utilizada há mais tempo nas ilhas do Sal e São Vicente, atualmente a ilha de Santiago tem a maior capacidade instalada do país. A capacidade nominal instalada nesta ilha é de 8 900 m<sup>3</sup>/dia, sendo 83% na cidade da Praia (o

maior e mais povoado centro urbano do país). O restante 17% subdivide-se para os concelhos de São Domingos (6%) e Santa Cruz (11%). Importante realçar que no concelho de São Domingos trata-se de uma dessalinizadora privada, que faz parte do projeto turístico e imobiliário Samballa Resort, inaugurado em 2007, mas também serve a população de Vale da Costa, localidade onde este projeto se insere.

A ilha do Sal, tem atualmente a segunda maior capacidade instalada, cerca de 6 200 m<sup>3</sup>/dia, correspondente a 28% da capacidade total instalada no país. Tal como se pode observar na Figura 4.14, a ilha do Sal apresenta uma capacidade instalada ligeiramente superior à ilha de São Vicente (5 400 m<sup>3</sup>/dia), apesar da ilha de São Vicente ser mais populosa e mais industrializada. Isto deve-se ao desenvolvimento turístico registado na ilha do Sal, e da liberalização do mercado da produção de água a privados em finais da década de 90, resultando na entrada no mercado nacional do primeiro produtor independente de energia e água no país – Águas de Ponta Preta (APP) – destinada ao abastecimento público da urbanização da Ponta Preta e hotéis da Cidade de Santa Maria. A ilha da Boa Vista é a quarta maior ilha em termos de produção de água dessalinizada, e apresenta o mesmo cenário que a ilha do Sal em termos de crescimento e procura de água, devido à construção de vários empreendimentos turísticos. A ilha já conta com um produtor independente, no regime de subconcessão dos serviços antes prestados pela ELECTRA SA, e que surgiu com o objetivo de garantir sobretudo o fornecimento de água aos hotéis do sul da ZDTI de Chaves. Na Figura 4.14 também é possível observar a capacidade instalada acumulada ao longo dos anos, entre 1959 e 2012.



**Figura 4.14** – Distribuição da capacidade de dessalinização para as diferentes ilhas.  
 Fonte: adaptado de ELECTRA, APP, PAGIRH, Proyecto PECAVE.

### 4.3.2. Principais entidades gestoras no setor

A produção de água dessalinizada para o abastecimento público em Cabo Verde encontra-se maioritariamente sobre o domínio da ELECTRA SA, empresa pública concessionária da produção e distribuição no setor da água potável nas ilhas do Sal, São Vicente e cidade da Praia. No país existe ainda mais quatro produtores independentes de água dessalinizada: Águas de Ponta Preta (que é detentora de uma licença para produção de água e eletricidade, na ilha do Sal); Águas e Energia da Boa Vista (que além de detentora de uma licença para produção de água e eletricidade na ilha da Boa Vista, tem um contrato de subconcessão relativo ao transporte e distribuição de energia elétrica e água na ilha da Boa Vista, com a empresa de eletricidade e água, ELECTRA SA); a Águas do Porto Novo (que além de detentora de uma licença para produção de água e eletricidade, tem uma concessão para a conceção, projeto, construção, financiamento e manutenção de um sistema de dessalinização de água do mar na vila do Porto Novo); e mais recentemente a Wind Cape Verde (detentora de uma licença de produção de água dessalinizada e eletricidade a partir de energia eólica no concelho de Santa Cruz). As três últimas entidades gestoras acima referidas resultam de parcerias público-privadas entre os municípios, o governo e empresas privadas.

A seguir são exibidos alguns resultados sobre dois dos principais operadores no sector de produção de água dessalinizada em Cabo Verde, nomeadamente a ELECTRA SA e Águas do Porto Novo SA, com maior ênfase sobre a ELECTRA SA.

#### a) ELECTRA, SA

A ELECTRA, Empresa Pública de Eletricidade e Água, foi criada a 17 de Abril de 1982, pelo Decreto-lei nº 37/82. Esta resultou da agregação de organismos responsáveis pela produção e distribuição de eletricidade e água nas ilhas de São Vicente, Sal e cidade da Praia, nomeadamente Eletricidade e Água do Mindelo (EAM)<sup>21</sup>, Central Elétrica da Praia (CEP)<sup>22</sup> e Eletricidade e Água do Sal (EAS)<sup>23</sup>. Inicialmente designada Electra EP, esta foi criada com o objetivo de formar uma empresa com capacidade técnica e financeira para garantir o abastecimento contínuo de água e eletricidade, em condições económicas e de segurança, aos centros urbanos das ilhas de São Vicente, Sal e à cidade da Praia. Na altura da sua fundação,

---

<sup>21</sup> Eletricidade e Água do Mindelo (EAM), empresa constituída pela fusão da Junta Autónoma das Instalações de Dessalinização de Água (JAIDA) e a Central Elétrica do Mindelo (CEM) em 1978, juntando os organismos que na ilha de São Vicente eram responsáveis pela produção e distribuição de água dessalinizada e de energia elétrica.

<sup>22</sup> Organismo autónomo encarregado da produção e distribuição de eletricidade na cidade da Praia.

<sup>23</sup> Eletricidade e Água do Sal (EAS), saída da transformação, realizada em Agosto de 1978, dos Serviços Municipais de Água e de Eletricidade, da ilha do Sal.

esta contava com 196 colaboradores, 9 255 clientes de energia elétrica e 2 855 clientes de água dessalinizada, tendo nesse primeiro ano distribuído cerca de 519 996 m<sup>3</sup> de água dessalinizada [62].

Em dezembro de 1992 a ELECTRA celebrou um contrato de concessão com a Câmara da Boa Vista e passou a assegurar a produção e distribuição de eletricidade e água, na vila de Sal Rei e na zona norte da ilha [62], dando assim início à sua expansão. Com vista a estender a sua ação a todo o País, a empresa adquire o estatuto de sociedade anónima em 1998, passando a designar-se ELECTRA SA. O capital social da ELECTRA SA (5 441 436,54 €) foi partilhado entre o Estado e as Câmaras Municipais na proporção de 85% e 15% respetivamente, e gradualmente passa a ter delegação em todas as ilhas. A partir de 1999 é integrada de forma progressiva os serviços municipais de produção e distribuição de eletricidade de vários municípios do país e a empresa municipal Águas da Praia, responsável pela captação, distribuição de água e a recolha e tratamento de águas residuais na cidade da Praia. Em janeiro de 2000, face ao inicialmente previsto, faltava integrar na ELECTRA os serviços de produção e distribuição de eletricidade de São Filipe e de Santa Cruz. Nessa altura, a capacidade instalada de produção de água dessalinizada era de 3 250 m<sup>3</sup>/dia, contava com 362 colaboradores, 29 114 clientes de energia elétrica e 9 919 clientes de água dessalinizada.

Com a criação da sociedade anónima iniciou-se um processo de privatização com objetivo de encontrar um parceiro estratégico com capacidade técnica e financeira para fazer face às perspectivas de desenvolvimento do país, e que resultou na venda de 51% do capital social da empresa ao grupo integrado pela EDP (Eletricidade de Portugal, SA) e Adp (Águas de Portugal, SGPS), que ficaram a deter respetivamente 30,6% e 20,4% do capital da ELECTRA SA. O Estado e as Câmaras Municipais de Cabo Verde passaram a deter 41,65% e 7,35% do capital social da empresa, e a gestão passou a cargo do grupo privado. Em 2006, devido a constrangimentos vários (agravamento do défice tarifário devido ao aumento do preço dos combustíveis, fim dos subsídios do estado para a produção de energia, o não cumprimento do programa de investimento e a falta de entendimento entre os sócios maioritários e o Governo), o estado volta a ter controlo da empresa novamente através de um acordo com as empresas Eletricidade de Portugal SA e Águas de Portugal SGPS, passando deter 51% das ações, o grupo Eletricidade de Portugal SA e Águas de Portugal SGPS 34% e aos municípios do país 15%. Com o novo acordo, a ELECTRA passou a ser devedora ao consórcio no valor de 71 749 200 €. Em dezembro do mesmo ano, o Banco Comercial do Atlântico adquiriu a parte do grupo Eletricidade de Portugal SA e Águas de Portugal SGPS, assim como a totalidade dos

créditos que tinha sobre a ELECTRA (39 945 668 €). A ELECTRA adquiriu essa dívida ao Banco Comercial do Atlântico, passando novamente o estado de Cabo Verde e os municípios a deter a totalidade da empresa, respetivamente, 85% e 15% [62, 63].

Em 2011 deu-se início a um processo a reestruturação da empresa com o objetivo de garantir maior eficiência dos serviços prestados, e foram criadas duas filiais: Electra Sul – Sociedade Unipessoal SA, com sede na cidade da Praia; e Electra Norte – Sociedade Unipessoal SA, com sede em São Vicente. O âmbito das atividades operacionais das empresas Norte e Sul mantiveram-se, sendo a empresa ELECTRA NORTE circunscrita às ilhas de Santo Antão, São Vicente, São Nicolau e Sal e a ELECTRA SUL às ilhas do Maio, Santiago, Fogo e Brava [62]. Ainda no âmbito da descentralização e no contexto de uma parceria público-privada, a 9 de setembro de 2010 a ELECTRA celebrou com a sociedade Águas e Energia da Boa Vista, um contrato de subconcessão dos serviços relativos ao transporte e distribuição de energia elétrica e água na ilha da Boa Vista [64].

Em 2012 a empresa contava com três centrais de produção de água dessalinizada e ainda, explorava 6 furos de captação de água subterrânea na ilha de Santiago, que se destinava a fornecer água à cidade da Praia. A empresa disponha de uma capacidade total instalada de produção de água dessalinizada de 17 200 m<sup>3</sup>/dia (ver Quadro 4.8).

**Quadro 4.8 – Tecnologias de dessalinização RO utilizados nas instalações da ELECTRA.**

Fonte: ELECTRA SARL, Proyecto PECAVE

Ilha/delegação	Dessalinização		ERD	CEE (kWh/m <sup>3</sup> )	Taxa Conv. (%)	
	Processo/designação/ fabricante/ano de arranque	Capacidade Nominal (m <sup>3</sup> /dia)				Capacidade Garantida (m <sup>3</sup> /dia)
São Vicentes	RO - RO1/2/3 Nirosoft, 04	3x1000	3x1000	Turbina Pelton	4,15	49%
	RO - RO4/5 Euromec, 07/11	2x1200	2x1200	Camaras Isobárica	3,4	40%
		5400	5400			
Sal	RO - RO1000,1/2 Uniha, 00	2x1000	2x1000	Turbina Pelton	5,74	
	RO - RO1200,1/2 Euromec, 12	2x1200	2x1200	Camaras Isobárica	3,4	40%
		4400	4400			
Praia	RO - RO5000 Pridesa, 02	5000	5000	Turbina Pelton	3,8	45%
	RO - RO1/2 Euromec 08/09	2x1200	2x1200	Camaras Isobárica	3,3	40%
		7400	7400			
Total		17200	17200			

CEE – Consumo específico de energia.

As Figuras 4.15 e 4.16 ilustram as instalações de dessalinização de água do mar da ELECTRA.



a)



b)



c)



d)

**Figura 4.15** – Sistemas de RO instalados nas centrais da ELECTRA: a) unidade 5 000 m<sup>3</sup>/dia (Palmarejo), na cidade da Praia; b) unidade 1 000 m<sup>3</sup>/dia (Matiota), na ilha de São Vicente, c) 3 unidades 1 000 m<sup>3</sup>/dia (Matiota), na ilha de São Vicente; d) unidades de 1 200 m<sup>3</sup>/dia (Palmarejo), na cidade da Praia. Fonte: Nirosoft, Euromec<sup>24</sup>, Pridesa<sup>25</sup>



**Figura 4.16** – Instalações de ELECTRA localizada no Matiota, ilha de São Vicente. Fonte: ELECTRA<sup>26</sup>

Na última década três tipos de tecnologias de dessalinização foram utilizadas nas centrais da ELECTRA, nomeadamente VC/MVC, RO e MED. Em 2006 foram desativadas duas

<sup>24</sup> Disponível em: <http://www.nirosoft.com/case-study>.

<sup>25</sup> Disponível em: [http://www.euromec.net/en/cape\\_verde\\_desalination\\_project.aspx](http://www.euromec.net/en/cape_verde_desalination_project.aspx)

<sup>26</sup> Disponível em: <http://www.electra.cv/>

unidades de VC/MVC nas ilhas do Sal e Boa Vista o que originou uma redução da capacidade instalada em relação ao ano anterior. Com a entrada do novo operador na ilha da Boa Vista, e a supressão da produção de água pela ELECTRA na ilha em 2010, foram desativados os últimos sistemas VC/MVC a operar no país. Os sistemas de MED em São Vicente já se encontravam praticamente fora de serviço nesse período. Isto fez com que houvesse a redução da capacidade de produção na ilha de São Vicente. A Figura 4.17 mostra a evolução da capacidade instalada de produção, e as tecnologias de dessalinização utilizadas nas instalações da ELECTRA entre 2005 e 2012. A taxa de crescimento nos últimos 8 anos foi de 3,15%.

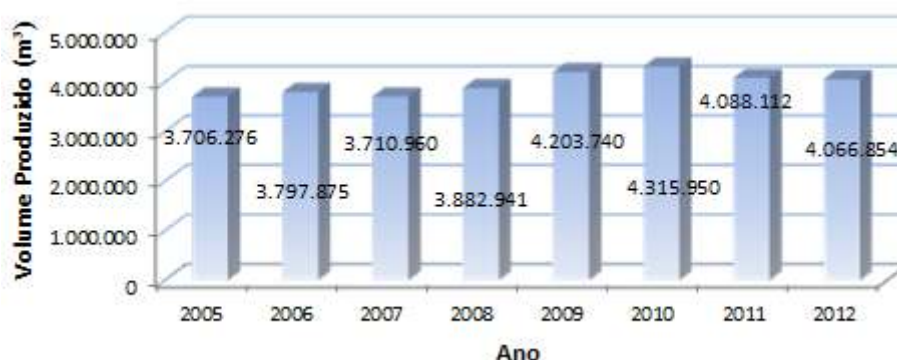


**Figura 4.17** – Tecnologias de dessalinização e capacidade instalada na ELECTRA de 2005 a 2012. Fonte: adaptado dos relatórios de gestão da ELECTRA.

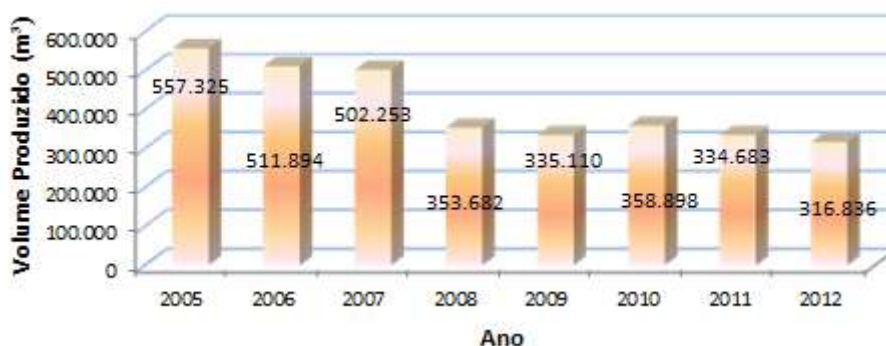
A ELECTRA produziu em 2012 cerca de 4 383 690 m<sup>3</sup> de água, sendo que 93% foi água dessalinizada. Apesar do aumento da capacidade de produção em água dessalinizada, houve uma ligeira redução na produção de água em relação ao ano 2011 (menos 0,88%). Contudo, entre 2007 e 2012 o volume de água produzido pela ELECTRA registou um aumento de 4,05%, sendo 2010 o ano com maior volume produzido (4 674 848 m<sup>3</sup>). De realçar que este valor inclui também a água comprada às empresas Água e Eletricidade da Boa Vista (AEB) para distribuição na ilha de Boa Vista (87 338 m<sup>3</sup>) e Águas de Ponta Preta para a distribuição na ilha do Sal (38 530 m<sup>3</sup>), mas ainda assim o volume produzido pela ELECTRA foi superior. O consumo interno (utilizado nos serviços da empresa) reduziu de 23 356 m<sup>3</sup> (0,51%) em 2009 para 18 205 m<sup>3</sup> em 2010, cerca de 0,39% do total produzido. Por outro lado as perdas registaram um aumento de 0,74%, passando de 1 603 761 m<sup>3</sup> de água (35% do total produzido) em 2009, para 1 686 357 m<sup>3</sup> em 2010 (36% do total produzido). O volume de água vendido pela ELECTRA nesse ano foi de 2 970 286 m<sup>3</sup> [64]. Em 2011 foi instalada uma unidade de dessalinização utilizando a tecnologia RO (1 200 m<sup>3</sup>/dia) para substituir a unidade MED (2 400 m<sup>3</sup>/dia) desativada no Mindelo (São Vicente), não se tendo verificado qualquer

alteração em termos percentuais, apesar de haver uma ligeira redução no volume produzido nesse ano. O volume total produzido foi de 4 422 795 m<sup>3</sup> (8% em águas subterrâneas e 92% em água dessalinizada). Nesse ano a ELECTRA comprou 28 726 m<sup>3</sup> de água à Água e Eletricidade da Boa Vista (AEB), entre janeiro e março, para distribuir na ilha da Boa Vista, sendo que esse serviço depois passou a ser da responsabilidade da Água e Eletricidade da Boa Vista (AEB).

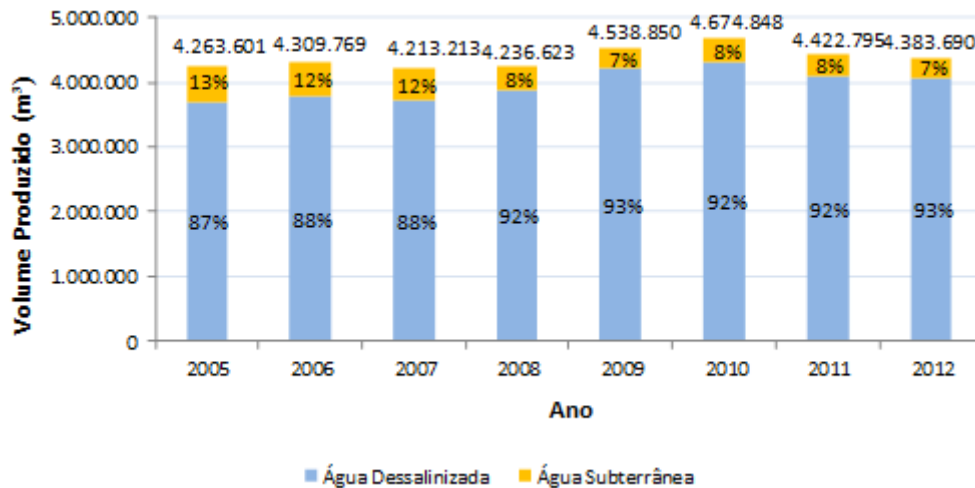
Em 2012 foram instaladas duas novas unidades de dessalinização de água do mar na instalação da Palmeira (ilha do Sal), cada uma com uma capacidade de 1 200 m<sup>3</sup>/dia. Porém, a empresa não obteve os mesmos resultados registados em 2011, pelo contrário, houve uma redução na produção de água, quer de água dessalinizada, quer água subterrânea. As perdas aumentaram cerca de 0,74% (ou seja, 19 868 m<sup>3</sup> a mais em relação ao ano anterior), o consumo interno aumentou para 19 344 m<sup>3</sup> e as vendas diminuíram para cerca de 2 940 716 m<sup>3</sup>. As Figuras 4.18, 4.19 e 4.20 mostram a evolução da produção de água dessalinizada, captação de água subterrânea e volume total produzido.



**Figura 4.18** – Evolução do volume de água dessalinizada produzida pela ELECTRA (m<sup>3</sup>).  
Fonte: ELECTRA, SA



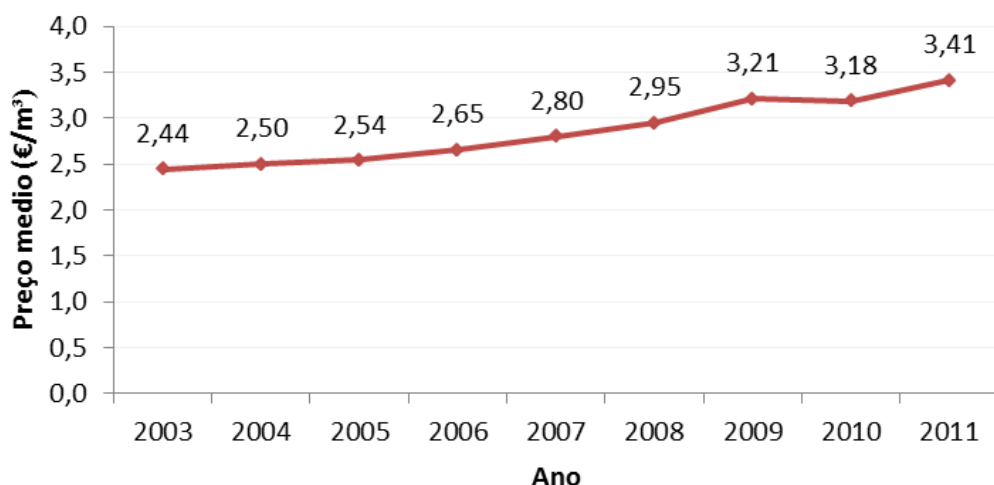
**Figura 4.19** – Evolução do volume de água subterrânea produzida pela ELECTRA (m<sup>3</sup>).  
Fonte: ELECTRA, SA



**Figura 4.20** – Evolução do volume total de água produzida pela ELECTRA (m<sup>3</sup>).  
Fonte: ELECTRA, SA

Cabo Verde possui uma das tarifas de água mais caras de África, e entre as mais caras do mundo, superior a 4 US\$/m<sup>3</sup> [55]. O elevado valor das tarifas, refletem por um lado a escassez dos recursos hídricos de água potável no país, fazendo com que a dessalinização de água do mar seja a fonte de obtenção de mais de 50% do volume de água potável produzido, e por outro lado, o facto do custo do processo de dessalinização, que consome muita energia, ser particularmente elevado. Os custos da dessalinização dependem significativamente dos custos de energia (particularmente de energia elétrica para sistemas de RO), que são elevados no país, devido a sua dependência em relação à geração em centrais a diesel (gasóleo), em pequena escala, e aos custos de importação do combustível.

No que diz respeito à tarifa praticada pela ELECTRA, de dezembro de 2003 a maio de 2006, estas permaneceram inalteradas, tendo então registado um aumento de 10% a partir de junho de 2006 – preço médio de água de 2,65 €/m<sup>3</sup> (ver Figura 4.21). Em junho de 2008 as tarifas voltam a ser atualizadas, refletindo-se num aumento do preço médio da água em 8,6%. O preço médio de venda de água registado em 2008 foi de 2,95 €/m<sup>3</sup>. Verificaram-se também aumentos de taxas de serviços (contadores, ligação, etc.). Em abril de 2011 voltou a haver alteração das tarifas de venda de água, porém sem alterar as taxas de serviço. O preço médio de venda de água registou nesse ano um aumento de 7% em relação a 2010 [53,63,64]. A Figura 4.21 mostra a evolução do preço médio de venda de água pela ELECTRA na última década.



**Figura 4.21** – Evolução do preço médio de venda de água da ELECTRA (€/m<sup>3</sup>).  
Fonte: ELECTRA, SA

b) Águas de Porto Novo, SA

A Águas de Porto Novo SA foi criada no quadro de uma parceria público-privada, cuja sociedade é formada pelo estado de Cabo Verde (10%), Município de Porto Novo (10%) e Águas de Ponta Preta (80%). No âmbito do contrato de concessão tipo BOOT<sup>27</sup>, celebrado entre o Estado de Cabo Verde e a entidade gestora Águas de Porto Novo, esta vende água potável ao Município de Porto Novo, através de um contrato de fornecimento de água com um consumo mínimo diário de 600 m<sup>3</sup>/dia. O período de concessão é de 30 anos.

A instalação de dessalinização da água do mar da entidade gestora Águas do Porto Novo tem como objetivo a produção de água para abastecimento público à cidade de Porto Novo, principal polo de desenvolvimento económico da ilha de Santo Antão (ver Figura 4.22).



**Figura 4.22** – Instalação de dessalinização da água do mar da APN. (Santo Antão). Fonte: Águas de Porto Novo SA.

<sup>27</sup> Build Own Operate Transfer

Face à impossibilidade de ligação à rede elétrica pública, a entidade gestora é responsável também pela produção de energia elétrica, constituindo assim um custo acrescido para a produção de água. A instalação de dessalinização, cujo início de atividade ocorreu em dezembro de 2007, tem uma capacidade instalada de produção de água dessalinizada de 1 000 m<sup>3</sup>/dia (350 000 m<sup>3</sup>/ano) e permite abastecer cerca de 10 000 habitantes. O Quadro 4.9 mostra as principais características das unidades de dessalinização da entidade gestora Águas de Porto Novo.

**Quadro 4.9** – Principais características das unidades RO da Águas de Porto Novo [42].

Processo / Designação	Capacidade Instalada		PNS (bars)	ERD	CEE (kWh/m <sup>3</sup> )	Taxa Conv. (%)
	Nominal (m <sup>3</sup> /dia)	Garantida (m <sup>3</sup> /dia)				
RO - RO1	500	500	36	ROKinetic K200	1,22	40
RO - RO4	500	500	36	ROKinetic K200	1,22	40
	1000	1.000				

CEE – Consumo específico de energia; PNS – Pressão nominal de serviço

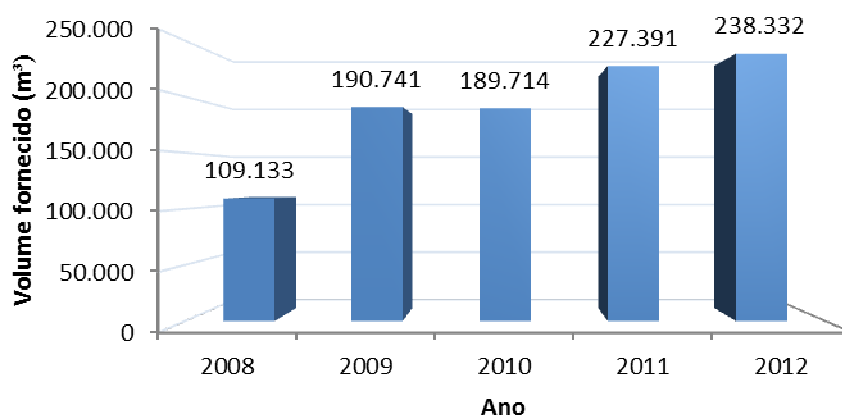
A captação da água do mar é efetuada através de poços junto à costa, que estão sujeitos à intrusão de água doce subterrânea proveniente de aquíferos subterrâneas no concelho de Porto Novo, resultando numa menor salinidade (com uma condutividade de cerca de 33 mS/cm), e consequentemente numa menor pressão nominal de serviço (36 bar) para fazer atravessar a água pelas membranas [42]. A Figura 4.23 ilustra as duas unidades de dessalinização por RO instaladas na entidade gestora Águas de Porto Novo, onde é possível observar os dispositivos de recuperação de energia, parte importante para a eficiência energética do sistema.



**Figura 4.23** - Unidades de RO (com capacidade individual de 500 m<sup>3</sup>/dia), e ERDs RO KINETIC K200 no IDAM da APN (Santo Antão). Fonte: Águas de Porto Novo.

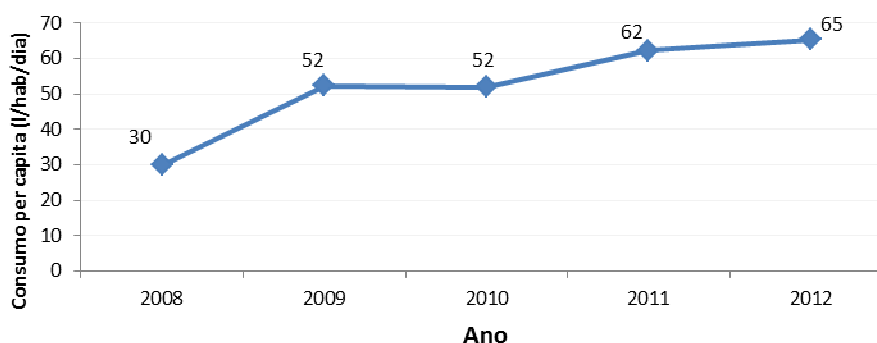
Em 2012, o volume produzido foi de 240 266 m<sup>3</sup> (mais 5% em relação ao ano anterior), registando um volume médio de 658 m<sup>3</sup>/dia, superando o valor “take or pay” do contrato de

venda de água (600 m<sup>3</sup>/dia) em 10%. O volume de água fornecido para abastecimento foi de 238 332 m<sup>3</sup> (99% do total produzido), mais 5% em relação ao ano anterior (227 391 m<sup>3</sup>) [68]. O fornecimento da água produzida é realizado maioritariamente (99%) através da adução para o reservatório principal do sistema de distribuição da rede pública, a cargo do Serviço Autónomo de Água e Saneamento, da Câmara Municipal de Porto Novo, responsável pela distribuição de água à cidade. Nas zonas mais afastadas da cidade o fornecimento é assegurado através de autotanques (1%), também da responsabilidade dos SAAS da Câmara Municipal [65]. Na Figura 4.24 é possível observar a evolução da água fornecida entre 2008 e 2012.



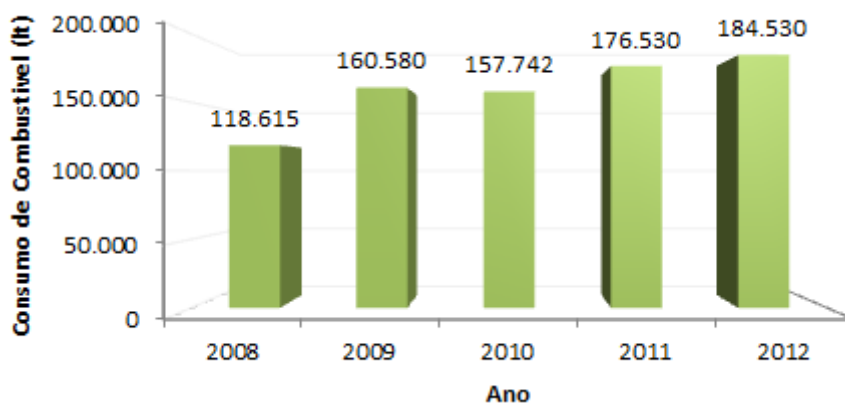
**Figura 4.24** – Evolução do volume anual fornecido para a distribuição (m<sup>3</sup>/ano).  
Fonte: Águas de Porto Novo.

De acordo com os dados fornecido pela entidade gestora, o consumo per capita de água dessalinizada no concelho em 2012, situou-se à volta dos 65,3 l/hab/dia, valor que se situa muito acima da média nacional, anteriormente indicada. Nos últimos dois anos o consumo per capita registou um aumento de 26%, muito por causa do aumento do turismo na região, uma das principais atividades económicas no concelho (ver Figura 4.25).



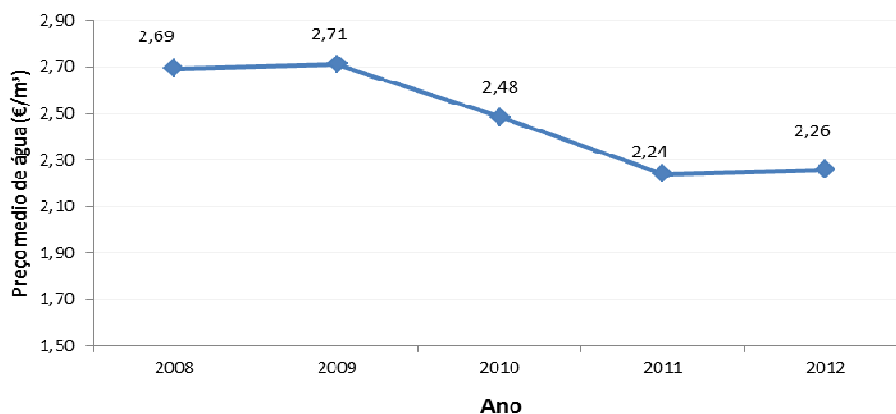
**Figura 4.25** – Consumo per capita da água dessalinizada em Porto Novo Novo.  
Fonte: Águas de Porto Novo.

Devido ao aumento da salinidade nos poços de captação da água do mar, o consumo de energia passou de 2,59 kWh/m<sup>3</sup> em 2011 para 2,65 kWh/m<sup>3</sup> em 2012, registando um aumento de 2,3%. O consumo de combustível para produção de energia elétrica, necessária para o sistema de RO, registou um aumento de 5% em relação ao ano anterior, devido ao aumento dos custos energéticos e aumento da produção de água dessalinizada [65]. A Figura 4.26 mostra a evolução do consumo de combustível entre 2008 e 2012.



**Figura 4.26** – Evolução do consumo anual de combustível (l/ano).  
Fonte: Águas de Porto Novo.

Ao contrário daquilo que vinha sendo a tendência nos primeiros anos de funcionamento, em 2012 o preço médio da água produzida registou um ligeiro aumento de 0,8%. Passou de 2,24 €/m<sup>3</sup> em 2011, para 2,26 €/m<sup>3</sup> no ano seguinte. Esta variação do preço da água deve-se sobretudo à redução do fornecimento de água nos primeiros dois meses de 2012, e ao facto de em 2012 o preço médio de combustível para produção de eletricidade ter sido 8,5% superior em relação a 2011, o que acabou por se refletir no preço de água dessalinizada [65]. A Figura 4.27 mostra a evolução do preço médio da água produzida.



**Figura 4.27** – Evolução do preço médio da água fornecida (€/m<sup>3</sup>).  
Fonte: Águas de Ponto Novo.

### **4.3.3. Custos associados à dessalinização da água do mar em Cabo Verde**

Nesta secção pretende-se fazer uma análise dos custos associados à dessalinização da água do mar, tendo como referência a experiência cabo-verdiana. Atualmente todas as unidades de dessalinização baseadas em processos térmicos foram desativadas no país, estando em funcionamento apenas unidades de dessalinização com recurso a membranas de RO. A estimativa das várias componentes do processo de dessalinização, bem como o custo de investimento, são parâmetros fundamentais quando se pretende avaliar a viabilidade de projetos deste tipo ou quando se pretende tomar decisões para futuros investimentos.

Para estimar o custo total da água dessalinizada produzida no país, será utilizado como referência a instalação de dessalinização de água do mar da entidade gestora Águas de Porto Novo, tendo como base os dados de operação de 2011 e 2012. Apesar da ELECTRA SA ser a entidade gestora com maior experiência no sector de produção de água potável a partir da dessalinização da água do mar no país, o facto dessa entidade gestora prestar vários serviços (produção e fornecimento de energia elétrica, produção de água potável e tratamento de águas residuais), a partir dos relatórios disponíveis, não foi possível distinguir os custos energéticos entre a produção de energia elétrica e a produção de água potável.

#### **a) Custo de investimento**

Tal como referido no Capítulo 2, o investimento específico para estas instalações de dessalinização (investimento requerido por m<sup>3</sup>/dia produzido) diminui à medida que a capacidade de produção das instalações aumenta, o que significa que o fator de escala tem um papel muito relevante nos custos de investimento.

Em Cabo Verde, devido à sua dimensão e demografia, não é viável a implementação de unidades de dessalinização de grande capacidade. O procedimento habitual consiste em projetar pequenas unidades de dessalinização (com capacidade inferior a 5 000 m<sup>3</sup>/dia), que poderão ser ampliadas em função do aumento da procura. Tal procedimento implica que o custo total de investimento seja maior, quando comparado com uma única fase de investimento. Isto porque muitas vezes os gastos têm tendência a aumentar devido a fatores vários, relacionados com problemas técnicos que possam surgir com implementação de novas fases (problemas nas fundações, modificações de vias de acesso, tubagens, etc.), novas legislações ambientais e revisão de preços. Além disso, a aquisição de tecnologias mais avançadas, pode afetar diretamente os custos, pois, se por um lado garantem maior eficiência

do sistema permitindo reduzir os custos de operação, por outro lado implicam maior custo de investimento (por exemplo sistemas de recuperação de energia).

Tendo como referência o capital investido na instalação de dessalinização por RO (3x1000 m<sup>3</sup>/dia) da ELECTRA, localizada em Matiota, que designamos por “A”, e na instalação de dessalinização por RO (2x500 m<sup>3</sup>/dia) da Águas de Ponto Novo (APN), localizada em Porto Novo, que designamos por “B”, o custo de investimento (CI) para cada um dos projetos é dado pelo quociente entre o valor do capital investido, pela capacidade nominal de produção de água dessalinizada [32]:

$$A. \text{ CI (ELECTRA - Matiota)} = \frac{2\,058\,212}{3\,000} = 686 \text{ €/m}^3/\text{dia} \text{ (853 US\$/m}^3/\text{dia)}^{28}$$

$$B. \text{ CI (APN - Porto Novo)} = \frac{2\,176\,575}{1\,000} = 2\,177 \text{ €/m}^3/\text{dia} \text{ (2\,835 US\$/m}^3/\text{dia)}$$

Neste caso, verifica-se que o custo de investimento é superior em “B”, e isso deve-se aos seguintes aspetos: capacidade instalada (quanto menor a capacidade instalada, maior o custo de investimento), o custo de investimento inclui todos os custos diretos e indiretos inerentes às obras de construção civil (movimentos de terra, fundação, estrutura e acabamentos, edifícios administrativos, reservatórios de armazenamento, licenciamento, taxas de importação de materiais e equipamentos, aquisição do terreno, etc.). Além disso, o projeto inclui também uma central de produção de energia, dada a incapacidade técnica da rede local em satisfazer as suas necessidades energéticas. O investimento verificado em “A”, para além de ser um investimento público, verifica-se que a capacidade instalada é maior e os custos de investimento inclui apenas a aquisição e montagem do sistema de RO. Os custos referentes aos trabalhos de construção civil são mínimos, bem com as despesas financeiras. O projeto insere-se numa estrutura já existente, em coabitação com uma central de produção de energia, o que acaba por reduzir os custos de investimento. Tendo como referência os valores anteriores, o valor médio do custo de investimento em instalações de dessalinização da água do mar, pelo processo de RO em Cabo Verde, é o seguinte (ver Quadro 4.11):

**Quadro 4.11 – Custo médio de investimento na dessalinização em Cabo Verde.**

Tipo de projeto	€/m <sup>3</sup> /dia	€/m <sup>3</sup> /ano	US\$/m <sup>3</sup> /dia
Barato	686	1,88	853
Médio	1 431	3,92	1 845
Caro	2 177	5,96	2 835

<sup>28</sup> O valor do custo de investimento tem em conta a cotação do euro frente ao dólar nos anos de concessão dos projetos da Matiota e Porto Novo, 2004 e 2007 respetivamente.

## b) Custo total da água

De acordo com o exposto no Capítulo II, o custo total da água dessalinizada, a partir do processo de RO, subdivide-se da seguinte forma [32]:

Custo total da água	Custos fixos	Amortização Recursos humanos Custos fixos de manutenção Diversos
	Custos variáveis	Produtos químicos Conservação e manutenção Energia elétrica Substituição de membranas

### ➤ Custos fixos

Amortização do capital investido: Para incorporar a amortização do capital investido no preço da água, primeiro é necessário combinar o capital investido a uma determinada taxa de juro<sup>29</sup>, durante um período igual ao da vida útil da instalação. A taxa de amortização anual é dada pela seguinte equação [32]:

$$A = I \times \frac{i \times (1+i)^n}{[(1+i)^n - 1]}$$

sendo que A é o custo anual do capital investido (€), I é o investimento no ano de referência (€), i a taxa de juro anual (%) e n o número de anos de vida útil da instalação. A componente relacionada com a amortização do capital investido no preço da água, calcula-se através da divisão entre o custo anual do capital investido (€) e o volume médio anual de produção de água dessalinizada (m<sup>3</sup>). Este método implica que o valor residual do capital investido seja igual a zero, no final do período de amortização. Para o caso de estudo da instalação de dessalinização da entidade gestora Águas de Porto Novo, o montante anual da amortização do capital investido é de aproximadamente 135 199 € [65].

Custos relacionados com recursos humanos: Nas instalações de dessalinização de água do mar, o número de funcionários afetos é praticamente independente da capacidade instalada, pois estas podem funcionar com um número reduzido de funcionários. Porém a necessidade de recursos humanos especializados, implica custos adicionais de formação [32]. No caso particular da entidade gestora Águas de Porto Novo (volume produzido: 350 000 m<sup>3</sup>/ano), o *staff* de operação é constituído por 6 pessoas, sendo um encarregado geral, quatro operadores

<sup>29</sup> Neste contexto é preciso ter em consideração a diferença entre a taxa de juro aplicada a entidades públicas e privadas.

de máquina e uma empregada de limpeza. De acordo com os dados do relatório de gestão referente ao exercício de 2012, o custo médio anual dos recursos humanos na entidade gestora foi de 40 840 € [65].

Custos fixos de manutenção: As instalações de dessalinização da água do mar compõem toda uma estrutura, incluindo o sistema de dessalinização, serviços de apoio e administração, as instalações técnicas e todo o envolvente, estando o desempenho das mesmas relacionados com o desempenho funcional de cada elemento constituinte. Programas de manutenção preventiva de cada componente da instalação permitiram manter o seu nível de desempenho elevado, assim como aumenta a sua vida útil. Estas manutenções devem ser executadas sempre esteja a instalação em funcionamento ou não, correspondendo assim a um custo fixo. Estes custos incluem gastos referentes a atividades como [32]: Obras de conservação (pintura, reparação de danos leves, etc...), jardinagem, inspeção das condutas e espaços envolventes, pintura da maquinaria, etc.

Custos diversos: Tal como o próprio nome sugere, corresponde a despesas relacionadas (direta ou indiretamente) com a produção de água, e portanto essenciais para o bom funcionamento das instalações. Estes custos geralmente estão relacionados com [32]:

- Vestuário e equipamentos de proteção;
- Mobiliário de escritório e todos os custos inerentes ao seu funcionamento (fotocopiadora, papel, telefone, etc.);
- Custos inerentes a veículos automóveis (combustível, manutenção e seguros obrigatórios);
- Seguro das instalações de dessalinização;
- Taxas, licenças e impostos;
- Materiais de laboratório fungíveis, etc.

Entre os vários itens acima indicados, o mais relevante em termos de custos é o seguro da instalação de dessalinização (seguro contra todos os riscos de danos dos materiais e máquinas).

#### ➤ **Custos variáveis**

Produtos químicos: Os produtos químicos têm impacto significativo no custo de operação. Estes podem ser classificados em quatro grupos, os quais serão a seguir indicados:

- Produtos químicos de pré-tratamento: Os produtos usados e a dosagem podem variar de acordo com o método de captação usado e a qualidade da água bruta captada. O Quadro 4.12 mostra os produtos químicos normalmente utilizados no pré-tratamento.

**Quadro 4.12** – Produtos químicos usados no pré-tratamento [32].

Reagentes	Propósito	Dosagem (g/m <sup>3</sup> )*
O ácido sulfúrico (98%)	Controle de pH	45 – 55
Hipoclorito de sódio (120 g de Cl <sub>2</sub> / l)	Desinfecção da água do mar	20 – 35
Cloreto férrico (40%)	Formar coágulo	12,5 – 20
Polyelectrolyte	Auxiliar de coagulação	1 – 2
Bissulfito de sódio	Oxidantes Neutralização	10 – 20
Dispersante	Para evitar a contaminação da membrana	1- 4

\* Dosagem aproximada g/m<sup>3</sup> de água dessalinizada.

- Produtos químicos do pós-tratamento: Os produtos químicos usados no pós-tratamento variam dependendo da utilização final da água, isto é, se esta destina-se para o abastecimento público ou para irrigação, por exemplo. Neste caso os custos são maiores quando a água dessalinizada destina-se ao abastecimento público, pois exige um grau de tratamento maior. A dosagem varia de acordo com a temperatura da água e depende se a água vai ser misturada com água de diferentes origens, antes da distribuição, ou não [32]. O Quadro 4.13 mostra os reagentes usados nessa fase.

**Quadro 4.13** – Produtos químicos usados no pós-tratamento [32].

Reagentes	Propósito	Dosagem (g/m <sup>3</sup> ) *
Dióxido de carbono CO <sub>2</sub>	Promove remineralização da água	35 – 60
Hidróxido de cálcio (98%)	Correção de pH	45 – 70
Hipoclorito de sódio (120 g de Cl <sub>2</sub> /l)	Desinfecção da água	5

\* Dosagem aproximada g/m<sup>3</sup> de água dessalinizada.

- Produtos químicos usados na limpeza das membranas: Os produtos químicos utilizados e a frequência de lavagem das membranas dependem da qualidade da água do mar que alimenta o sistema [32]. Os produtos químicos usados na lavagem das membranas são normalmente uma combinação ácido e/ou básico (alcalino). As soluções ácidas comuns (pH~2) incluem ácido clorídrico, ácido fosfórico, hidrossulfato de sódio (Na<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) e ácido sulfâmico (NH<sub>2</sub>SO<sub>3</sub>H), enquanto os produtos químicos alcalinos (pH~12) incluem lauril sulfato de sódio, hidróxido de sódio, ácido etilenodiamina tetra-acético de sódio (Na<sub>4</sub>EDTA), e produtos específicos (por exemplo, Permaclean 33) [32,38]. A limpeza da membrana ajuda a restaurar o caudal de água através da membrana e, assim, diminuir

a passagem de sal [39]. Do ponto de vista dos custos, estes são maiores para instalações usando sistema de captação abertos.

- Produtos usados no tratamento dos efluentes: Normalmente utiliza-se neste procedimento coagulante, Polyelectrolyte, cal e ácido sulfúrico. A frequência e dosagem utilizada dependem da qualidade da água do mar, sendo que a procura dos reagentes aumenta à medida que a qualidade da água diminui e vice-versa [32]. Durante a minha pesquisa não se verificou se este procedimento é ou não realizado nas instalações de dessalinização a operar em Cabo Verde.

Custos variáveis de manutenção: A vida útil de uma unidade de dessalinização depende fortemente do programa de manutenção implementado: manutenção preditiva<sup>30</sup>, manutenção preventiva<sup>31</sup> e manutenção corretiva<sup>32</sup> [32]. Os custos de manutenção variam significativamente ao longo da vida útil de cada instalação. Estes incluem a manutenção dos contentores, reservatórios e cisternas; equipamentos mecânicos (verificando vibração ou desgaste em equipamentos rotativos) e instrumentos de automação; sistemas informáticos que comandam os equipamentos mecânicos, manutenção das instalações técnicas, manutenção de tubagens, válvulas e acessórios, bombas centrífugas, e ajustes para compensar a variabilidade da água de alimentação. Este último reduz o custo de reposição de membrana, otimiza o uso de produtos químicos e garante uma produção de água consistente [32,66].

Consumo de energia elétrica: O consumo de energia elétrica corresponde a uma parte significativa dos custos operacionais numa central de dessalinização por RO, podendo atingir valores da ordem dos 28 a 50% do custo total da água [67]. Além disso, há que ter em consideração que esta componente dos custos é fortemente afetada pelos preços da energia elétrica e os custos dos combustíveis. Os consumos de energia elétrica estão relacionados com os seguintes fatores:

- A salinidade e temperatura da água de alimentação: No processo por RO, o consumo de energia elétrica aumenta de forma proporcional ao aumento da salinidade da água de alimentação, ou seja, quanto maior a salinidade da água maior o consumo de energia elétrica, para fazer atravessar a água através das membranas [32]. Por outro lado, quanto maior a temperatura da água de alimentação maior o fluxo de água através das

---

<sup>30</sup> Manutenção preditiva diz respeito ao acompanhamento periódico dos equipamentos, baseado na análise de dados recolhidos através de monitoração ou inspeções em campo. O objetivo principal da manutenção preditiva é a verificação pontual do funcionamento dos equipamentos, antecipando eventuais problemas que possam causar gastos mais elevados, como por exemplo a substituição desses equipamentos.

<sup>31</sup> Manutenção preventiva resulta de um planeamento de tarefas ao longo do tempo, de forma a evitar que determinado tipo de problemas possa vir a ocorrer. A ação é constante e envolve programas de inspeção, reparação, substituição, entre outros.

<sup>32</sup> Manutenção corretiva trata-se de uma intervenção de caráter não periódica, para fazer face a um determinado tipo de problema concreto (correção de danos atuais e não dos iminentes).

membranas, o que significa uma menor resistência ao atravessar os poros das membranas e conseqüentemente menor consumo de energia [66].

- Capacidade de produção: Quando maior o número de unidades de produção e a capacidade total da instalação, maior o volume de água captada e menor os consumos específicos de energia elétrica (kWh/m<sup>3</sup>) [32].
- Pré-tratamento: Quanto maior o número de etapas de pré-tratamento, maior o consumo de energia (relacionado com a perda de carga entre etapa de pré-tratamento). O tipo de pré-tratamento também condiciona o consumo de energia [66].
- Tipo membrana: Algumas membranas, particularmente aquelas projetadas para aplicações de baixa salinidade, operam em pressões mais baixas e, portanto, requerem um menor consumo de energia [66].
- Dispositivo de recuperação de energia: A utilização de dispositivos de recuperação de energia em instalações de dessalinização de água do mar pode aumentar o custo de investimento em 30%, mas permite reduzir o consumo de energia que pode chegar aos 50%. A utilização de câmaras isobáricas, por exemplo, reduz o consumo específico de energia elétrica de 0,4 a 0,5 kWh/m<sup>3</sup> em relação as turbinas Peltron [32]. Segundo Penate *et al.* [42], as instalações de dessalinização de água do mar por RO, utilizando o dispositivo de recuperação de energia "RO Kinetic", consegue atingir níveis de consumo específico de energia de 2,10 kWh/m<sup>3</sup> (para instalações com capacidade nominal de produção de 2 000 m<sup>3</sup>/dia), em comparação com 3,5-4,0 kWh/m<sup>3</sup> em instalações otimizadas utilizando dispositivos de recuperação de energia "do tipo turbina convencional". A redução no consumo de energia é de 25 e 50% em comparação com as instalações com ERDs convencionais. Esta economia no consumo de energia elétrica resulta na redução de praticamente 50% dos custos de operação, e 25% do custo total da água.
- Localização geográfica: Quando a instalação de dessalinização localiza-se muito longe do ponto de captação de água, ou muito elevado em relação ao nível do mar, o consumo específico de energia aumenta. O mesmo se aplica em relação ao sistema de distribuição de água, ou seja, dependente da localização da instalação em relação aos reservatórios de distribuição, altura de elevação e dimensão das bombas [32,66].

Em 2012, o consumo de energia elétrica na instalação de dessalinização da água do mar da entidade gestora Águas de Porto Novo foi de aproximadamente 627 000 kWh, tendo registado

um consumo específico de energia elétrica de 2,61 kWh/m<sup>3</sup>. O maior consumo de energia elétrica registou-se no sistema de RO, cuja energia consumida foi de 1,76 kWh/m<sup>3</sup>, correspondendo a 67% do total consumido, seguido do grupo de bombagem de água dessalinizada para os reservatórios do sistema de distribuição da SAASCM, com 0,47 kWh/m<sup>3</sup> (18% do total). As bombas do sistema de captação da água do mar consumiram cerca de 0,23 kWh/m<sup>3</sup> (9% do total). A restante energia, cerca de 0,15 kWh/m<sup>3</sup> (6%), foi consumida por duas bombas centrífugas que alimentam as unidades de RO e pelos serviços auxiliares. Considerando a tarifa de energia elétrica para média tensão de 0,29 €/kWh, utilizada na produção de água pela ELECTRA, o custo total de energia elétrica consumida em 2012 foi de aproximadamente de 184 171 € [65].

Substituição das membranas: Embora as membranas não sejam consideradas item de consumo, têm um período de vida útil limitado. Este período de vida útil tem um impacto significativo no custo operacional. O período de vida útil expectável das membranas de RO é de 2 a 5 anos, portanto, o custo operacional anual, associada à substituição das membranas pode ser de milhares a dezenas de milhares de euros, dependendo da capacidade da instalação [66]. Neste caso, maximizar a vida útil das membranas é essencial para a gestão global de custos de funcionamento da instalação. A frequência ou regularidade em que as membranas devem ser substituídas depende da qualidade da água de alimentação e da eficácia do pré-tratamento. A utilização de água de alimentação com elevado potencial de contaminação ou incrustação, associado um inadequado pré-tratamento diminui significativamente a vida útil das membranas. É importante realçar ainda que os contaminantes e incrustantes normalmente presentes na água, são até um certo grau de contaminação removível através da lavagem, no entanto, há sempre uma parcela que permanece sobre as membranas e que se acumula ao longo do tempo. A acumulação de incrustações/contaminantes reduz de permeabilidade das membranas e reduz a eficiência do sistema em geral [32,66].

#### ➤ Custo total de água

Nesta secção, a estimativa do custo total da água dessalinizada produzida em Cabo Verde, será baseada nos custos de operação da instalação de dessalinização de água do mar da entidade gestora Águas de Porto Novo. Analisando o relatório de gestão da empresa, referente ao exercício de 2012, temos que os custos médios de produção de água dessalinizada nos anos 2011 e 2012 se distribuíram da seguinte forma (Quadro 4.14):

**Quadro 4.14** – Custos de produção de água dessalinizada, Águas de Porto Novo [65].

Custos	Gastos de 2012 (€)	Gastos de 2011 (€)	Valor médio (€)
Fixos e Variáveis de O&M	333 206,77	278 073,60	305 640,19
Amortizações	135 173,16	135 224,00	135 198,58
<b>Total</b>	<b>468 379,92</b>	<b>413 297,60</b>	<b>440 838,76</b>
Despesas financeiras (DF)	123 954,63	110 201,00	117 077,81
<b>Total (incluindo DF)</b>	<b>592 334,55</b>	<b>522 803,50</b>	<b>557 569,02</b>

Não foi possível confirmar se o item “Despesas financeiras” é ou não inerente aos custos de funcionamento da instalação. No entanto, tendo em conta o que já foi anteriormente aqui exposto sobre os custos de produção de água dessalinizada pelo processo de RO, este item não será considerado no cálculo de estimativa do custo de produção. Considerando a média do volume anual produzido em 2011 e 2012 (234 796 m<sup>3</sup>/ano), o custo total unitário da água é dado por:

$$\text{Custo total da água} = \frac{440\,491,21}{234\,744} = 1,88 \text{ €/m}^3 \text{ (2,42 US\$/m}^3\text{/dia)}^{33}$$

Analisando os custos de operação, e de acordo com as rubricas apresentadas no referido relatório, os custos fixos e variáveis de operação e manutenção, são divididos da seguinte forma (ver Quadro 4.15):

**Quadro 4.15** – Componentes dos custos de produção de água, Águas de Porto Novo.

Gastos	Custos (€)			Custo por m <sup>3</sup> (€)	(%)
	2012	2011	Média		
Mercadorias vendidas e materiais consumidos	176 594,30	168 051,74	172 323,02	0,73	39%
Fornecimento e serviços externos	114 745,55	663 90,11	90 567,83	0,39	21%
Gastos com o pessoal	37 794,84	41 336,66	39 565,75	0,17	9%
Outros gastos e perdas	4 072,07	2 295,09	3 183,58	0,01	1%
<b>Total de custos fixos e variáveis de operação e manutenção</b>	<b>333 206,77</b>	<b>278 073,60</b>	<b>305 292,64</b>	<b>1,30</b>	<b>69%</b>
Amortizações	135 173,16	135 224,00	135 198,58	0,58	31%
<b>Total (fixos e variáveis de operação e manutenção + amortização)</b>	<b>468 379,92</b>	<b>413 297,60</b>	<b>440 491,21</b>	<b>1,88</b>	
Despesas financeiras (DF)	123 954,63	110 201,00	117 077,81		
<b>Total (incluindo DF)</b>	<b>592 334,55</b>	<b>522 803,50</b>	<b>557 569,02</b>	<b>2,33</b>	

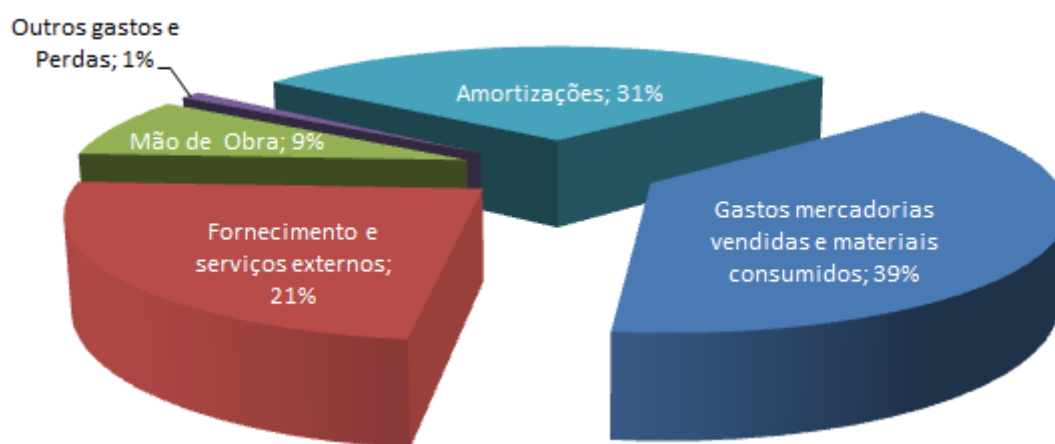
Excetuando o custo de mão-de-obra e as amortizações, não é possível afetar corretamente os custos de produção de água apresentados no referido relatório em relação aos parâmetros típicos que compõem o custo total de água. Assim, não foi possível saber quais os

<sup>33</sup> O valor tem em conta a cotação do euro frente ao dólar no ano 2012.

componentes dos custos fixos e os custos variáveis de operação da instalação. O custo total da água produzida está distribuída seguinte forma (ver Figuras 4.28 e 4.29):



**Figura 4.28** – Custo da amortização e custos de O&M na IDAM da APN em 2012.  
Fonte: Adaptado do relatório de gestão de 2012 da Águas de Porto Novo.



**Figura 4.29** – Componentes do custo total da água na IDAM da APN.  
Fonte: Adaptado do relatório de gestão de 2012 da Águas de Porto Novo.

#### 4.3.4. Benefícios da dessalinização

Fiabilidade do sistema de abastecimento de água: O principal benefício relacionado com a dessalinização em Cabo Verde, está relacionado com a fiabilidade do sistema de abastecimento de água potável face à escassez de recursos hídricos (água subterrânea e superficial). Sendo Cabo Verde um país arquipelágico, o potencial para o abastecimento de água potável a partir da dessalinização é praticamente imensurável (limitado apenas pela disponibilidade de energia). A fiabilidade do sistema de abastecimento de água pode ser definida, neste contexto, como a disponibilidade de água para fazer face à procura. Ao contrário de outros recursos hídricos existentes no país, a disponibilidade da água do mar é independente da precipitação ou do ciclo hidrológico, o que torna a dessalinização da água do

mar, uma das mais fiáveis fontes de água potável. O recurso à dessalinização da água do mar assume maior importância em regiões áridas e semiáridas (no qual Cabo Verde se insere), onde a precipitação e o escoamento superficial são muitas vezes insuficientes para a procura existente. Como exemplo, podemos citar as ilhas do Sal e São Vicente onde a dessalinização é a única fonte de água potável fiável, sem a qual não seria possível o desenvolvimento socioeconómico atual. Porém, nenhuma fonte de água potável está completamente imune a interrupções no fornecimento de água. As instalações de dessalinização, apesar de apresentarem grande fiabilidade em garantir o abastecimento de água potável, são especialmente vulneráveis a mudanças adversas no quadro de fornecimento de energia, por exemplo.

Melhor controlo sobre o sistema de abastecimento de água: Durante vários anos a água consumida em alguns municípios de Cabo Verde era proveniente de locais distantes das zonas de consumo, sobretudo das zonas rurais para o meio urbano, isto é, das zonas com maior disponibilidade em água doce, para zonas com maior escassez de água, e para interesses económicos dispostos e capazes de pagar por essa água. Essa transferência de água das zonas rurais para os centros urbanos, nas ilhas com algum potencial hídrico, levanta alguns problemas entre os quais a sobre exploração dos recursos hídricos no meio rural, comprometendo a sustentabilidade e o desenvolvimento dessas regiões (sobretudo a agricultura). Como exemplo, e segundo relatos de habitantes da ilha de São Vicente, na cidade de Mindelo, antes da introdução da dessalinização em 1971, e numa época em que a ilha era o principal centro económico e urbano do país, parte da água consumida na ilha era transportada da ilha vizinha de Santo Antão. A dessalinização foi assim a solução encontrada para fazer face a este tipo de problemas.

Gestão sustentável dos recursos hídricos: Tal como referido anteriormente, em Cabo Verde, as águas subterrâneas são usadas na agricultura, indústria e para consumo humano. Esses recursos são limitados e suscetíveis à contaminação. Além disso, um aumento da procura e/ou alterações climáticas podem ter reflexos negativos sobre a quantidade e qualidade da água subterrânea ainda disponível. Segundo estudos da *U.S. Geological Survey* [58], nos aquíferos em ilhas vulcânicas, como é o caso de Cabo Verde, os veios de água subterrânea potável “flutuam” tipicamente sobre uma camada de água salobra, na fronteira com a água salgada, e um aumento do volume de extração pode provocar a intrusão da água salgada ou de outras contaminações, como de resto já acontece em alguns pontos do país. Neste sentido, a dessalinização da água do mar acaba por trazer benefícios ambientais, uma vez que reduz a

necessidade de sobre exploração desses recursos, permitindo uma gestão sustentável dos aquíferos.

#### **4.3.5. Questões sobre impactes ambientais**

Devido à escassez de água potável, a dessalinização está fortemente implementada em Cabo Verde como a principal fonte de fornecimento de água para o abastecimento público. Além disso, é cada vez maior o número de unidades de dessalinização no país, muitas vezes combinadas com centrais de produção de energia.

Se é verdade que a dessalinização da água do mar oferece um conjunto de benefícios ao país, nomeadamente na melhoria da saúde pública, aspetos socioeconómicas e benefícios ambientais, proporcionando um fornecimento constante e aparentemente ilimitado de água potável de boa qualidade sem prejudicar os ecossistemas de água doce naturais, também é verdade que o processo da dessalinização, sendo um processo industrial, apresenta um conjunto de impactos com potenciais danos ao ambiente se medidas não forem acauteladas. Neste sentido serão aqui apresentados os aspetos relacionados com os principais impactos ambientais negativos, referido no Capítulo II, no contexto cabo-verdiano.

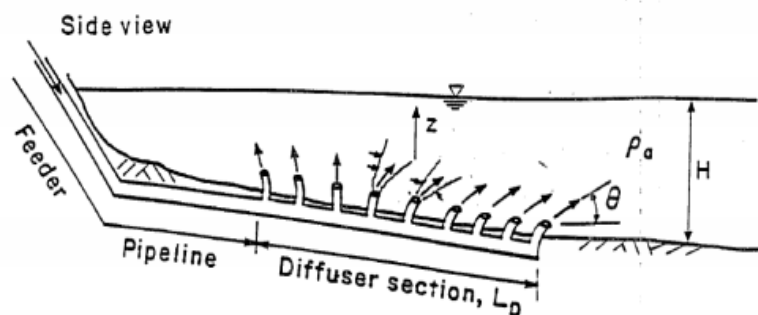
Impactes devido à captação de água: Tal como abordado anteriormente, esses impactos derivam da captação de grandes massas de água, com a destruição dos habitats naturais marinhos e o extermínio de grandes quantidades de peixes, aves, invertebrados (devido ao impacto nas grelhas das tubagens de captação) e o arrastamento de pequenos organismos, cujos detritos são deixados no mar, reduzindo assim a quantidade de oxigénio nas proximidades, afetando de igual modo o seu ecossistema. Em Cabo Verde esses problemas praticamente não se colocam. Se por um lado a dimensão das unidades de dessalinização instaladas no país não permitem a extração de grandes volumes de água (capacidade inferior a 5 000 m<sup>3</sup>/dia), por outro lado estas utilizam sistemas de captação submersos, através de poços em praias onde a água emerge sobre os sedimentos, aproveitando a filtração natural proporcionada por esses sedimentos. Na Figura 4.30 é indicado um sistema de captação de água através de poços verticais junto à costa, cuja configuração permite reduzir os impactes ambientais relacionados com o sistema de captação de água.



**Figura 4.30** – Esquema do poço de captação de água do mar nas IDAM da APP e poço de captação de água da ELECTRA (Matiota). Fonte: APP e ISLHágua.

Impactes devido a descarga das salmouras diretamente no mar: Em Cabo Verde os resíduos gerados no processo de dessalinização são lançados diretamente no mar (salmoura). No entanto, uma vez que a capacidade instalada no país é muito reduzida (inferior a 30 000 m<sup>3</sup>/dia) e as instalações de dessalinização estão dispersas um pouco por todo o arquipélago, os volumes de salmoura rejeitados são reduzidos, pelo que os seus impactos junto ao litoral são pouco expressivos atualmente. Contudo, verifica-se que face ao aumento das taxas de recuperação da água nos processos de membranas, a quantidade de sais nos efluentes tende a aumentar, e conseqüentemente os seus impactes ambientais. Tal como referido anteriormente, devido à sua maior densidade em relação à água do mar, a salmoura vai-se distribuir ao longo do fundo do mar em águas costeiras pouco profundas, afetando assim comunidades bentónicas<sup>34</sup>, como leitos de algas marinhas, corais, etc. A magnitude desses impactos depende de alguns fatores ambientais e hidrogeológicos do mar, nomeadamente: batimetria, ondas, correntes, profundidade da coluna de água, etc. Sabendo que Cabo Verde localiza-se numa região com fortes correntes marítimas (provenientes do Atlântico Norte) e emerge de uma região elevada do atual fundo oceânico que faz parte da “Crista de Cabo Verde” [68], estes fatores favorecem a rápida diluição da salmoura na água do mar, e conseqüentemente os impactos das descargas diretas. De qualquer modo as instalações de dessalinização da água do mar, cujas descargas de efluentes é feito em zonas pouco profundas, usam sistemas difusores de modo a minimizar ou prevenir esses impactos. Ao utilizar múltiplos orifícios de saída, em vez de um único, a diluição do efluente pode ser acelerada diminuindo os impactos em áreas mais sensíveis (ver Figura 4.31).

<sup>34</sup> Comunidades de organismos marinhos que vivem junto ao fundo do mar.



**Figura 4.31** – Difusores para descarga de efluente do processo de dessalinização [66].

Impactes indiretos devido ao consumo intensivo de energia: A dessalinização da água do mar é uma atividade cujo processamento requer uma grande quantidade de energia, produzida sobretudo a partir de combustíveis fósseis, resultando em impactes ambientais significativos. A produção de água dessalinizada está diretamente ligada à produção de energia elétrica e consome cerca de 10% da energia elétrica produzida em Cabo Verde [69]. Visando diminuir a dependência do país em relação aos combustíveis fósseis na produção de energia elétrica, devido ao seu elevado custo de importação, o Governo tem apostado fortemente em sistemas de produção de energias renováveis (energia eólica e solar), aproveitando o grande potencial do país em termos de horas de sol e vento durante quase todo o ano, reduzindo assim o consumo de combustíveis fósseis e a emissão de gases de efeito de estufa. O Quadro 4.16 mostra a emissão de dióxido de carbono em 2009 calculada a partir das centrais de produção de energia da ELECTRA.

**Quadro 4.16** – Emissão de dióxido de carbono em 2009 nas centrais elétricas da ELECTRA.

Fonte: CARMA<sup>35</sup>

Central produção	Tonelada CO <sub>2</sub>	Energia produzida (MWh)
Matiota (São Vicente)	29,253	40 014
Palmeira (Sal)	33,153	44 795
Palmarejo (Praia)	46,735	63 453

<sup>35</sup> Site: <http://www.carma.org/>



## *Capítulo V - Conclusão*

---

*(esta página foi deixada propositadamente em branco)*

## 5.1. Conclusão

A dessalinização da água do mar é hoje uma alternativa segura/viável face à escassez dos recursos hídricos de água potável a nível global. Durante as últimas décadas, uma série de tecnologias de dessalinização da água do mar foram introduzidas no mercado, mas os custos de produção ainda permanecem elevados. No entanto, o custo de dessalinização diminuiu consideravelmente ao longo das últimas três décadas e as tecnologias de dessalinização, particularmente RO, poderá competir em breve com as tecnologias convencionais de produção e fornecimento de água potável. Esta redução nos custos deve-se sobretudo aos avanços tecnológicos verificados ao nível dos processos de membranas, nomeadamente a RO, bem como a experiência acumulada.

O investimento requerido e o custo total de água são parâmetros primários utilizados pelos decisores na seleção da tecnologia de dessalinização mais apropriada para um dado projeto, e baseiam-se em fatores como: a capacidade da instalação, consumo de energia, tipo de contrato de prestação de serviço, e de outros fatores, como os impactes ambientais. Os custos da dessalinização citados na literatura da especialidade variam significativamente, mesmo para instalações de capacidade semelhante e usando a mesma tecnologia, pois são específicos do lugar onde as instalações se inserem. Dentro desses parâmetros os mais relevantes em termos de custos, são as amortizações e o custo de consumo de energia, sendo que este último varia significativamente, mesmo para instalações utilizando o mesmo processo e para mesma capacidade instalada.

Assim como nos demais processos industriais, na dessalinização temos o produto (água dessalinizada) mas também um sub-produto (salmoura), cuja concentração de sais é muito elevada e portanto com elevado potencial de impactos negativos quando descarregado inadequadamente sobre o meio ambiente. A extração da matéria-prima (água do mar) pode ser muito nociva aos ecossistemas marinhos caso não sejam adotadas as medidas adequadas na captação de água. Para além disso, há também o aspeto relacionado com o consumo intensivo de energia, que de uma forma indireta acaba por afetar o ambiente, devido ao elevado consumo de energia proveniente de combustíveis fósseis, e conseqüentemente elevada carga de emissão de gases de efeito de estufa.

A História da dessalinização da água do mar em Cabo Verde evoluiu de forma semelhante à evolução da dessalinização da água do mar no geral para fins comerciais, desde da sua introdução no país na década de 50 com os processos térmicos à sua expansão através do

processo RO. Porém a capacidade instalada do processo de dessalinização continua insuficiente face as necessidades reais do país, e os custos da dessalinização em Cabo Verde são ainda muito elevados. O elevado preço de energia elétrica é a principal causa desse problema, sendo por isso pouco provável que esses custos venham a reduzir significativamente no futuro.

Finalmente, espera-se que este estudo tenha contribuído para melhor conhecer as tecnologias vulgarmente utilizadas na dessalinização da água do mar, e em particular os custos, benefícios e impactes ambientais associados ao processo. Também foi objetivo deste estudo ilustrar a experiência cabo-verdiana, que ao longo das últimas décadas tem vindo a construir dezenas de instalações de produção de água a partir da dessalinização da água do mar, que se apresenta como a única alternativa viável para o abastecimento de água potável aos grandes centros populacionais do país, dado a grande escassez de recursos hídricos naturais de água doce no país.

Por último, mas não menos importante, gostaria de realçar as dificuldades encontrada no que diz respeito à informação e documentação relacionadas com o setor da água em Cabo Verde, e em particular a produção de água dessalinizada, pelo não foi possível abordar a dessalinização em Cabo Verde com o rigor pretendido. Tendo em conta o carácter público do serviço prestado e a transparência exigido no sector, as entidades que compõem este setor devem ter em consideração este facto, de modo a que as investigações futuras possam contribuir de melhor forma para uma boa colaboração no desenvolvimento deste setor, fundamental para o bem-estar económico e social do país.

## Referências

---

- [1] Eltawil M.A., Zhengming Z, Yuan L. “A review of renewable energy technologies integrated with desalination systems”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2009, n.13, pp. 2245-62.
- [2] Kalogirou S.A. “Seawater desalination using renewable energy sources”, *Progress in Energy and Combustion Science* 2005, n.31, pp. 242-81.
- [3] Pagaime, L.M.T “Dimensionar uma instalação de dessalinização de água por destilação a baixa temperatura”, Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2011.
- [4] “Water for life 2005-2015”, United Nations Department of Public Information, 2005, pp. 1-17.
- [5] Khatri, K.B.; Vairavamoorthy, K.; “Challenges for urban water supply and sanitation in the developing countries”, Discussion Draft paper for session on urbanization, UNESCO-IHE, 2007, pp. 1-20.
- [6] Karagiannis, I.C., Soldatos, P.G. “Water desalination cost literature review and assessment”, *Desalination*, 2008, n.223, pp. 448-456.
- [7] Phelp, D. “Water and conflict: Historical perspective”, *Journal of Water Resources, Planning and Management*, 2007, n.133, pp. 382-385.
- [8] Unesco, “Los recursos mundiales de agua dulce – El ciclo natural del agua”, *Agua para todos, agua para la vida I Resumen*, Mundi-prensa libros, Paris, 2003, pp. 8-10.
- [9] Falconer, R.A. “Global water security: an introduction and opportunities for IAHR”, *Hydrolink*, 2012, n.1, pp. 4-7.
- [10] Rodrigues, E. “Negociações sobre recursos hídricos e a Resistência dos estados: repensando as políticas hídricas para Amazônia continental”, *Proceeding do II encontro da ANPPAS*, São Paulo, Brasil, 2004. [Http://www.anppas.org.br/encontro\\_anual/encontro2/GT/GT13/elaine\\_rodrigues2.pdf](http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT13/elaine_rodrigues2.pdf), acessado em 12/07/2012.
- [11] Bleninger, T. “Demand for hydro-environment engineering and research”, *Hydrolink*, 2012, n.1, pp. 16-19.
- [12] Cooley, H.; Gleick, P.H.; Wolf, G. “Desalination, With a Grain of Salt – A California Perspective”, Pacific Institute, Oakland/California, EUA, 2006.

- [13] Ghaffour, N., Missimer, T. M., Amy, G.L. “Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability”, *Desalination*, 2013, n. 309, pp. 197-207.
- [14] Reddy, K.V., Ghaffour, N. “Overview of the cost of desalinated water and costing methodologies”, *Desalination*, 2007, n. 205, pp. 340-353.
- [15] Khawaji, A.D., Kutubkhanah, I.K., Wie, J-M. “Advances in seawater desalination technologies”, *Desalination*, 2008, n. 221, pp. 47-69.
- [16] Zhou, Y., Tol, R.S.J. “Evaluating the cost of desalination and water transport”, *Water Resources Research*, vol. 41, 2009, pp. 1-10.
- [17] Frenkel, V.S. “Seawater Desalination: Trends and Technologies” 2011, pp. 121-128, [http://cdn.intechopen.com/pdfs/13756/InTechSeawater\\_desalination\\_trends\\_and\\_technologies.pdf](http://cdn.intechopen.com/pdfs/13756/InTechSeawater_desalination_trends_and_technologies.pdf), acedido em 16/02/2012
- [18] “UCLA nanotech water desalination membrane could consume 50% less energy”, *Filtration+Separation*, vol. 43, n.10, 2006, pp. 10.
- [19] Paiva, J.N.S. “Avaliação técnica e económica de sistemas duais de abastecimentos de água”, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade Técnica de Lisboa, 2008.
- [20] Metcalf & Eddy, Inc. “Wastewater Engineering: treatment and reuse” 4ª Edição, McGraw-Hill, 2003.
- [21] Programa Nacional Para o Uso Eficiente Da Água: Versão Preliminar, Estudo elaborado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) com apoio do Instituto Superior de Agronomia (ISA). Lisboa, Portugal, 2001.
- [22] May, S. “Estudo da viabilidade do aproveitamento da água das chuvas para o consumo não potável em edificações”, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.
- [23] Falconer, R.A. “Global water security: an introduction and opportunities for IAHR”, *HydroLink*, 2012, n.1, pp. 4-7.
- [24] Dawoud, M.A., Al Mulla, M.M “Environmental Impacts of Seawater Desalination: Arabian Gulf Case Study”, *International Journal of Environment and Sustainability*, vo. 11, 2012, n. 3, pp. 22-37.
- [25] Sommariva, C., Hogg, H., Callister, K. “Environment Impact of seawater desalination: relation between improvement in efficiency and environment impact”, *Desalination*, 2004, n.167, pp. 439-444.

- [26] Einav, R., Harussi. K. Perry, D. “The footprint of the desalination process on the environment”, *Desalination*, 2002, n. 3, pp. 141-154.
- [27] Younos, T. “Environmental Issues of Desalination”, *Journal of Contemporary Water Research & Education*, 2005, n. 132, pp. 11-18.
- [28] Soares, T.M., Da Silva, I.J.O., Duarte, S.N., Silva, E.F. “Destinação de águas residuais provenientes do processo de dessalinização por osmose reversa”, *Revista Brasileira de Energia Agrícola e Ambiente*, vol. 10, 2006, n.63, pp. 730-737.
- [29] Semiat, R. “Desalination: Present and Future” *Water International*, 2000, p. 54-65.
- [30] Wangnick, K. “IDA Worldwide Desalting Plants Inventory”. Gnarrenburg, Germany: Produced by Wangnick Consulting for the International Desalination Association, 2002.
- [31] El-Ghonemy, A.M.K. “Water desalination systems powered by renewable energy sources: Reviews”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2012, n. 16, pp. 1537-1556.
- [32] Diaz-Caneja, J., Farinas, M. “Cost Estimation Briefing for large Sewater Reverse Osmosis Facilities in Spain” PRIDESA, 2004, pp. 121 -140. <http://gwri-ic.technion.ac.il/pdf/IDS/84.pdf> acessado em 05/08/2013
- [33] Ettouney, H., El-Dessouky, H., Faibish, R.S., Gowin, P.J. “Evaluating the economics of desalination”, *Chemical Engineering Progress*, 2002, n.98, pp. 32-39.
- [34] Moch, I., Moch, J. “A 21st century study of global seawater reverse osmosis operating and capital costs”, in: BHRO1-16, AWWM Conference, Atlanta GA, USA, March 2003.
- [35] Mahmoudi, H., Abdellah, O., Ghaffour, N. “Capacity building strategies and policy for desalination using renewable energies in Algeria, *Renewal Sustainable Energy Review*, 2009, n.13, pp. 921-926
- [36] Younos, T., Toulou, K. E. “Overview of desalination Techniques”, *Journal of contemporary water research & education*, 2005, n. 132, pp. 3-10.
- [37] “Nanotubes membrane to reduce desalination cost”, *Filtration+Separation*, 2006, vol. 43, n.6, pp. 12-13.
- [38] Greenlee, L., Lawler, D.F., Freeman, B., Marrot, P.M. “Reverse osmosis desalination: Water sources, technology, and today’s challenges”. *Water research*, 2009, n.43, pp. 2317-2348.
- [39] Guerreiro, M.L. “Dessalinização para a produção de água potável: Perspectivas para Portugal”, Tese de Mestrado em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia de Universidade do porto, Universidade do Porto, 2009.
- [40] Adam S., Cheng R.C., Vuong D.X., Wattier K.L. Long Beach’s dual-stage NF beats single-stage SWRO. *Desalination Water Reuse*, 2003. vol.13, n.3, pp.18-21.

- [41] Guirguis, M.J. “Energy Recovery Devices in Seawater reverse osmosis desalination with emphasis on efficiency and economical analysis of isobaric versus centrifugal devices”. Theses for the degree of master of science, Department o Mechanical Engineering College of Engineering, University of South California , 2011.
- [42] Penate, B., De la Fuente, J. A., Barreto, M. “Operation of the RO Kinetic energy recovery system: Description and real experiences” *Desalination*, 2010, Vol. 252, pp. 179-185
- [43] Paul Chen, J. Wang, K. L., Yang, L. “Thermal Distillation and Electrodialysis Technologies for Desalination”, *Handbook of Environmental Engineering*, 2006, Vol. 5, pp. 295-327
- [44] Brunner, R. E. “Electrodialysis” *Saline Water Processing* .Hans-Gunter Heitmann: VCH Verlagsgesellschaft, Federal Republic of Germany, 1990, pp. 197-217
- [45] Livro Branco sobre o Estado do Ambiente em Cabo Verde, Ministério do Ambiente Agricultura e Pesca, Praia, 2004
- [46] INE, Censo 2010, <http://www.ine.cv/censo/censo2010.aspx> acessado em 15/02/2013
- [47] WHO/UNICEF, Joint Monitoring Program for Water Supply and Sanitation, Estimates for the use of Improved Drinking-Water Sources, Cape Verde, March de 2012
- [48] Plano de Acção Nacional de Gestão Integrada dos Recursos Hídricos – PAGIRE, “Diagnostico da Situação dos Recursos Hídricos e do seu Quadro de Gestão”, Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos, Praia, 2008.
- [49] Plano de Acção Nacional para o Ambiente – PANA II, “Segundo Plano de Acção Nacional para o Ambiente: 2004-2014”, Ministério do Ambiente Agricultura e Pesca Praia, Gabinete de Estudos e Planeamento, 2004.
- [50] Esquema Diretor para a Exploração dos Recursos Hídricos (1993 – 2005), Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento – Conselho Nacional de Águas, Instituto Nacional de Gestão dos Recursos Hídricos, Abril de 199
- [51] Gominho, M., Pina Said Aly, A.P. “Conservação e o Uso Sustentável dos Aquíferos Costeiros da Bacia Hidrográfica da Ribeira Seca – Cabo Verde. Definição e Estratégias de Intervenção.” INGRH, <http://www.abrh.org.br/> acessado em 25-06-2013.
- [52] Sector da Água – A Regulação do Sector de Água e Saneamento, <http://www.are.cv/index> acessado em 04/03 /2013
- [53] ELECTRA. “Relatório e contas 2011”. Actividade Operacional, investimentos, águas residuais, Actividade Comercial, Recursos Humanos. Empresa de Electricidade e Água, SARL, Mindelo. 2012

- [54] Andrade, L. “Qualidade da Água potável para consumo na Cidade do Mindelo - São Vicente - Cabo Verde - 2010”, Monografia de Licenciatura em Biologia Marinha e Pescas, Departamento de Engenharias e Ciências do Mar , Universidade de Cabo Verde, 2011.
- [55] Banerjee, S. E., Morella, E. “Africa’s Water and Sanitation Infrastructure: Access, Affordability, and Alternatives”, The World Bank, Washington D.C., 2008 acessado em <http://books.google.pt/books>.
- [56] Plano Nacional de Saneamento Básico, Centro de Políticas Estratégicas, Gabinete do Primeiro Ministro de Cabo Verde, Praia, 2010.
- [57] Heilweil, V.M., Gingerich, S.B., Plummer, L.N., Verstraeten, I.M., 2010a, Groundwater resources of Ribeira Fajã Basin, Island of São Nicolau, Cape Verde, West Africa: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010-3071, 6 p, retirado de <http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3069> acedido em 20/10/2012
- [58] Heilweil, V.M., Gingerich, S.B., Plummer, L.N., Verstraeten, I.M., 2010a, Groundwater resources of Mosteiros Basin, Island of Fogo, Cape Verde, West Africa: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010-3071, 6 p, retirado de <http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3069> acedido em 20/10/2012
- [59] Heilweil, V.M., Gingerich, S.B., Plummer, L.N., Verstraeten, I.M., 2010a, Groundwater resources of Ribeira de Paul Basin, Island of Santo Antão, Cape Verde, West Africa: U.S. Geological Survey Fact Sheet 2010-307. 6p, retirado de <http://pubs.usgs.gov/fs/2010/3069> acedido em 20/10/2012.
- [60] Diagnóstico do Sector de Água e Saneamento em Cabo Verde, Novembro 2007, acessado em [www.sia.cv/planos-e-estrategias/diagnostico-do-sector-de-agua-e-saneamento](http://www.sia.cv/planos-e-estrategias/diagnostico-do-sector-de-agua-e-saneamento). acessado em 20/ 04/ 2013.
- [61] <http://www.electra.cv/index.php/Analises-de-Agua/View-category.html> acedido 30/ 04/2013.
- [62] <http://www.electra.cv/index.php/Breve-Historial/Page-2.html> acedido 30/04/2013
- [63] ELECTRA. “Relatório e contas 2004”. Actividade Operacional, investimentos, águas residuais, Actividade Comercial, Recursos Humanos. Empresa de Electricidade e Água, SARL, Mindelo. 2005.
- [64] ELECTRA. “Relatório e contas 2010”. Actividade Operacional, investimentos, águas residuais, Actividade Comercial, Recursos Humanos, Reestruturação da dívida Electra/Agrupamento/BCA. Empresa de Electricidade e Água, SARL, Mindelo, 2011.
- Geral do Turismo, Ministério de Economia Crescimento e Competitividade, Praia, 2010.

- [65] Água de Porto Novo (APN). “Relatório de Gestão, Exercício 2012”. Acontecimentos Mais relevantes, Evolução do negócio, auto-produção de energia, dados económico-financeiros, Recursos humanos, dados da sociedade, Projectos complementares, evolução previsível da sociedade, acontecimentos posteriores ao fecho do exercício. Águas do Porto Novo S.A., Porto Novo. 2013.
- [66] Agriculture, Fisheries & Forestry – Australia, “Economic and Technical Assessment of Desalination Technologies in Australia: With Particular Reference to National Action Plan Priority Regions, National Dryland Salinity Program, Australia, 2002.
- [67] Watereuse Association Desalination Committee, “Seawater Desalination Power Consumption”, White Paper, 2011, retirado de [http://www.watereuse.org/sites/default/files/u8/Power\\_consumption\\_white\\_paper.pdf](http://www.watereuse.org/sites/default/files/u8/Power_consumption_white_paper.pdf). acedido em 04/02/2013
- [68] Gomes, A.M. Hidrologia e Recursos Hídricos da ilha de Santiago (Cabo Verde), Tese de Doutoramento em Geociência- Hidrologia, Departamento de Geociência, Universidade Aveiro, 2007
- [69] Ministério da Economia Crescimento e Competitividade “Política Energética de Cabo Verde”, 2008. Retirado de [http://www.governo.cv/documents/politica\\_energetica.](http://www.governo.cv/documents/politica_energetica), acedido em 07/04/2013

