



FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

DESSALINIZAÇÃO PARA PRODUÇÃO DE ÁGUA POTÁVEL.

Perspectivas para Portugal.

MÁRIO LUÍS FERREIRA BRANDÃO GUERREIRO

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM HIDRÁULICA

Orientador: Professor Doutor Paulo Tenreiro dos Santos Monteiro

Co-Orientador: Professor Doutor Mário Jorge Valente Neves

JULHO DE 2009

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2008/2009

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2008/2009 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2008*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respectivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão electrónica fornecida pelo respectivo Autor.

Aos meus queridos pais

*Às penas e aos boiões de tinta
que escrevem todos os dias
versos novos no poema
que é a nossa vida*

AGRADECIMENTOS

Gostaria de dar um agradecimento muito especial ao meu orientador Professor Doutor Paulo Tenreiro dos Santos Monteiro primeiro por ter aceitado orientar este trabalho, em segundo pela ajuda que se prestou sempre a dar no decorrer desta dissertação, em terceiro pelos ensinamentos que me conferiu nos anos que me teve como seu aluno e por último mas não menos importante queria agradecer-lhe pela paciência e pelo apoio moral que me deu em momentos de desabafo.

Ao meu co-orientador Professor Doutor Mário Jorge Valente Neves quero deixar um agradecimento especial por me ter encorajado a seguir em frente com este desafio totalmente novo para mim. Agradeço-lhe ainda os ensinamentos que me passou no decorrer do curso.

Ao Dr. Paulo Malho da empresa Repura por se ter disponibilizado a fornecer-me material de apoio e a esclarecer-me algumas dúvidas que iam surgindo ao longo do trabalho.

Aos restantes professores do curso, em especial os da secção de Hidráulica, agradeço os conhecimentos transmitidos.

Aos meus amigos. Obrigado por estarem sempre do meu lado sempre que preciso e por ajudarem a levar esta jornada até ao fim. Em especial agradeço ao Tiago Magalhães, José Melo, Raquel Rios, Mariana Fonseca, Ana Margarida Costa, Dalila Oliveira, Ana Sofia Silva, Alexandra Sepúlveda, Paula Trindade, Mariana Domingos, Diana Costa, Marina Moreira, Rafael Gonçalves, Pedro Oliveira e Tiago Ferreira pelos momentos espectaculares que passamos juntos.

A todos os meus colegas de curso com quem vivi e partilhei experiências notáveis neste anos.

À Fernanda e ao Gonçalo, pelo apoio que me deram e por terem sempre uma palavra amiga a dizer nos momentos mais oportunos.

Ao Philipp agradeço a simpatia e amizade, as caminhadas e os bons momentos que passamos juntos.

À minha família agradeço o carinho com que sempre me acolhem.

À minha querida irmã, quero agradecer as longas conversas e desabafos que tivemos bem como os sábios conselhos que me deu. Eles ajudaram-me a crescer e a evoluir enquanto ser e a tornar-me na pessoa que sou hoje.

Aos meus queridos pais quero do fundo do coração agradecer-lhes tudo o que fizeram, fazem e farão por mim. Vocês sempre estiveram do meu lado em todos os momentos da minha vida e em todos sempre apoiaram as minhas decisões. Obrigado pela vossa paciência, compreensão, conselhos e, sobre tudo, pelo vosso amor.

Mariana, o apoio incondicional que me deste na realização deste trabalho, não poderei sublinhar suficientemente. Obrigado pela paciência e compreensão que demonstraste enquanto realizava esta dissertação. As tuas críticas e os teus conselhos foram importantes para perceber outros pontos de vista. A ti agradeço o amor que dás, pois sem ele não teria sido capaz de fazer metade das coisas que fiz.

RESUMO

Tendo em conta a escassez de água potável, recolhe-se informação sobre as tecnologias de tratamentos de água alternativos, em particular a dessalinização e tratamento de águas pluviais. Equaciona-se o seu uso em pequenas unidades, como opções para abastecimento de águas mais sustentáveis e independentes.

Palavras-chave: escassez de água, dessalinização, tratamento de água, sustentabilidade, abastecimento de água independente.

ABSTRACT

Given the scarcity of drinking water, it is collected information about alternative water purification systems. Its use in small units, as options for more sustainable and independent water supply is considered.

Key-words: water scarcity, desalination, water treatment, sustainability, independent water supply

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
1. INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS	1
1.1. INTRODUÇÃO	1
1.2. OBJECTIVOS	2
2. ESCASSEZ DE ÁGUA	3
2.1. ESCASSEZ DE ÁGUA.	3
2.1.1. GENERALIDADES	3
2.1.2. ESCASSEZ DE ÁGUA	6
2.1.2.1. Caracterização Hidrográfica.....	7
2.1.2.2. Indicadores hídricos	13
2.1.3. CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E SOLUÇÕES	18
3. ESTADO DA ARTE	21
3.1. INTRODUÇÃO	21
3.2. PROCESSOS TÉRMICOS	22
3.2.1. MULTISTAGE FLASH DISTILLATION	23
3.2.2. MULTIPLE EFFECT DISTILLATION	23
3.2.3. VAPOR COMPRESSION.....	24
3.2.4. SOLAR DISTILLATION	25
3.3. PROCESSOS DE MEMBRANAS	26
3.3.1. ELECTRODIÁLISE E ELECTRODIÁLISE REVERSÍVEL.....	26
3.3.2. OSMOSE INVERSA.....	28
3.4. OUTROS PROCESSOS	32
3.4.1. ION EXCHANGE.....	32
3.5. FUTURO	32

4.ABASTECIMENTO DE ÁGUA	35
4.1 ACTUALIDADE	35
4.2 ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEL	38
4.2.1 SUSTENTABILIDADE.....	38
4.2.2 ÁGUAS PLUVIAIS.....	40
4.2.2.1 Finalidades das Águas Pluviais.....	41
4.2.2.2 Sistema de Aproveitamento da Água Pluviais (SAAP)	41
4.2.3 ÁGUA DO MAR	45
4.2.3.1 Finalidade da Água Dessalinizada	45
4.2.3.2 Sistema de Osmose Inversa	46
4.3 HABITAÇÃO SUSTENTÁVEL	56
5.CONCLUSÕES	59
BIBLIOGRAFIA	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 2. 1 – Distribuição da água no planeta. Fonte: PNA.....	3
Fig. 2. 2 – Evolução demográfica. Fonte: PNA.....	4
Fig. 2. 3 – Ciclo Hidrológico.	7
Fig. 2. 4 – Mapa de Precipitação em Portugal. Fonte SNIRH	8
Fig. 2. 5 – Carta Hipsométrica. Fonte SNIRH	8
Fig. 2. 6 – Bacias hidrográficas. Fonte: SNIRH	10
Fig. 2. 7 – Localização das Albufeiras. Fonte: SNIRH.....	10
Fig. 2. 8 – Localização das principais barragens. Fonte: SNIRH	10
Fig. 2. 9 – Mapa da Temperatura. Fonte: SNIRH	12
Fig. 2. 10 – Mapa do uso do solo. Fonte: SNIRH	13
Fig. 3. 1 – Esquema de uma central do tipo MSF. Fonte: Semiat R. (2000)	23
Fig. 3. 2 – Esquema de uma central do tipo MED. Fonte: Semiat R. (2000).....	24
Fig. 3. 3 – Esquema do processo MVC. Fonte: SIDEM.....	25
Fig. 3. 4 – Esquema da destilação solar. Fonte: UNEP.....	26
Fig. 3. 5 – Esquema de uma pilha de membranas. Fonte: Younos T. e Tulou K. E. (2005)	27
Fig. 3. 6 – Princípio da osmose inversa. Fonte: Younos T. e Tulou K. E. (2005)	28
Fig. 3. 7 – Esquema do tratamento por osmose inversa. Fonte: Semiat R. (2000).....	30
Fig. 3. 8 – Membrana em espiral.....	30
Fig. 3. 9 – Membrana oca	31
Fig. 4. 1 – Ciclo urbano da água	36
Fig. 4. 2 – Empresas do grupo AdP	37
Fig. 4. 3 – Exemplo de uma habitação com diversas superfícies de recolha de água.....	42
Fig. 4. 4 – Protecção da caleira.....	42
Fig. 4. 5 – Rainus 3P	43
Fig. 4. 6 – 3P Volume Filter 1 (VF1).....	43
Fig. 4. 7 – 3P Volume Filter 2 (VF2).....	43
Fig. 4. 8 – Sistema de aproveitamento das águas pluviais numa habitação.....	45

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 2. 1: Índice de Falkenmark (Fonte: Ferreira T. (2008))	14
Quadro 2. 2: Índices e conteúdos do WPI	16
Quadro 2. 3: Índice de desenvolvimento humano 2005 (HDI) para alguns países.	17
Quadro 2. 4: Resumo dos índices de WPI, HDI e Falkenmark para Portugal	17
Quadro 2. 5: Valores do WWF para Portugal	18
Quadro 4. 1: Características físicas dos sistemas da série SY.	48
Quadro 4. 2: Características da série S.	49

SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

ppm – partes por milhão

GPD – Galões por dia

AdDP – Águas do Douro e Paiva

AdP – Águas de Portugal

CDI – Capacitive Deionization

ED – Electrodialise

EDI – Electrodeionization

EDR – Electrodialise Reversível

ETA – Estação de tratamento de águas

ETAR – Estação de tratamento de águas residuais

FS – Freeze Separation

FH – Freezing With Hydrates

HDI – Human Development Index

HEM - Hydro Electric Marine

IE – Ion Exchange

INAG – Instituto da Água

INE – Instituto nacional de estatística

MEE – Multi-effect Evaporation

MED – Multiple Effect Distillation

MD – Membrane Distillation

MSF – Multistage Flash Distillation

MVC – Mechanical Vapor Compression

OI – Osmose Inversa

PIB – Produto Interno Bruto

PNA – Plano Nacional da Água

PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento

PVC – Policloreto de Vinilo

RO –Reverse Osmosis

RSE – Rapid Spray Evaporation

SAAP – Sistema de aproveitamento das águas pluviais

SD – Solar Distillation

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos

TVC – Thermal Vapor Compression

TDS – Total de Sólidos Dissolvidos

VC – Vapor Compression

VD – Vacuum Distillation

WHO – World Health Organization

WPI – World Poverty Index

WWF – Water Footprint

1.

INTRODUÇÃO E OBJECTIVOS

1.1. INTRODUÇÃO

“Depois fez Moisés partir os israelitas do Mar Vermelho, e saíram ao deserto de Sur; e andaram três dias no deserto, e não acharam água. Então chegaram a Mara; mas não puderam beber das águas de Mara, porque eram amargas; por isso chamou-se o lugar Mara. E o povo murmurou contra Moisés, dizendo: Que havemos de beber? E ele clamou ao Senhor, e o Senhor mostrou-lhe uma árvore, que lançou nas águas, e as águas se tornaram doces. Ali lhes deu estatutos e uma ordenança, e ali os provou.” (Êxodo, capítulo 15, versículos 22-25). Esta é seguramente a mais antiga referência sobre a dessalinização que se conhece. Ainda que entre mito e facto histórico, esta passagem permite já adivinhar que, durante a Idade do Bronze – época a que remonta Moisés – fossem já conhecidas verdadeiras técnicas de dessalinização, retratadas aqui, como de resto em todo o texto, mais como fenómeno milagroso do que verdadeiro prodígio da técnica.

Ao longo da História, o Homem digladiou-se com o mar. Fonte de alimento, porque dele se retirou sempre peixe, o mar é também o espaço do medo, da dúvida, da morte, onde naufragam os navios e com cujas águas ninguém poderá sobreviver. No sentido oposto se encaram as águas doces, especialmente das fontes e rios, utilizadas para consumo de homens, animais e plantas, sempre assimiladas como imagem de vida e tranquilidade. A literatura é, talvez, a maior depositária de toda a representatividade do conflito entre água doce e água salgada¹.

O que este trabalho propõe é, acima de tudo, uma abordagem inicial. Considerando a actual falta de água potável, extraída quase sempre de albufeiras ou minas, começa a ser necessário equacionar-se a água salgada, devidamente tratada, como recurso viável para consumo humano. Tendo em conta a cada vez maior consciencialização para os problemas ambientais, por um lado, e os benefícios económicos de longo prazo, por outro, sugere-se o tratamento de águas realizado localmente, dentro de núcleos relativamente pequenos e uniformes – residências, condomínios, hotéis – como ponto de partida. Ao recorrer à água do mar, poder-se-á suprir em grande medida as carências de água actuais, ao mesmo tempo que a água das chuvas tratada pode complementar a utilização dessa mesma água salgada tratada.

Naturalmente que este não é, nem visa ser, um estudo exaustivo. Tanto por motivos de tempo e dimensões, como pelos próprios objectivos deste trabalho – que procura acima de tudo levantar a questão e trazê-la a debate, foi necessário restringi-lo à análise do material actualmente disponível, adiantando-se já os avanços previstos pela investigação. Procurar-se-á equacionar o uso concreto desta tecnologia, sem contudo se proceder a um estudo de caso, que poderia ser interessante mas, talvez,

¹ Apenas como referência, assinala-se o estudo de FERREIRA, M.R. (1999).

restringisse demasiado o trabalho, que, recorde-se, apenas se quer como primeiro avanço sobre o problema. Contudo, procurou-se levantar os materiais disponíveis no mercado, para que possam ser tidos em conta na abordagem de casos concretos.

Finalmente, esta é uma investigação técnica, pelo que não houve a possibilidade – nem para tal haveria a preparação necessária – de realizar um muito pertinente estudo de carácter sociológico que permitisse sondar até que ponto estas novas tecnologias terão aceitação por parte da população. Embora se procure levantar sobretudo hipóteses viáveis económica e ecologicamente, a técnica não pode jamais perder de vista o seu propósito – servir as pessoas. É para que, eventualmente, estas possam ser cada vez mais e mais bem servidas que se procura avançar, tendo fundamentalmente o mesmo propósito esta pequena abordagem sobre a dessalinização.

1.2. OBJECTIVOS

A dessalinização para produção de água potável é uma técnica cada vez mais utilizada em regiões de grande stress hídrico, em parte devido à redução dos custos de produção. No sul de Espanha, por exemplo, proliferam unidades deste tipo e em Portugal começam a surgir alguns exemplos. A osmose inversa, com recurso à tecnologia das membranas, é o processo mais utilizado.

Um dos objectivos do trabalho consiste em aprofundar conhecimentos sobre esta tecnologia. Um outro objectivo passa por fazer o ponto da situação relativamente à dessalinização em Portugal.

Centra-se, também, este trabalho na análise do conceito de sustentabilidade hídrica de um edifício, para tal, outro dos objectivos propostos neste trabalho é a reflexão sobre a utilização destes sistemas através de pequenas unidades de tratamento de água proveniente de chuva ou mar, em contexto local.

2.

ESCASSEZ DE ÁGUA.

2.1. ESCASSEZ DE ÁGUA.

2.1.1. GENERALIDADES

A superfície de nosso planeta é constituída por apenas 30% de terra firme. Os 70% restantes são de água, da qual apenas 2.5% é doce e, destes 2.5%, 1,0% é água doce superficial, 20% são águas subterrâneas e 79% são água em estado sólido (Fig. 2.1).

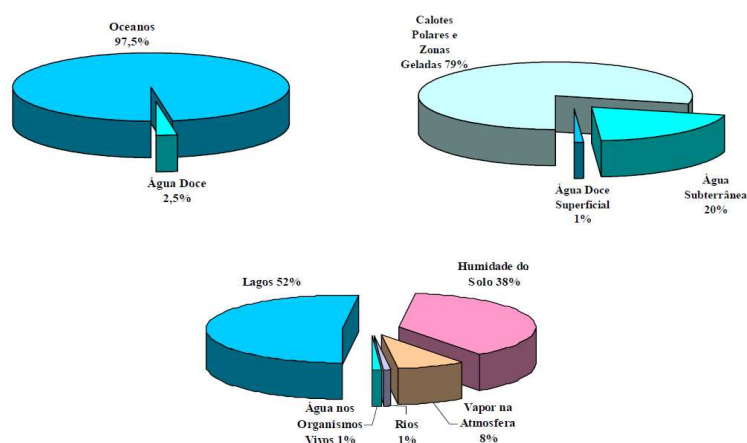


Fig. 2. 1 – Distribuição da água no planeta. Fonte: PNA

Estes valores fazem-nos pensar sobre os recursos de água disponíveis e a sua actual utilização.

A água, como se sabe, é um elemento essencial para que a vida exista na Terra. Nenhum ser, animal ou vegetal sobrevive sem ela. Mas esse não é seu único papel na natureza. Como agente da intempérie ela molda rochas, modifica paisagens, forma rios, mares e lagos. Sem a acção da intempérie não teríamos o solo que nos dá alimento e é sustentação de grande parte da vida vegetal existente.

A abundância e a carência de água têm tido grandes reflexos na evolução dos povos. Estes sempre tiveram tendência a se fixar em locais onde os recursos hídricos fossem abundantes e de fácil captação. Aí se fixavam e, com o passar do tempo, evoluíam como sociedade.

Essas sociedades cresceram e deram origem a aldeias, vilas, cidades e grandes metrópoles onde ainda hoje se verifica o contínuo crescimento populacional. A prova disso é que nos últimos 50 anos a população mundial passou de 2,5 mil milhões de pessoas para 6,1 mil milhões. Estima-se que até 2050

o nosso planeta tenha entre 9 e 11 mil milhões de habitantes. Consequência deste crescimento populacional, cresce, também, a demanda por alimentos, por energia, água e recursos minerais, aumentando, também, a poluição e a degradação ambiental.

É, por isso, importante neste relatório focar esta tendência de crescimento populacional, no nosso caso em Portugal, para que possamos compreender melhor as consequências que esta evolução acarreta em termos de consumos de água.

Segundo os dados no PNA, a população residente em Portugal Continental era, em 1981, de 9 336 760 indivíduos e de 9 362 095 em 1991, evoluindo para 9 733 226 pessoas em 2001.

A evolução da população entre os anos de 1981 e 1991 foi, em média, de cerca de 5,7%, isto é 0,554% de crescimento anual. Contudo, esta evolução não é igual em todos os concelhos e, embora a média nacional seja positiva, existem concelhos em que a taxa de crescimento neste período chega a atingir valores significativamente negativos.

Entre os anos de 1981 e 1991 a evolução, caracteriza-se por um ritmo de crescimento acelerado, com uma certa tendência para o crescimento, enquanto que o crescimento entre os anos de 1991 e 1998 se caracteriza por uma evolução com tendência para uma estabilização (Fig. 2.2).

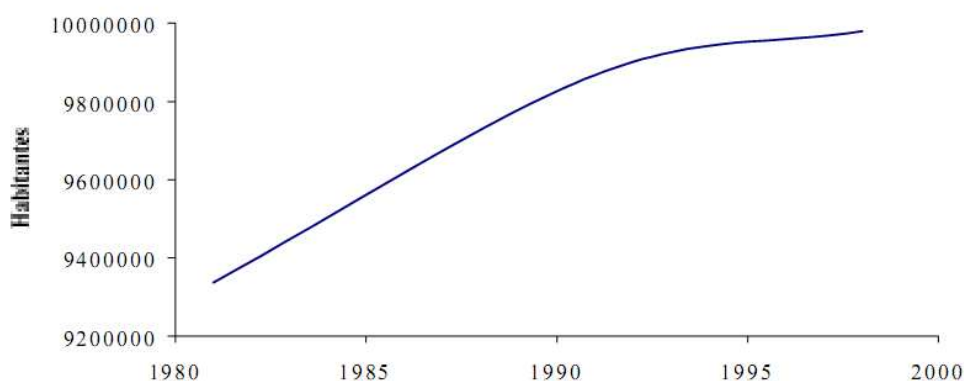


Fig. 2. 2 – Evolução demográfica. Fonte: PNA

Para um melhor enquadramento e compreensão das necessidades hídricas, serão estabelecidos três momentos cronológicos, que correspondem à época anterior às grandes barragens, à actualidade e ao futuro que se perspectiva.

No período anterior à construção das grandes barragens que permitem captar água em muito maior quantidade, as soluções mais comuns para obter água consistiam em escavar poços, abastecer-se nas nascentes ou nos rios, onde, por vezes, se podiam construir pequenos diques ou açudes. Embora já tivessem havido cidades com autênticas redes de fornecimento de águas, como no caso da Roma antiga, ou nas cidades muçulmanas do Al-Andaluz medieval, a verdade é que, durante mais de mil anos, a Europa praticamente desconheceu qualquer tipo de distribuição de água organizada que permitisse obter água ao domicílio através de uma rede pública². Até há bem pouco tempo em Portugal, em qualquer vila havia a fonte pública onde as pessoas iam buscar o seu cântaro de água ou um poço cuja captação era manual ou por tracção animal.

² Referimo-nos apenas à distribuição de água a particulares, uma vez que sistemas de distribuição públicos – para fornecer fontanários e tanques públicos – sempre existiram nas cidades desde o império romano até à contemporaneidade.

Contudo, nestas épocas a preocupação com a falta de água prendia-se muito mais com a existência de períodos de seca, que impossibilitavam a rega dos campos e o saciar da sede a pessoas e animais, do que com o esgotamento deste recurso quer por consumo excessivo, quer por problemas causados pela poluição. A maior preocupação era, acima de tudo, conseguir transportar e conservar água em casa: o transporte de água era feito por meio de recipientes pequenos, carregados por pessoas ou animais.

Quando se tinha proximidade com locais apropriados para captação, as preocupações de transporte e rega eram menores. A água era armazenada em tanques, podendo ser utilizada para consumo humano ou, então, encaminhada, por regos cavados no solo, até às culturas. Apesar dos avanços tecnológicos, estas práticas ainda podem ser encontradas em muitos locais de Portugal, mas já são efectivamente residuais.

Isto é, claramente, um sinal que em Portugal ainda restam práticas e alguns costumes desse tempo. Porém, tanto para consumo doméstico como para produção agrícola a um nível industrial, grande parte das águas provêm de sistemas de distribuição de água que a transporta até ao local de consumo.

Pode-se considerar que esta época anteriormente referida terminou há cerca de 80 anos, data aproximada da construção da primeira grande barragem, segundo West M. et al. (ano desconhecido):

“Algo de semelhante se registou em Portugal na antiguidade, onde se encontram vestígios de diversas barragens romanas, que pela inexistência de órgãos de descarga de cheias foram destruídas por rotura do respectivo corpo, provavelmente devido a galgamento do seu corpo em situações de cheia.”

Apesar de, neste caso, se salientar a existência de barragens no tempo dos romanos, tal como já acima foi referido, essas não possuíam nem a tecnologia nem os objectivos das de hoje, pelo que cronologicamente a mudança de espaço temporal dá-se há 80 anos atrás.

Actualmente, a realidade é outra. Com a construção de infra-estruturas de abastecimento de água o acesso a água potável no interior das casas aumentou. As grandes barragens que armazenam quantidades de água que parecem inesgotáveis, aliadas a sistemas de distribuição de água ao domicílio mais eficazes, transformaram o modo como as populações vêm e utilizam este recurso precioso. Subitamente, tornou-se possível gastar, em casa e nos cultivos, muita água com muito pouco esforço. A comodidade que esta evolução trouxe fez com que, ou por ignorância ou por luxo, se comesse a consumir água de uma forma desmedida. O aumento da população e a melhoria da qualidade de vida, que elevou os padrões de conforto exigidos pelas populações, provocaram a necessidade de dispor de água em muito maior quantidade.

Veja-se Cupeto C (2001):

“Todos sabemos que a água é só uma. Todos, ou quase todos, o esquecemos. Perdeu-se a consciência do ciclo da água: a água não é mais do que qualquer coisa gratuita, que não valorizamos, chega-nos pela torneira e escoar-se pelo ralo. Para o cidadão comum isto é água.”

As palavras de Cupeto C. sintetizam com clareza a atitude actual perante a água. Apesar das campanhas de sensibilização, a verdade é que este recurso continua a ser encarado como inesgotável: fugas em redes de abastecimento, falta de consciência de economia e poupança de água são das maiores causas para este desperdício.

A construção das grandes barragens veio causar muitos problemas ambientais e sociais. Cunha L. V. et al. (1980) listam uma gama de problemas que a construção de barragens origina ou pode originar. São eles:

- Alterações de clima com a criação dos grandes lagos artificiais;
- Alteração dos hábitos de vida das populações que vivem na região onde se forma a albufeira;
- Agravamento das doenças transmitidas pela água;
- Modificação ecológica das espécies aquáticas;
- Modificação das condições ecológicas da fauna e da flora terrestres nas regiões situadas na vizinhança dos rios;
- Erosões e assoreamentos do leito dos rios;
- Assoreamento das albufeiras;
- Alteração dos níveis freáticos e do regime das águas subterrâneas;
- Alteração da distribuição de pressões na crosta terrestre;
- Inutilização de regiões com interesse urbanístico, agrícola, cultural ou paisagístico;
- Ocorrência de inundações catastróficas em caso de rotura de barragens

Todavia, a construção de barragens tem benefícios inegáveis. O desnível da água que a barragem cria entre montante e jusante é aproveitado para produzir energia eléctrica. As albufeiras criam em alguns lugares verdadeiras zonas de lazer propícias ao desenvolvimento de novos negócios. A própria barragem serve de união de duas margens o que, por vezes, encurta a distância entre duas localidades, favorecendo as trocas comerciais. Finalmente, há a própria facilidade de acesso e de distribuição de água permitida pela albufeira da barragem.

Para uma melhor consciência do que se fala, neste momento o número de albufeiras em Portugal está estimado em 236 (INAG), ou seja, um valor bastante elevado para um país com estas dimensões. Mesmo havendo fortes argumentos a favor das barragens, aos quais corresponde – ou suplanta – um número equivalente de argumentos contra, a água é um bem cada vez mais escasso, pelo que não é a construção de mais barragens que nos vai resolver este problema real, antes pelo contrário. As barragens, pela satisfação imediata de necessidades das populações e dos agentes económicos, não vão corrigir a escassez de água, podendo até contribuir para que seja cada vez maior a sobre exploração das bacias hidrográficas.

A actualidade é um período de viragem. Já se estão a começar a procurar novas formas de captação de água, procurando-se não ficar dependentes, apenas, do volume de água armazenado em albufeiras. Será a partir desse momento que começará o período pós-barragens.

2.1.2. ESCASSEZ DE ÁGUA

Antes de se equacionar as alternativas às barragens, é importante enquadrar o problema que leva a que se procure novas alternativas para a captação de água – a escassez deste recurso – focando causas e consequências dessa escassez, bem como algumas formas de avaliar se um país está ou não em *stress* hídrico.

Para uma melhor análise da situação de escassez é necessário fazer uma caracterização hídrica do país. Esta caracterização acarreta parâmetros como a precipitação, bacias hidrográficas, recursos hídricos, temperatura, tipos de uso do solo, etc. A informação que esta contém ajuda a tirar conclusões sobre o estado de seca ou não de um país.

Serão, também, descritos alguns indicadores hídricos que ajudam à avaliação do estado de escassez de água de um país.

Saliente-se que neste trabalho não foram calculados nenhuns dos índices que serão apresentados, no entanto, o seu elevado grau de interesse implicou a sua apresentação.

2.1.2.1. Caracterização Hidrográfica

Portugal continental é, aproximadamente, um rectângulo com um comprimento máximo de 560 km, aproximadamente, e 220 km de largura máxima. Isto equivale a uma área aproximada de 89.000 km².

Está situado no oeste da península ibérica e é banhado a oeste e a sul pelo Oceano Atlântico. A norte faz fronteira com a Galiza (região autónoma de Espanha). A costa marítima portuguesa estende-se por cerca de 850 km e a fronteira com Espanha tem um comprimento aproximado de 1200 km.

O clima de Portugal conjuga a influência atlântica e mediterrânica. A primeira, faz-se sentir principalmente durante o Inverno e é responsável por precipitações elevadas, principalmente na região noroeste (Minho), e pela atenuação dos efeitos dos ventos secos e frios provenientes do interior da Península Ibérica. A influência mediterrânica faz-se sentir principalmente durante o Verão e nas regiões sul (Alentejo e Algarve) e este (zona fronteira com a Espanha), ocasionando elevadas temperaturas e reduzida precipitação.

Não fazia qualquer sentido iniciar este tema sem esta breve apresentação de Portugal. Também não faz sentido prosseguir sem antes falar sobre o ciclo hidrológico pois é sobre ele que se debruça a caracterização hidrográfica.

O ciclo hidrológico não é mais do que uma sequência de fenómenos de mudança de estado físico (sólido, líquido e gasoso) a que a água está sujeita. A Fig. 2.3 representa o ciclo hidrológico da água.



Fig. 2. 3 – Ciclo Hidrológico.³

O motor do ciclo hidrológico é a energia solar incidente na Terra. É com a sua intervenção que o primeiro fenómeno da passagem do estado líquido para gasoso acontece. Este fenómeno é designado por evapotranspiração. O vapor de água sobe, até onde condensa e forma nuvens. Grandes quantidades de água são armazenadas na atmosfera sob a forma de nuvens. Quando a densidade de gotículas de água, previamente formadas devido à condensação, se concentra estas caem sob a forma de chuva. Parte dessa chuva cai sob a forma de neve, devido às baixas temperaturas que se acumula em reservas de gelo, outra parte cai e escoam superficialmente para os rios ou lagos, e outra parte infiltra-se no solo alimentando assim os lençóis de água subterrâneos. O gelo armazenado vai derretendo lentamente alimentando o caudal dos rios. A água dos rios flui em direcção ao mar onde novamente se inicia este

³ Fonte: <http://ga.water.usgs.gov/edu/watercycleportuguesehi.html>

ciclo da água.

É importante que todas estas etapas se processem normalmente na natureza pois só assim se consegue criar um ambiente equilibrado.

a) Precipitação

Falando, então, da precipitação, o volume anual médio da precipitação sobre o território continental estima-se, em cerca de $89 \times 10^9 \text{ m}^3$ (89 milhares de milhões de metros cúbicos). A precipitação média anual é, por sua vez, de cerca de 1000 mm, expressa em altura de água. (Ferreira T. 2008)

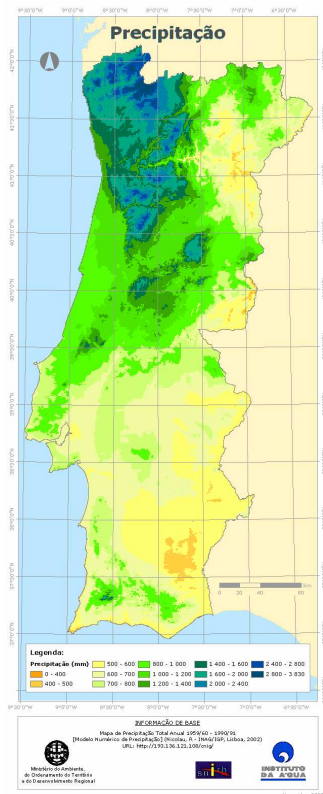


Fig. 2. 4 – Mapa de Precipitação em Portugal. Fonte SNIRH

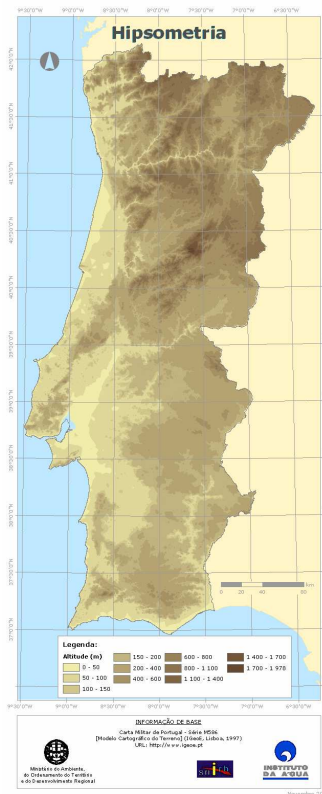


Fig. 2. 5 – Carta Hipsométrica. Fonte SNIRH

O relevo tem grande importância na distribuição espacial da precipitação sobre o território nacional (Fig. 2.4 e Fig. 2.5). A subida das massas de ar húmido provenientes do mar, provocada pelo relevo, origina, em regra, precipitação nas zonas elevadas. A humidade do ar diminui, pelo que zonas posteriormente atingidas pelas massas de ar recebem menor precipitação.

A região de Portugal continental onde mais chove é o Alto Minho, com valores da precipitação anual média superiores a 2800 mm, na região Norte de Portugal. Nota-se claramente que as regiões do Alentejo, Algarve e Beira Interior, têm um grave problema com a seca, pois a precipitação não chega, em alguns casos, a ultrapassar os 400 mm anuais.

A precipitação num dado local varia de forma acentuada ao longo do ano, registando os maiores

valores no período de Outubro a Março. Contudo, actualmente, assinalam-se Invernos mais secos e Verões muito chuvosos. Mesmo assim, os maiores valores da precipitação correspondem, de modo geral, aos meses de Dezembro e Janeiro e os menores aos de Julho e Agosto.

Constata-se, assim, que a precipitação em Portugal se distribui de uma forma muito irregular no território, apresentando também uma grande variabilidade ao longo do ano e de ano para ano.

b) Bacias Hidrográficas

Tal como no resto do mundo, o território de Portugal pode ser dividido por uma rede de bacias hidrográficas. Estas estão, por norma, organizadas por regiões hidrográficas.

Ferreira T. (2008) diz-nos que: “Em Portugal agruparam-se as bacias hidrográficas em dez regiões hidrográficas no âmbito da implementação da Directiva Quadro da Água, do Parlamento Europeu e do Conselho (2000/60/CE de 23 de Outubro), transposta para o direito nacional pela Lei da Água (Lei nº 58/2008 de 29 de Dezembro). A Lei da Água estabelece as bases e o quadro institucional para a gestão sustentável das águas, utilizando-se como elemento base a Região Hidrográfica.”

Estão, então, assim agrupadas as bacias hidrográficas portuguesas (ver Fig. 2.6) nas seguintes regiões hidrográficas:

- Região Hidrográfica 1 (Minho e Lima);
- Região Hidrográfica 2 (Cávado, Ave e Leça);
- Região Hidrográfica 3 (Douro);
- Região Hidrográfica 4 (Vouga, Mondego, Lis e Ribeiras do Oeste);
- Região Hidrográfica 5 (Tejo);
- Região Hidrográfica 6 (Sado e Mira);
- Região Hidrográfica 7 (Guadiana);
- Região Hidrográfica 8 (Ribeiras do Algarve);
- Região Hidrográfica 9 (Açores);
- Região Hidrográfica 10 (Madeira).

As regiões hidrográficas abrangem não só o conceito de bacia hidrográfica mas, também, os conceitos de sistemas aquíferos nacionais, das bacias compartilhadas com Espanha e, ainda, as especificidades próprias das Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

Pode ver-se nas Fig. 2.6, Fig. 2.7 e Fig. 2.8, respectivamente, as principais bacias portuguesas e as respectivas localizações das albufeiras e as principais barragens.



Fig. 2. 6 – Bacias hidrográficas. Fonte: SNIRH

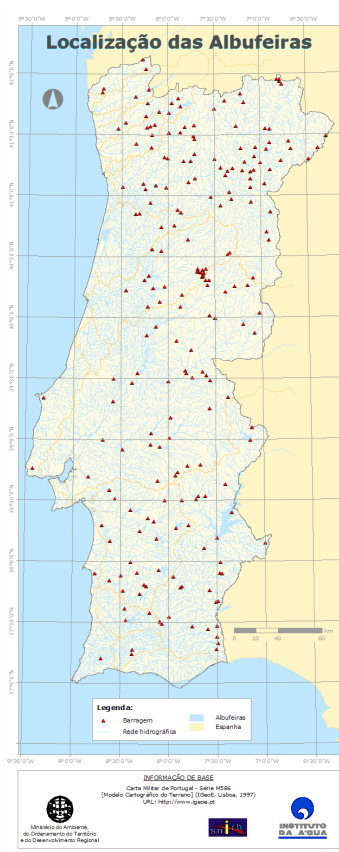


Fig. 2. 7 – Localização das Albufeiras. Fonte: SNIRH

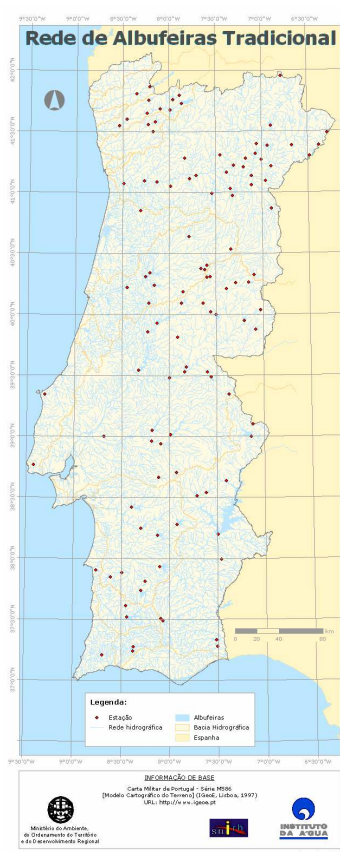


Fig. 2. 8 – Localização das principais barragens. Fonte: SNIRH

Ainda que só tendo dados para o território português, veja-se que, segundo Ferreira T (2008) “(...) a área da parte portuguesa das bacias hidrográficas luso-espanholas (57 293 km²) representa cerca de 62% da área total do território continental português (89 300 km²) – Douro, Tejo e Guadiana - e que a área das três maiores bacias totalmente portuguesas representa cerca de 19% deste território – Mondego, Vouga e Sado.”

c) Recursos Hídricos

No jornal Mundo Português pode ler-se a seguinte notícia, intitulada “Portugal tem das bacias hidrográficas mais exploradas da UE” de 02/10/2007. Apresenta-se o artigo na íntegra, por ilustrar bem, não só a realidade portuguesa como a da restante Europa. Da sua leitura obtemos um bom exemplo da pressão que Portugal está a exercer sobre os seus recursos hídricos.

“Nove das bacias hidrográficas mais sobre exploradas da União Europeia encontram-se em Portugal, que ocupa os três lugares cimeiros numa lista que revela as bacias europeias onde a procura de água excede a disponibilidade do recurso.

Sado, Oeste e Algarve estão no topo de um conjunto de 33 bacias hidrográficas que evidenciam uma exploração excessiva, analisadas num documento da Comissão das Comunidades Europeias sobre o impacto da escassez de água e as secas. Ave, Vouga, Tejo, Guadiana, Douro e Minho ocupam,

respectivamente, os 6º, 9º, 13º, 16º, 19º e 21º lugares.

A análise dos níveis das bacias hidrográficas é importante para obter um retrato adequado da situação de escassez de água. Uma bacia é considerada sobre explorada quando o índice de exploração de água é superior a 10 por cento ou identificado como tal, com base numa avaliação de peritos.

A maioria das bacias afectadas pela escassez de água situa-se no Sul da Europa, em regiões com tendência para serem mais secas e sujeitas a irrigação intensiva. No entanto, existem, também, países do Norte e Centro da Europa afectados pela escassez de água, como o Reino Unido, Bélgica, Holanda, Dinamarca e Eslováquia. A maioria destas bacias hidrográficas apresenta uma elevada densidade populacional em torno de centros urbanos.

O relatório analisou também a intensidade e frequência das secas nos últimos 30 anos, verificando-se que Chipre, França, Itália, Portugal e Espanha foram os países que registaram maior frequência de secas entre 1976 e o presente, com 8 a 21 episódios por país. As secas mais recentes tiveram impactos significativos na economia e nos recursos naturais, estimando-se que os custos da seca de 2003 tenham atingido os 8,7 mil milhões de euros - estimativa das perdas directas resultantes da seca.

O estudo alerta, ainda, para o impacto das alterações climáticas, prevendo-se efeitos significativos sobre a disponibilidade de água na Europa.

Segundo este documento, existem vários factores subjacentes a estes problemas: a distribuição espacial e temporal dos recursos, política de preços da água, planeamento e ordenamento do território, perdas ou desvios de água, pressão turística e usos agrícolas.

Na Europa, existe grande potencial para a poupança de água, indica o relatório, lembrando que 20% da água é desperdiçada devido a perdas nas redes públicas de abastecimento e nas de irrigação, práticas desadequadas na indústria, etc.

Globalmente, o relatório refere que, na União Europeia, o potencial de poupança de água é, no mínimo de 20 por cento em todos os sectores - doméstico, industrial, agrícola e turístico.

Esta avaliação surge na sequência do Conselho do Ambiente de Março de 2006, quando alguns Estados-Membros apelaram para a adopção de acções europeias em matéria de escassez de água e secas. A Comissão das Comunidades Europeias apresentou uma análise preliminar no Conselho em Junho de 2006 e, um ano depois, adoptou uma comunicação sobre o problema, baseada neste relatório.”

d) Temperaturas

Outro ponto da caracterização hídrica do país é a temperatura, pois ela está directamente relacionada com ciclo hidrológico.

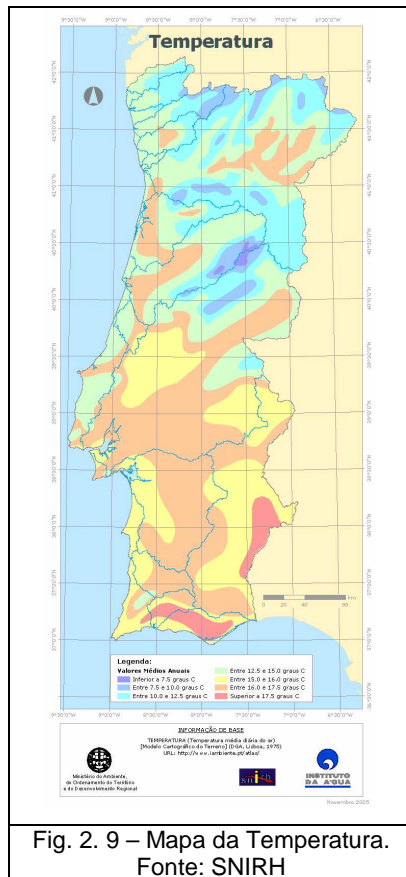
As alterações climáticas são hoje uma realidade bem presente na sociedade. Diz-nos Ferreira T. (2008) “As temperaturas médias europeias aumentaram nos últimos 100 anos 0.95 graus Célsius, esperando-se que aumentem entre 2 e 6 graus Célsius no próximo século.”

Isto é claramente um indicador de mudança climática para o futuro. Este aumento de temperatura vai fazer com que em certos locais, a agricultura beneficie de estações de crescimento mais prolongadas, mas, noutros locais, já com problemas de seca e falta de água, esta previsão não é um bom presságio, pois a agricultura nesses locais estará condenada a muito mais riscos.

Apesar de não ser um sector forte em Portugal, ainda existem agricultores que lutam contra esta falta

de água e se fixam nas regiões mais inóspitas. Com este aumento de temperatura previsto, podemos prever que estes agricultores se desloquem para outras áreas do país onde consigam exercer a sua profissão. Com eles arrastarão o comércio que deles depende bem como os seus comerciantes. Este êxodo vai levar à desertificação de vários locais e a um excesso de população noutros locais.

Na Fig. 2.9 apresenta-se uma distribuição da temperatura em Portugal. Observa-se que a região mais fria e/ou húmida se encontra no norte do país, o que revela que a região norte do país é, também, a região onde a disponibilidade hídrica é superior. Há um grande problema no sul onde as temperaturas médias anuais são superiores a 15 graus Célcius. É aí que o risco de seca é maior.



e) Tipos de Uso do Solo

A análise do tipo de solo português pode dizer-nos muito sobretudo sobre a qualidade de águas subterrâneas, redes de quantidade de águas subterrâneas escoamento de águas.

O uso do solo é, também, importante de forma a conhecer como o território português está distribuído no que respeita a espaços verdes, terras aráveis e espaços artificiais. Com isto pode analisar-se a rede de escoamento superficial e pode, também, ficar-se com uma ideia da distribuição dos consumos de água.

Na figura observa-se como se distribuem os tipos e usos de solo a nível nacional. Denota-se que a melhor localização das bacias hidrográficas se encontra no Norte do país, pois é nesta região que se encontram espaços mais verdes, de floresta, área de vegetação arbustiva, enquanto no Sul encontram-se mais área de cultivo (Fig. 2.10).

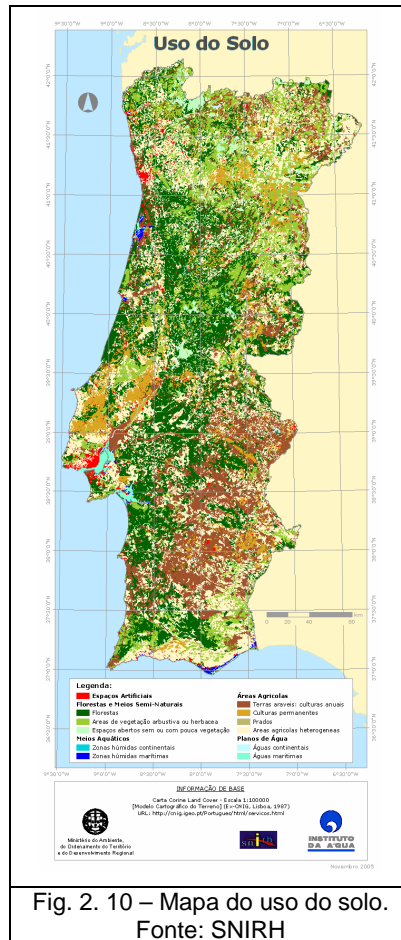


Fig. 2. 10 – Mapa do uso do solo.
Fonte: SNIRH

Após esta breve caracterização hídrica do país, verifica-se que Portugal começa a sentir os efeitos dos consumos excessivos e descontrolados de água.

2.1.2.2. Indicadores hídricos

Indicadores de desempenho são uma ferramenta importante do processo de avaliação de desempenho. Tornaram-se um importante instrumento de gestão que dá sentido à política de gestão e de afectação dos recursos.

Seguidamente serão discriminados alguns indicadores de crise hídrica bem como a sua descrição. No final da descrição será apresentado um quadro resumo para Portugal.

São eles:

- Índice de Falkenmark;
- Water Poverty Index (WPI);
- Human Development Index (HDI);
- Water Footprint WWF))

1) Índice de Falkenmark

Índice de Falkenmark é a relação entre água disponível *per capita* total e número de habitantes na bacia, numa base anual. Com este índice pode-se observar se um país atravessa Stress Hídrico ou não. No quadro seguinte estão descritos os valores que caracterizam os países em relação ao stress hídrico que apresentam.

Quadro 2. 1: Índice de Falkenmark (Fonte: Ferreira T. (2008))

Valor Índice Falkenmark (m ³)	1000-1600	500-1000	<500
Definição	País em Stress Hídrico	Escassez Crónica água	Abaixo do limiar para o gerar de problemas da água

O quadro diz-nos que países com índices de Falkenmark inferiores a 1600m³ apresentam Stress Hídrico.

2) Water Poverty Index (WPI)

O índice WPI é o índice de medida de um país, em relação aos outros, que apenas diz respeito à água. Tem como principal objectivo o de encontrar um índice universal comparando o desempenho do sector da água entre os diversos países.

A finalidade da WPI é a de expressar uma medida interdisciplinar que associa bem-estar doméstico com disponibilidade hídrica, e indica até que ponto a água tem impactos sobre as populações humanas. Torna-se, então, possível com este índice classificar países e também comunidades dentro dos mesmos países, tendo em conta factores físicos bem como factores socioeconómicos, relacionados com a escassez de água.

Utilizando uma metodologia comparável à do HDI (ver ponto seguinte), tem-se construído um índice que mede a posição dos países relativamente uns aos outros no fornecimento de água.

Para tal, criou-se um índice baseado em cinco componentes principais. Cada um destes componentes tem relacionados vários sub-componentes. Os componentes utilizados são, então, os seguintes:

a) Recursos

Este parâmetro engloba dois outros parâmetros distintos: um de recursos hídricos internos e o segundo de afluentes externos.

Ambos os parâmetros são calculados para uma longa escala. Isto evita que as distorções causadas pelos altos valores sejam muito grandes. Os seus valores são expressos *per capita*.

Este parâmetro, recursos, é um indicador básico da disponibilidade hídrica. É um importante factor adicional que afecta a disponibilidade é a fiabilidade ou variabilidade do recurso.

Por fim o factor qualidade da água é, também, um importante factor que influencia a disponibilidade do recurso. Os dados sobre este encontrados, foram incluídos no parâmetro do ambiente (ver abaixo).

b) Acesso

Este índice é composto por três parâmetros, que são:

- Percentagem da população com acesso a água potável;
- Percentagem da população com acesso a saneamento;
- Um índice que relaciona regadio, como parte das terras aráveis. É um valor calculado considerando a percentagem de terras irrigadas em relação ao índice disponibilidade dos recursos hídricos. A ideia por trás deste método de cálculo é que os países com uma elevada percentagem de terras irrigadas em relação à baixa disponibilidade de recursos hídricos são altamente cotados, mais do que países com uma elevada percentagem de terras irrigadas relativamente elevado número de recursos hídricos internos disponíveis.

È um índice que tem em conta as necessidades básicas de água e saneamento. Também reconhece que a disponibilidade hídrica para o cultivo de alimentos é tão importante quanto para uso doméstico e consumo humano.

c) Capacidade

Este parâmetro alberga quatro índices distintos que são:

- Produto Interno Bruto (PIB) *per capita*. Este é o rendimento médio *per capita* ajustado para o poder aquisitivo da moeda. Esta é considerada uma medida bastante precisa ao nível da média do nível de vida entre os países;
- Taxa de mortalidade de idade inferior a 5 anos (por 1000 nados-vivos). Este é um dos indicadores de saúde bem estabelecidos, e é um que está directamente relacionado com o acesso à água potável.
- Índice de educação do Plano das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) de acordo com o Relatório do Desenvolvimento Humano 2001.
- O coeficiente de Gini. Esta é uma medida bem conhecida de desigualdade baseada na curva de Lorenz, que fornece a distribuição de renda por toda a população. Quando o coeficiente de Gini não é reportado, o índice de capacidade baseia-se, apenas, sobre os primeiros três sub-índices. Este índice tenta albergar essas variáveis socioeconómicas que estão relacionadas com o acesso à água. A introdução do coeficiente de Gini é uma tentativa de ajustar a capacidade de ter acesso a água limpa por uma medida da desigualdade na distribuição do rendimento.

d) Uso

Este parâmetro acarreta três componentes:

- Uso doméstico da água *per capita*, expresso em $m^3/\text{capita}/\text{ano}$. Este ponto estabelece como meta razoável para os países em desenvolvimento 50 litros por pessoa por dia. Criou-se, então, um índice, com base neste valor de 50 litros em que o seu peso equivale a 1. A partir deste valor consegue-se caracterizar o uso doméstico de cada país.
- Uso industrial da água *per capita*, expresso em $m^3/\text{capita}/\text{ano}$. Aqui a proporção do PIB proveniente da indústria é dividido pela proporção da água utilizada pela indústria. O índice é estabelecido da forma habitual: quanto maior for o rácio do valor adicionado industrial da água para uso industrial, maior a pontuação no índice. Isso dá uma medida bruta de eficiência do uso da água.
- Uso agrícola da água *per capita*, expresso em $m^3/\text{capita}/\text{ano}$. O índice é calculado da mesma

forma que a água para uso industrial.

e) Ambiente

Este índice tenta capturar uma série de indicadores ambientais que reflectem na prestação e gestão da água e que estão incluídos no Índice Sustentabilidade Ambiental (ISA). Esses indicadores abrangem não só a qualidade da água e *stress*, mas, também, até que ponto a água e o meio ambiente em geral, e informações relacionadas, são dadas num país no ponto de vista da importância estratégica do quadro regulamentar.

Este índice é calculado com base numa média de cinco factores componentes: qualidade da água, stress hídrico, regulação e gestão ambiental, capacidade informativa e biodiversidade.

Cada um dos factores recebe no máximo 20 pontos, perfazendo no total um máximo de 100 pontos. Esta pontuação será usada para classificar o país a nível mundial.

Tendo, por fim, caracterizado os diversos parâmetros do WPI, apresenta-se de seguida um quadro que resume os cinco parâmetros.

Quadro 2. 2: Índices e conteúdos do WPI

Recursos	<ul style="list-style-type: none"> • Os fluxos internos de água doce • Entradas externas • População
Acesso	<ul style="list-style-type: none"> • % da população com acesso a água limpa • % da população com acesso a saneamento • % da população com acesso à irrigação por ajustado pelo capita dos recursos hídricos
Capacidade	<ul style="list-style-type: none"> • PIB <i>per capita</i> • Menores de cinco anos: taxa de mortalidade • Taxas de inscrição educação • Coeficientes de Gini da distribuição dos rendimentos
Uso	<ul style="list-style-type: none"> • Uso doméstico da água em litros por dia • Proporção de uso da água pela indústria e agricultura ajustada pela parte do sector do PIB
Ambiente	<ul style="list-style-type: none"> • Qualidade da água • Stress hídrico (poluição) • Regulação e gestão ambiental • Capacidade informativa • Biodiversidade com base em espécies ameaçadas

3) Human Development Index (HDI)

O HDI é um índice cujo valor anda entre 0 e 1, e está intimamente ligado às capacidades e aos componentes de acesso do WPI.

O HDI é composto por três dimensões do desenvolvimento humano. Viver uma vida longa e saudável (medida pela expectativa de vida), educação (medido pela alfabetização para adultos e matrículas no ensino primário, secundário e terciário grau) e um padrão decente de vida (medido pela paridade de poder de compra, PIB, renda) são as componentes do HDI.

O índice não é de modo algum uma medida abrangente do desenvolvimento humano. Não se trata, por exemplo, de incluir indicadores importantes como o sexo, renda e desigualdade social. Mais difícil é medir indicadores como o respeito pelos direitos humanos e as liberdades políticas, e impossível é definir exactamente o grau de satisfação perante a vida. O que ele faz é fornecer um prisma ampliado para visualizar o progresso humano e a complexa relação entre renda e bem-estar.

Segundo Ferreira T. (2008) o “HDI é 0,897 para Portugal, que dá ao país uma patente de 29º classificado dentro de 177 países com dados disponíveis.”

Ferreira T. (2008) apresenta, também, o seguinte quadro com alguns valores de HDI.

Quadro 2. 3: Índice de desenvolvimento humano 2005 (HDI) para alguns países.

1º	27º	28º	29º	30º	31º	177º
Iceland (0.968)	Slovenia (0.917)	Cyprus (0.903)	Portugal (0.897)	Brunei Darussalam (0.894)	Barbados (0.892)	Sierra Leone (0.336)

Por fim, o mesmo autor apresenta os valores dos índices anteriormente descritos para o caso de Portugal (Quadro 2.4).

Quadro 2. 4: Resumo dos índices de WPI, HDI e Falkenmark para Portugal

	Recursos	Acesso	Capacidade	Uso	Ambiente	WPI	HDI	Falkenmark
Portugal	9.0	20.0	17.1	6.3	13.0	65.4	0.897	5100

4) Water Footprint (WWF)

A água é usada para diversos fins. As pessoas usam muita água para beber, cozinhar e higiene, muita água para agricultura e pecuária, mas ainda mais para a produção industrial, como papel ou têxteis.

Houve, então, a necessidade de estabelecer um índice que nos desse informação sobre o consumo de água que uma pessoa tem. Semelhante ao conceito de pegada ecológica foi criada a pegada hidrológica⁴ (WWF).

O WWF de um indivíduo, empresa ou comunidade é definido como o volume total de água doce, que é utilizado para produzir os bens e serviços consumidos pelo indivíduo ou da comunidade ou produzidos pela empresa.

⁴ www.waterfootprint.org/

Segundo o sítio oficial do WWF, foram obtidos os seguintes valores do WWF para Portugal. (Quadro 2.5)

Quadro 2. 5: Valores do WWF para Portugal

WWF médio do país Portugal	2264 (m ³ /hab/ano)
Percentagem WWF vindo de fora do país	54%
WWF médio mundial	1243 (m ³ /hab/ano)

Após esta descrição sobre a caracterização hídrica de um país bem como dos indicadores de desempenho é importante agora indicar quais as consequências que, num país com graves problemas de água, existem.

2.1.3. CAUSAS, CONSEQUÊNCIAS E SOLUÇÕES

Um problema tem sempre por trás uma causa e pela frente uma consequência e uma solução.

Cupeto C. (2001) aponta como causas da escassez de água os seguintes pontos:

- “Desconhecimento dos sistemas aquíferos.
 - Uso em época de seca;
 - Utilização dos aquíferos fósseis.
- Subestimação de consumos.
- Perdas de água.
 - Má configuração das redes de distribuição;
 - Falta de manutenção das redes de distribuição.
- Falta de regulamentação.
- Não cumprimento da regulamentação.
- Falta de política apropriada.
- Incumprimento por parte do Estado dos compromissos adquiridos.
- Má gestão.
 - Rega inapropriada;
 - Água gratuita;
 - Uso de espécies vegetais de grande consumo.
- Esgotamento de albufeiras segundo as necessidades energéticas e de rega.
- Consumo urbano.
- Necessidades de água de indústrias muito contaminantes.”

Como se vê, são muitas as causas apontadas pelo autor para a escassez da água.

As causas apresentadas pelo autor são sobretudo causas humanas. As causas naturais da escassez de água não são apontadas nesta lista, porque de certo modo estas são consequências do excesso humano.

Poder-se-á então dizer que as principais causas naturais que levam à escassez de água são:

- Aumento da temperatura;
- Diminuição da precipitação;
- Subida da água do mar e conseqüente contaminação dos cursos doces.

No entanto as duas últimas causas são consequência da primeira. A precipitação já foi anteriormente analisada enquanto que a subida da água do mar deve-se ao progressivo descongelamento das calotes polares.

Cupeto C. (2001) aponta, também, conseqüências para essa falta de água:

- “Investimentos elevados.
 - Obras hidráulicas cada vez mais dispendiosas;
 - Furos cada vez mais profundos;
 - Unidades dessalinizadoras;
 - Transvases entre bacias;
 - Redes de transporte.
- Fortes perdas por má gestão.
 - Redes de transporte;
 - Técnicas de rega inadequadas.
- Contaminação.”

Alguns destes pontos são discutíveis quanto à sua introdução no grupo de conseqüências, como o caso das unidades dessalinizadoras. Estas devem ser vistas como uma solução para o problema. Se houvesse mais recurso a esta forma de tratamento de água, seria possível aliviar a sobre exploração a que estão sujeitas as bacias hidrográficas. As zonas de seca, onde nos meses quentes os recursos hídricos doces são escassos, não estariam com problemas se a água lhes chegasse de uma unidade dessalinizadora, pois o mar dificilmente secará.

Devem ser feitos esforços no sentido de combater as causas dos problemas assinalados anteriormente. Verifica-se que cada vez mais há essa consciência que é preciso mudar. As empresas que, até agora, não se preocupavam muito com os gastos de água, começam a apostar em medidas que visam minimizar os consumos de água e, se possível, reutilizá-los.

Empresas vocacionadas para a gestão dos recursos hídricos têm apostado no sector da hotelaria, indústria, lavandarias e campos de golfe. Estes são sectores com grandes consumos de água e onde, aplicando princípios de gestão de recursos hídricos, é possível baixar os consumos de água e ir buscar parte dela a fontes alternativas como a chuva ou a água do mar.

Seguindo essa corrente de evolução Cunha L. V. et al. (1980), no contexto da gestão de água, indica formas de combate à carência de água. Passa-se, então, a citar:

“a) Medidas conducentes ao melhor aproveitamento dos recursos hídricos disponíveis:

- retenção de reservas hídricas;
- transferência de reservas hídricas;
- modificação do regime de florestação;
- controle da poluição.

b) Medidas conducentes a um aumento dos recursos hídricos disponíveis:

- dessalinização da água do mar;
- redução da evaporação e da evapotranspiração;

- produção artificial de chuva;
- reordenamento agro-florestal;
- utilização da água dos gelos polares.

c) Medidas conducentes à redução dos consumos:

- reutilização da água;
- recirculação da água;
- modificação dos processos de produção;
- modificação dos produtos industriais;
- redução das quantidades de água efectivamente consumidas.”

Mesmo sendo uma publicação antiga, as medidas apresentadas pelos autores são bastante completas. No então encontram-se claras omissões e algumas medidas que são utópicas, como a produção artificial de chuva e utilização dos gelos polares.

Para colmatar algumas falhas, acrescenta-se ao que foi citado as seguintes medidas:

- Captação de águas alternativas.
 - Água da chuva;
- Campanhas de sensibilização e educação de poupança de água.
- Melhoria de sistemas de rega.
 - Rega nocturna;
 - Evitar regar quando está a chover, revendo os sistemas de rega automáticos;
- Melhorar as redes de distribuição de água.

Só após a aplicação de todos estes princípios fará todo o sentido em falar do período pós-barragens como forma de captação de água, ou seja, do futuro.

3.

ESTADO DA ARTE

3.1. INTRODUÇÃO

Segundo WHO (2007):

“As of the beginning of 2006, more than 12,000 desalination plants are in operation throughout the world producing about 40 million cubic meters (roughly 10 billion US gallons) of water per day. About 50% of the capacity exists in the West Asia Gulf region. North America has about 17%, Asia apart from the Gulf about 10% and North Africa and Europe account for about 8 % and 7%, respectively, and Australia a bit over 1%. (GWI, 2006) The desalination market is predicted to grow by 12% per year to 2010. Capacity is expected to reach 94 million m³/day by 2015. (Water, 2006) “

Actualmente a dessalinização é considerada como uma origem de água alternativa à água doce e não é vista como um recurso comum, como uma captação numa albufeira ou um poço. Esta perspectiva está contudo a mudar, como se verifica na citação de WHO (2007), aproximando-se uma nova fase na definição do conceito de origem de água.

A dessalinização consiste numa forma de tratamento de água que se encontra em forte expansão e com um futuro prometedor. Parte do aumento estimado deve-se sobretudo ao grande avanço nas tecnologias de dessalinização, cada vez mais eficazes, que permitem uma redução acentuada do preço do metro cúbico de água tratado. Outro motivo para a expansão desta técnica deve-se à constante necessidade de se encontrar fontes alternativas de água devido à poluição ou escassez de água doce, cada vez mais preocupantes.

Nas mais de 12000 centrais dessalinização acima mencionadas, assinalam-se diversos processos de dessalinização que podem ser divididos, de forma genérica, em dois grandes grupos: os processos térmicos e a tecnologia de membranas.

Younos T. e Tulou K. E. (2005) referem os seguintes processos térmicos para a dessalinização:

- *Solar Distillation (SD)*
- *Multistage Flash Distillation (MSF)*;
- *Multi-effect Evaporation (MEE)*;
- *Thermal Vapor Compression (TVC)*;
- *Mechanical Vapor Compression (MVC)*;

Note-se, contudo, que estas designações não são consensuais, existindo diversos autores que atribuem diferentes nomenclaturas para algumas das tecnologias acima descritas tais como *Multiple Effect distillation (MED)*, que corresponde a MEE. Neste trabalho será adoptada a designação MED, a mais corrente. Também alguma bibliografia engloba TVC e MVC numa técnica só, a *Vapor Compression (VC)* que será aqui descrita genericamente, para depois se analisar cada um dos casos em particular.

No que diz respeito às tecnologias de membranas, Younos T. e Tulou K. E. (2005) referem os seguintes métodos:

- Micro filtração;
- Ultra filtração;
- Nano filtração;
- Osmose Inversa;
- Electrodialise (ED) e Electrodialise Reversível (EDR).

Apenas serão descritas três das tecnologias de membranas acima referidas, pois são as que se incluem no tratamento de água do mar. São elas a osmose inversa, a electrodialise e electrodialise reversível.

Outra técnica, também utilizada mas que não se enquadra em nenhuma destes dois grupos, é a permuta iónica (*Ion Exchange, IE*)

Em Portugal, existem dois casos conhecidos de aplicação da tecnologia de dessalinização para produção de água potável sendo o primeiro na ilha de Porto Santo, Madeira, e o segundo no Alvor, Algarve. Ambos utilizam a osmose inversa, uma das tecnologias inseridas no grupo da tecnologia de membranas.

No primeiro caso, trata-se de uma alternativa à falta de origens locais de água doce, o que se compreende face às dimensões reduzidas da ilha (com uma área de 42,17 km²). A central existente abastece cerca de 4.474 habitantes (Censos 2001).

No segundo caso, a tecnologia foi aplicada por um grupo de hotéis à beira mar, tendo como principal objectivo conseguir uma alternativa económica ao abastecimento público de água. Estas quatro unidades hoteleiras (Alvor Praia, Delfim, D. João II, Alvor Atlântico) bem como todas as áreas ajardinadas envolventes gastam em média 250 m³/dia, sendo que cerca de 60% do consumo se destina a rega, lavagem e lavandaria.

Serão descritas, de uma forma breve, as diferentes tecnologias acima apresentadas, assinalando-se os seus pontos fortes e fracos. Apenas uma delas, a osmose inversa, sobre a qual este trabalho se debruça, será alvo de uma descrição mais detalhada.

3.2. PROCESSOS TÉRMICOS

O processo de térmico corresponde ao processo natural do ciclo da água, ou seja, a água salgada aquece, evapora, condensa e precipita sob a forma de água potável.

Para evaporar a água é necessário atingir-se uma temperatura adequada em relação à temperatura ambiental e, ao mesmo tempo, assegurar uma grande quantidade de energia para manter o processo. Estes métodos são, por isso, frequentemente encontrados em países do Médio Oriente, onde abunda o petróleo, que é normalmente o combustível utilizado para produzir a energia eléctrica, fonte de energia que alimenta o processo.

Assim sendo, o processo fabril de obtenção de água doce a partir de água salgada, por processos térmicos, recorre aos métodos de destilação. Nestes métodos são, geralmente, utilizadas uma série de caldeiras onde a temperatura vai sendo menor em cada fase do processo.

3.2.1. MULTISTAGE FLASH DISTILLATION

O processo *multistage flash distillation* (MSF) não é mais do que um conjunto câmaras sucessivas em que no seu interior ocorre um fenómeno interessante, que acabou por dar o nome a esta técnica. Trata-se da vaporização instantânea ou *flash* (nomenclatura internacional).

O processo MSF começa com a circulação da água salgada fria por um sistema de tubos que estão envoltos em vapor quente. O diferencial térmico existente faz com que a água salgada aqueça enquanto esta transita pelos tubos. Após ter passado pelos tubos, a água entra na chamada caldeira de salmoura onde passa logo de seguida para a primeira fase. A fase não é mais do que a designação de cada câmara. A elevada temperatura que se faz sentir no interior da fase faz com que uma parte da água vaporize instantaneamente. O vapor de água condensa e precipita numa calha dentro da fase que conduz a água doce para o exterior da câmara. A salmoura restante passa para a fase seguinte, onde o processo ocorre agora a temperatura de operação inferior à anterior. Esta diminuição da temperatura deve-se à diminuição de pressão entre fases consecutivas. As restantes fases processam-se de um modo análogo até que a salmoura atinja valores de concentração de sais muito elevados, sendo esta enviada para o meio receptor. O esquema da Fig. 3.1 ilustra bem o processo MSF

A MFS 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.

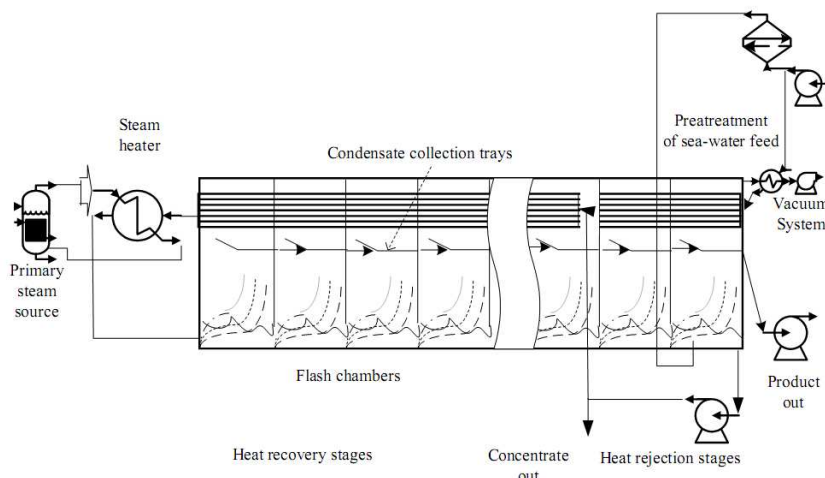


Fig. 3. 1 – Esquema de uma central do tipo MSF. Fonte: Semiat R. (2000)

3.2.2. MULTIPLE EFFECT DISTILLATION

Outro processo térmico, *multiple effect distillation* (MED) inicia-se com a aspersão da água salgada fria directamente sobre um conjunto de tubos quentes.

Parte da água com o calor, evapora. O vapor de água quente segue por um tubo que liga os dois efeitos (nome atribuído a cada etapa do processo MED). É este vapor de água pura que vai fornecer calor ao efeito seguinte, sendo depois colhido como água pura. A água que não evapora cai no fundo e é bombada para o efeito seguinte onde começa novamente o ciclo do processo MED. Este processo repete-se até que a salmoura esteja com parâmetros de concentração não desejados, momento no qual

é encaminhada para o meio receptor. Tal como na MSF a pressão vai diminuindo entre cada efeito, bem como a temperatura.

A MED, tal como a MSF, adapta-se a qualquer tipo de fonte de calor e tem uma capacidade para dessalinizar grandes quantidades de água salgada. Trata-se de uma técnica com baixo consumo eléctrico, comparativamente a outras técnicas (MSF ou osmose inversa). A temperatura de funcionamento é a baixa temperatura, o que evita grande corrosão e não necessita de um complexo pré-tratamento da água salgada. Os custos dos trabalhos de engenharia civil são baixos devido à área de implantação ser pequena. Os custos de manutenção também são baixos. Opera 24 horas por dia exigindo pouca supervisão e com grande eficiência térmica o que permite poupar nos custos de combustíveis.

Porém, esta técnica tem contrapartidas, pois é impossível utilizar a tecnologia MED em pequena escala. É uma técnica que funciona melhor anexada a uma central eléctrica, o que limita a sua instalação, sendo que a bombagem da salmoura entre cada fase do processo aumenta a quantidade de energia necessária para alimentar o processo.

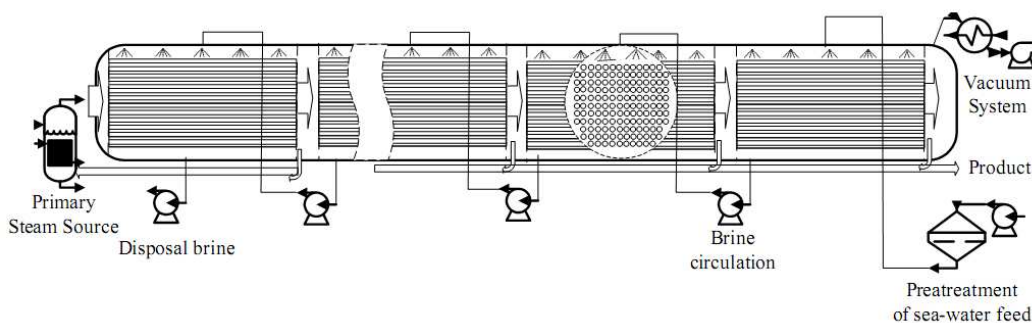


Fig. 3. 2 – Esquema de uma central do tipo MED. Fonte: Semiat R. (2000)

3.2.3. VAPOR COMPRESSION

A *Vapor Compression* (VC) é mais uma das técnicas de dessalinização por processos térmicos. É uma técnica aplicada de um modo geral em pequena ou média escala. O princípio de funcionamento deste processo é semelhante ao do MED com a diferença de que a VC este tem por base a compressão do vapor de água gerado na evaporação da água a altas pressões.

Mesmo nesta técnica há duas formas distintas de operação. Numa, a compressão do vapor pode ser feita por meio de um compressor mecânico (MVC), enquanto que na outra, são adicionadas pequenas quantidades de vapor a alta pressão por meio de um ejector (TVC).

A técnica MVC efectua-se, apenas, numa etapa enquanto que a TVC necessita de várias etapas no decurso do processo.

A VC é considerada por alguns autores como sendo o processo de destilação mais eficiente⁵. A capacidade de funcionar com temperaturas baixas possibilita a utilização de materiais metálicos, como o alumínio, pois o ataque da corrosão é reduzido.

⁵ Ver, por exemplo, Semiat R. (2000).

Quanto às dimensões, a maior das unidades deste processo tem a capacidade de 5000 m³/dia (Semiat R. 2000).

O uso da energia eléctrica como fonte de energia principal faz com que esta técnica, VC, seja usada muitas vezes como processo paralelo a outras técnicas de dessalinização. Este funcionamento híbrido permite uma optimização do consumo energético do sistema.

Hoje em dia é possível encontrar no mercado compressores modernos com uma eficácia até 80% (Semiat R. 2000).

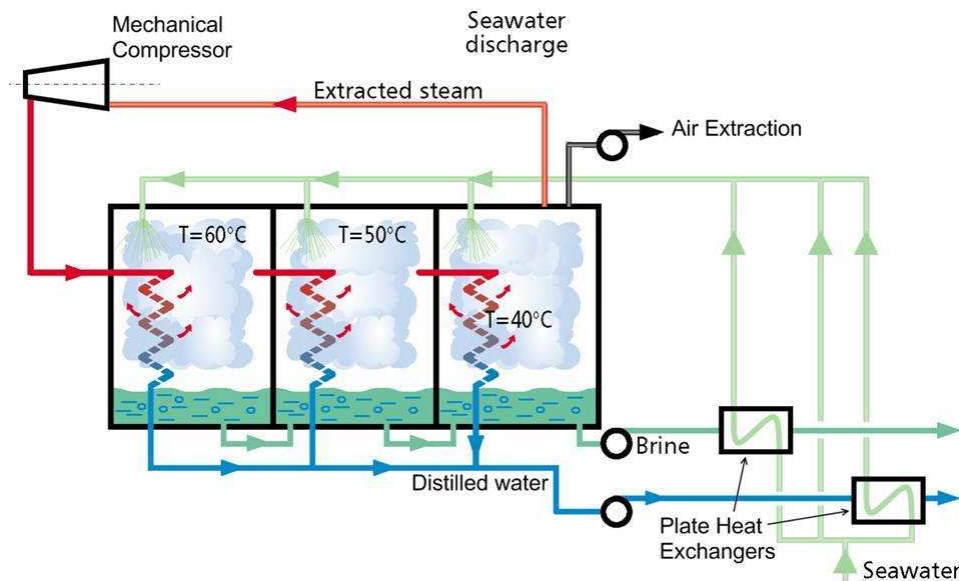


Fig. 3. 3 – Esquema do processo MVC. Fonte: SIDEM⁶

3.2.4. SOLAR DISTILLATION

A destilação solar usa a energia térmica do sol para processar a dessalinização da água. Uma central deste género não é mais que um grande tanque com uma cobertura transparente, que permite a entrada da radiação solar com o conseqüente aumento da temperatura. A longa exposição ao sol faz com que a água evapore e condense na superfície interior da cobertura. O condensado escorre pela cobertura e é recolhido lateralmente por uma calha existente que conduz a água para fora da cobertura.

É uma solução interessante, pois os custos de energia são muito baixos. Contudo, trata-se de uma técnica que está sujeita às condições climáticas, que nem sempre são as mais favoráveis à realização do processo. Por outro lado, para que seja realmente eficiente requer uma área de implantação muito grande. Segundo Semiat R. (2000) são precisos 250 m² para conseguir produzir 1 m³ de água por dia. Esta solução tornar-se-ia uma boa solução para regiões do globo com vastas áreas desertas com baixos recursos técnicos e económicos.

Na Fig. 3.4 esquematiza-se o processo de destilação solar.

⁶ Ver <http://www.sidem-desalination.com/>

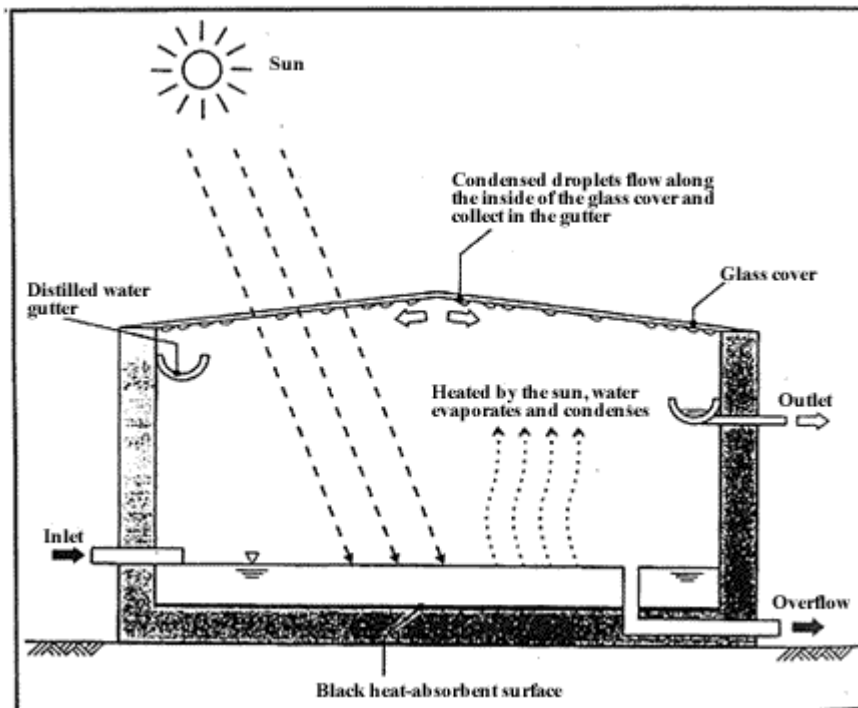


Fig. 3. 4 – Esquema da destilação solar. Fonte: UNEP⁷

3.3. PROCESSOS DE MEMBRANAS

Recordando o que já foi dito, os processos de separação por membranas caracterizam-se essencialmente pelo facto de que o processo de separação dos sais minerais da água do mar ser feito com recurso a uma membrana.

Aqui serão apenas tratados três processos, pois são os que são usados na dessalinização. Outras técnicas são, também, usadas em processos de separação química, mas o tamanho das partículas a remover são muito grandes comparadas com os sais dissolvidos, pelo que não têm qualquer interesse para este trabalho.

Assim sendo, falar-se-á da Electrodialise e Electrodialise Reversível e da Osmose Inversa. As primeiras duas serão tratadas em conjunto pois, por serem muito idênticas, apenas serão focadas as diferenças entre elas.

3.3.1. ELECTRODIÁLISE E ELECTRODIÁLISE REVERSÍVEL

A electrodialise (ED) consiste muito basicamente, na aplicação de uma força electromotriz nos eléctrodos que se encontram em ambos os lados de uma membrana com o objectivo de separar os sais que se encontrem dissolvidos na água.

Então a unidade, ou célula, onde se processa a ED, é composta estruturalmente por uma membrana de transferência anião; uma membrana de transferência catião e dois espaçadores. Posteriormente, as células são colocadas em grupos juntamente com os eléctrodos, de acordo com as necessidades do sistema. A esta formação dá-se o nome de pilha de membranas (Fig. 3.5).

⁷ Ver <http://www.unep.or.jp>

Um aspecto importante a ter em conta neste processo é o material usado nos espaçadores. O material tem de garantir que o fluxo da água flui uniformemente em toda a superfície da membrana.

Por vezes, é necessário proceder a um pré-tratamento antes do processo em questão. É necessário remover os sólidos em suspensão com dimensões superiores a 10 μm a fim de evitar que estes entupam os poros da membrana. É, também, importante remover substâncias orgânicas, colóides e alguns óxidos, como os óxidos de ferro e de manganês, por causarem a neutralização da membrana, o que afectaria o seu efeito selectivo.

É corrente usar-se o tratamento por carvão activado (para material orgânico), floculação (para os colóides) e uma filtragem.

Younos T. e Tulou K. E. (2005) descrevem o processo de ED como um processo eficaz para remover os sais da água pois o cátodo atrai os iões de sódio e o ânodo atrai os iões de cloreto. Através destes autores, Brunner (1990) refere que a pressão exigida está entre 70 e 90 psi (0,48 e 0,62 MPa). Segundo os autores, esta técnica tem ainda uma elevada taxa de recuperação e consegue remover entre 75% e 98% de TDS.

Muito semelhante a esta técnica, mas com algumas nuances, a electrodiálise reversível (EDR) diferencia-se pela alternância, rotineira, de corrente entre o catião e o anião, chegando, em algumas aplicações, a ser invertida a polaridade quatro vezes por hora. Isto é benéfico pois evita a escamação do material e a acumulação de resíduos nas membranas.

Novamente Younos T. e Tulou K. E. (2005) assinalam que a ED e a EDR consegue eliminar ou atenuar um conjunto de contaminantes da água que entra no processo. Os autores informam, ainda, que estes processos se adaptam a diversos parâmetros operacionais, requerem pouco trabalho e têm custos de manutenção baixos.

No entanto, os preços podem variar muito pois, como foi referido acima, o pré-tratamento é uma parte importante do processo, pelo que, se este for complexo, os preços da ED ou da EDR dispararão. Logo, o preço das instalações está dependente dos TDS na água que entra no sistema.

Brunner (1990), através de Younos T. e Tulou K. E. (2005), assinala que estas duas tecnologias são as mais utilizadas no tratamento de água salobra com TDS até 4000 mg/L, deixando de ser um processo económico para concentrações superiores.

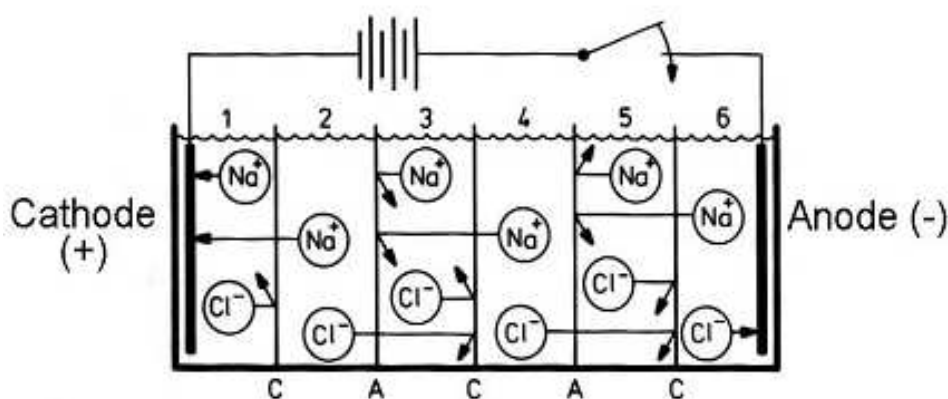


Fig. 3. 5 – Esquema de uma pilha de membranas. Fonte: Younos T. e Tulou K. E. (2005)

3.3.2. OSMOSE INVERSA

A osmose é o nome atribuído ao movimento da água entre meios com concentrações diferentes de solutos, separados por uma membrana semipermeável. É um processo físico importante no metabolismo celular. Na osmose, a água movimenta-se sempre de um meio hipotónico (menos concentrado em soluto) para um meio hipertónico (mais concentrado em soluto) com o objectivo de se atingir um equilíbrio na concentração em ambos os meios (isotónicos) através de uma membrana semipermeável, ou seja, uma membrana cujos poros permitem a passagem de moléculas de água, mas impedem a passagem de outras moléculas.

A osmose inversa é precisamente o processo inverso. Neste caso a água passará por uma membrana do sentido hipertónico para hipotónico (Fig. 3.6).

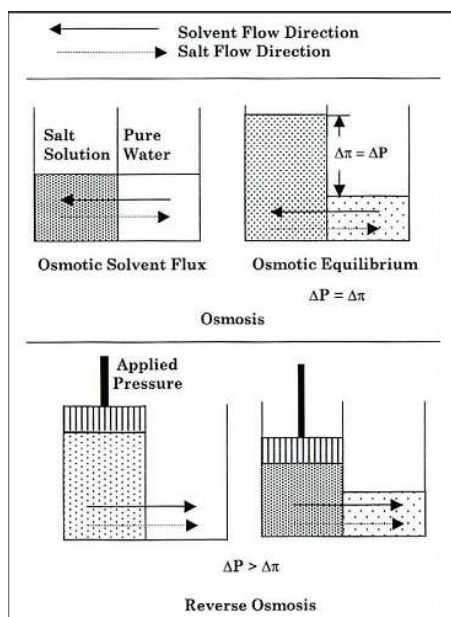


Fig. 3. 6 – Princípio da osmose inversa. Fonte: Younos T. e Tulou K. E. (2005)

A osmose inversa é um processo bastante eficiente para remover sólidos dissolvidos (TDS) com concentrações acima de 45.000 mg/L (Younos T. e Tulou K. E. 2005), podendo ser aplicada tanto na dessalinização de água salgada como salobra.

Ao contrário dos processos acima descritos, este processo não necessita de calor para que a separação se concretize. O processo ocorre à temperatura ambiente, no entanto não se efectua se não tiver energia eléctrica. Esta energia é necessária para activar os dispositivos que vão conferir a pressão necessária para que a água se escoe pelas membranas.

Na fase isotónica da osmose há um diferencial de pressão designada de pressão osmótica. Na osmose inversa a pressão a aplicar no sistema terá que ser igual ou superior à pressão osmótica.

Para conseguir uma pressão superior à pressão osmótica recorre-se a uma bomba de alta pressão especialmente desenhada e revestida para o efeito. Conseguida essa pressão a água salgada é pressionada contra as membranas de modo a que o fenómeno, osmose inversa, aconteça.

Apenas uma parte da água é que é convertida em água doce (cerca de 40%) enquanto que a salmoura é enviada ao meio receptor, caso contrário a água continuaria a aumentar a sua salinidade, o que faria com que a pressão osmótica necessária para atravessar a membrana aumentasse. A taxa de rejeição de salmoura no final do processo varia entre 20 a 70% do volume total de água que entra no circuito, consoante a quantidade de sais na água bruta.

Tal como na ED ou na EDR, na osmose inversa há necessidade de se fazer um pré-tratamento à água salgada.

O processo de pré-tratamento é essencial para assegurar que o processo de dessalinização se processe com o melhor desempenho, isto é, o máximo de volume de água tratada e a maior durabilidade dos materiais.

Quase todos os processos de dessalinização requerem algum tipo de pré-tratamento. O nível de pré-tratamento pretendido depende das características iniciais, qualidade da água na origem e, claro, do tipo de tecnologia de dessalinização escolhida.

Nos casos em que a água na origem é de baixa qualidade, ou seja, com um TDS muito elevado, o pré-tratamento assume um papel fundamental no tratamento da água, o que faz com que o seu peso nos custos finais de uma central de dessalinização seja significativo.

O pré-tratamento, quando necessário, consiste normalmente numa filtração e noutros processos físico-químicos, cuja finalidade é a remoção de sólidos em suspensão (partículas, siltes, material orgânico, algas, etc.) e gorduras existentes, quando o tratamento pretendido é a dessalinização por membranas. Nos processos térmicos, o pré-tratamento protege os tubos e os equipamentos a jusante da corrosão e formação excessiva de depósito nas suas superfícies.

É, portanto, necessário, antes de qualquer tratamento, uma monitorização da água captada, para que se possa conferir à água o tratamento correcto.

Em suma, a principal função do pré-tratamento é assegurar que a turvação/sólidos em suspensão e a quantidade de componentes orgânicos e inorgânicos estão dentro dos parâmetros aceitáveis para que os equipamentos de dessalinização não venham a sofrer problemas futuros. Outro tratamento que pode ser necessário prever, é a remoção de constituintes indesejados tais com algas ou hidrocarbonetos.

O pré-tratamento é, então, uma das etapas mais importantes na dessalinização por osmose inversa, pois a água bruta tem muitos sólidos em suspensão e, como no seu processo de tratamento esta vai passar por membranas cujos poros são microscópicos, é necessário remover o máximo de partículas que possam prejudicar e ou diminuir o tempo de funcionamento das membranas.

Logo, um pré-tratamento adequado aumenta o tempo de vida dos materiais, com especial destaque para as membranas, reduzindo, assim, os custos de manutenção do sistema.

Outro constituinte fundamental do processo de osmose inversa são as bombas de alta pressão. São estas bombas que vão fornecer a energia necessária para que se atinja a pressão desejada para fazer fluir a água salgada pela membrana.

Na Fig. 3.7 é possível ver um esquema de uma central de dessalinização com as fases de pré e pós tratamento.

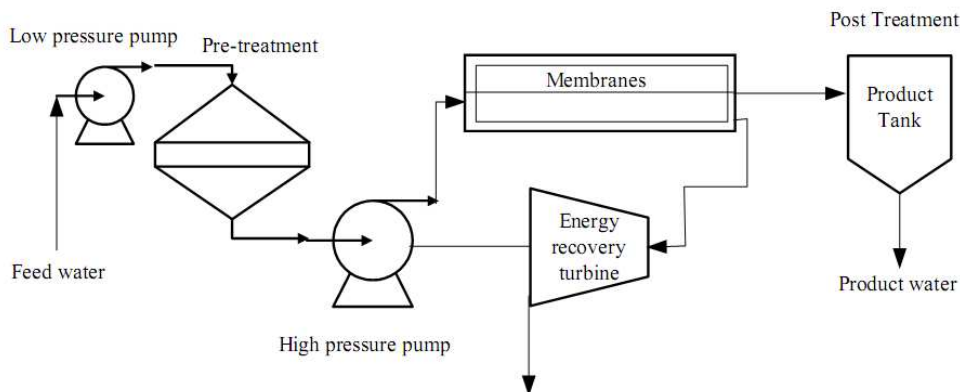


Fig. 3. 7 – Esquema do tratamento por osmose inversa. Fonte: Semiat R. (2000).

Segundo Younos T. e Tulou K. E. (2005), a pressão que é necessária aplicar na água salgada está directamente relacionada com a concentração de TDS na água. Sugere-se, ainda, que, para tratamento de água salobra, a pressão necessária se situe entre 0,97 e 2,76 MPa enquanto que para água salgada provavelmente será necessário atingir pressões superiores a 8,27 MPa.

O elemento nuclear do sistema de osmose inversa são as membranas. Estas podem ser definidas como uma barreira, que separa duas fases restringindo o transporte de diversos produtos químicos.

Os materiais utilizados para o fabrico das membranas são diversos: encontram-se membranas de produtos inorgânicos, orgânicos, biológicos ou, ainda, sintéticos.

Normalmente as membranas são constituídas por finas camadas de polímeros semipermeáveis que estão presas a um revestimento rijo. Geralmente são feitas de acetato de celulose ou poliamidas. Os tipos de membranas distinguem-se entre simétricas, assimétricas e compósito.

Como já foi referido acima, no pré-tratamento, as membranas são um equipamento muito frágil. São muito sensíveis a variações do pH, pequenas concentrações de substâncias oxidadas (cloro e óxido de cloro), material orgânico e, também, à presença de algas e bactérias.

Quanto à estrutura e desenho das membranas, distinguem-se dois tipos – as membranas em espiral e as de fibra oca como se pode ver nas Fig. 3.9 e Fig. 3.10.

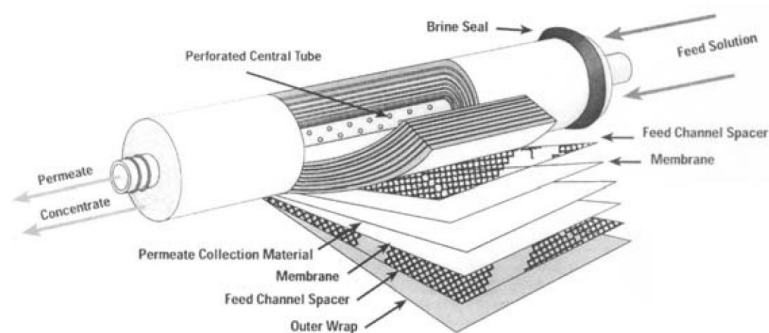
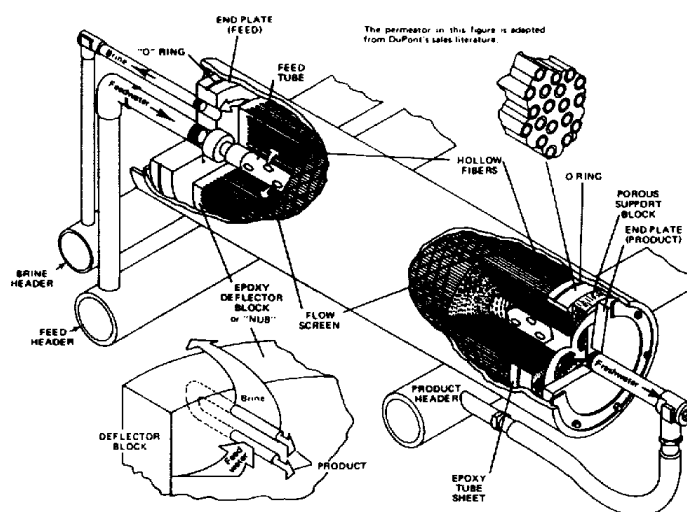


Fig. 3. 8 – Membrana em espiral.⁸

⁸ Fonte: <http://www.allproducts.com/environment/booster/Product-2007711171548-l.jpg>

Fig. 3. 9 – Membrana oca⁹

Segundo Semiat R. (2000), se a temperatura da água for aumentada até ao limite permitido pela membrana, o fluxo que passa na membrana aumenta. O aumento da temperatura faz com que a viscosidade da água diminua, o que permite um aumento do fluxo. Logo, para que se consiga este aumento de eficiência, seria conveniente usar-se a água do mar que é usada nos processos de arrefecimento em fábricas ou em centrais eléctricas que vêm com alguma energia calorífica.

Por exemplo, em Portugal na decisão de instalar uma central de dessalinização seria conveniente localizá-la junto de uma das refinarias existentes (Sines ou Leixões), pois a água que é usada dispõe de grande energia térmica.

Um problema que se levanta quando se equaciona o uso desta tecnologia é a qualidade final da água.

Segundo Semiat R. (2000), a qualidade da água depende das propriedades de rejeição das membranas, do grau de recuperação da água e de uma adequada concepção do sistema. Assinala ainda o autor que algumas moléculas relativamente pequenas como o dióxido de carbono, sulfureto de hidrogénio, sílica ou ácido bórico podem permanecer no produto final, a água doce. Semiat R. (2000) soluciona estes problemas arejando, usando um permutador iónico e/ou misturando água para mudar o conteúdo e, assim, diluir a concentração.

Outra etapa fundamental no processo da osmose inversa é o pós-tratamento. O pós-tratamento consiste na estabilização da água e na preparação para a sua distribuição, eliminando gases e ajustando o pH.

Por fim, e de forma a minimizar os custos de exploração do sistema, instalam-se sistemas de recuperação de energia. As unidades de recuperação de energia usam a água de rejeição, pois esta, desde que ganha pressão na bomba até que passa na membrana, perde pouca pressão, pelo que a água possui uma grande quantidade de energia que pode e deve ser recuperada pela razão acima indicada. Estas unidades de recuperação de energia são componentes mecânicas do sistema, e são, geralmente, turbinas que usam essa energia para produzir electricidade.

⁹ Fonte: <http://www.unu.edu/unupress/unupbooks/80858e/80858E2N.GIF>

3.4. OUTROS PROCESSOS

3.4.1. Ion Exchange

Não sendo uma técnica que utiliza o calor ou algum tipo de membranas, a permuta iónica caracteriza-se como um sistema em que há uma permuta constante dos iões entre as fases sólida e líquida em torno do sólido.

O principal material usado na IE é uma resina especialmente concebida. Esta serve para seja possível a permuta dos seus iões com a água salgada, purificando, assim, a água. A resina é, então, neste processo, a fase sólida e a água salgada a fase líquida.

A resina pode ser feita a partir de um material inorgânico, com por exemplo os zeólitos, ou, então, material sintético. Os zeólitos são um grupo de minerais de aluminossilicatos hidratados que possuem uma estrutura aberta que pode acomodar uma grande variedade de iões positivos, como o Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , entre outros. Os materiais sintéticos são hoje em dia feitos a partir de materiais poliméricos

Segundo Younos T. e Tulou K. E. (2005), o processamento desta técnica consiste no encaminhamento da água salgada de maneira a que passe pela resina para que os iões do sal (Na^+ e Cl^-) possam ser trocados por outros iões. Mas esta técnica é muito mais complexa pelo que os autores acima nomeados sugerem a leitura dos artigos de Arden (1997) e Sengupta (1995). De acordo com estes autores, esta técnica, permuta iónica, pode ser usada em conjunto com a osmose inversa misturando as águas tratadas por ambos os processos com objectivo de aumentar a produtividade.

3.5. FUTURO

Não seria possível terminar este capítulo sem fazer um pequeno levantamento das perspectivas em desenvolvimento para o futuro na dessalinização.

Younos T. e Tulou K. E. (2005) resumem com clareza as técnicas actualmente investigadas ou em investigação. São elas:

- *Electrodeionization (EDI)*;
- *Membrane Distillation (MD)*;
- *Freeze Separation (FS)*;
- *Capacitive Deionization (CDI)*;
- *Rapid Spray Evaporation (RSE)*;
- *Freezing With Hydrates (FH)*;
- *Vacuum Distillation (VD)*

De acordo com os autores a EDI não é mais do que a combinação da tecnologia da permuta iónica com a ED. Uma carga eléctrica é aplicada às placas que estão fora das membranas. O espaço entre as membranas está preenchido com umas bolas de resina que serão usadas como elementos de permuta iónica. A água salgada passa entre as membranas, onde os iões desta tomam o lugar dos iões da resina. De seguida esses iões são puxados através das membranas que se encontram na frente das placas que se encontram em carga eléctrica. A água passa, então, pela resina que faz com que esta fica livre de iões, produzindo assim água pura. Esta técnica é usada para água salobra.

A MD tem por base o diferencial de temperatura nos lados opostos da membrana. As diferentes pressões do vapor levam a que apenas o vapor de água passe através da membrana. Como o sal não é

vaporizado, este não passará pelos poros da membrana. Como seria de esperar é uma tecnologia que envolve grandes quantidades de energia.

O congelamento (FS) consiste, tal como o nome sugere, na congelação da água salgada. Esta congelação vai fazer com que se formem cristais de gelo. Estes são depois separados da salmoura e de seguida derretidos para que se obtenha água potável. Este processo exige alguma energia, mas não em grandes quantidades como acontecia nos processos térmicos. Esta tecnologia ainda não se encontra totalmente desenvolvida.

Continuando na linha de pensamento dos autores, na CDI a água salgada passa por placas revestidas com um aerogel de carbono. Este material absorve os iões da água, produzindo, assim, no final água para consumo humano. É aplicável em situações especiais.

Tal como a MD e a FS, a CDI ainda não se encontra totalmente desenvolvida.

Na RSE a água salgada é aspergida por bicos próprios a grande velocidade. À medida que a água sai, ela é vaporizada enquanto que o sal não. É um processo com futuro no aproveitamento da salmoura ou água com grande salinidade, aproveitando os desperdícios de energia e conseguindo um grande retorno. De momentos aplica-se em pequena escala.

Na FH uma mistura de vapor de água salgada com gás é arrefecida. Isso leva à formação de hidratos que são depois separados da salmoura. Após isso, os hidratos são decompostos para que se possa obter água potável e recuperar o gás hidratado. É uma aposta para o futuro pois há uma grande corrente de pesquisa na área dos hidratos.

Por fim, Younos T. e Tulou K. E. (2005) sugerem que, submetendo a água salgada ao vácuo a sua temperatura de ebulição diminui, logo a água evapora a uma baixa temperatura, condensando em seguida. Isto é a técnica de *Vacuum Distillation* (VD). O vácuo permite que esta técnica se processe com pouca quantidade de energia. É uma técnica onde o risco de escamação não existe, pelo facto de operar a baixas temperaturas.

Estas duas últimas técnicas (FH e VD) continuam em pesquisa, não tendo ainda sido desenvolvidas.

Como se pode ver o avanço não pára, o que leva a concluir que há necessidade de evoluir neste campo do tratamento de água. Estes avanços todos vão não só melhorar a produtividade actual, mas também levar à minimização dos custos de exploração, juntando-se a tudo isto, claramente, o preço final do metro cúbico de água dessalinizada.

4.

ABASTECIMENTO DE ÁGUA

4.1 ACTUALIDADE

Actualmente, o abastecimento e drenagem de águas domésticas são feitos por empresas especializadas na gestão de recursos hídricos. Em Portugal, uma grande parcela das empresas de abastecimento e drenagem de água está ligada ao grupo Águas de Portugal (AdP), existindo, no entanto, empresas privadas que se dedicam ao mesmo serviço.

Tal como acontece na natureza, também numa cidade existe um ciclo de água, designado por ciclo urbano da água, que consiste na série de etapas de utilização da água desde que é captada até ao momento em que é restituída ao meio ambiente.

Seja superficial – albufeiras – ou subterrânea – lençóis freáticos, a captação da água marca o início deste ciclo urbano. A água captada é conduzida por um sistema de tubagens até às estações de tratamento de águas (ETA). Nas ETAs a água passa por um tratamento rigoroso, que tem como finalidade o consumo humano. Esse tratamento engloba operações como a pré-oxidação (pré-ozonização ou pré-cloragem), coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

Estando a água, após estas etapas, com qualidade própria para consumo humano, é conduzida pelas adutoras – tubagens de grande diâmetro – até aos reservatórios das cidades. A adução, como se denomina esta fase do ciclo urbano, pode e deve ser feita, sempre que o relevo o permita, por gravidade. Quando há necessidade de vencer grandes desníveis geométricos, recorre-se à adução por elevação. Esta adução é feita com recurso a bombas, que fornecem a energia necessária ao sistema para que a água se eleve até ao reservatório. Isto implica evidentes custos adicionais de energia e manutenção de máquinas do sistema, razão pela qual se deve optar, sempre que possível, pela adução gravítica.

Uma vez armazenada em reservatórios, já numa outra fase do ciclo urbano, a água é colocada no sistema de distribuição da cidade consoante as necessidades dos habitantes. A distribuição da água é feita por tubagens de menor diâmetro que os das adutoras, estando interligados num sistemas complexo de malhas e ramais que levam a água até às habitações.

Uma vez utilizada a água, esta é recolhida, sob a forma de efluente, por uma rede de colectores, que a transportam para uma conduta de grande diâmetro, o emissário, que, por sua vez, permite encaminhar a água residual para a penúltima fase do ciclo urbano da água: o tratamento de águas residuais. O tratamento dos efluentes é feito nas ETAR (estações de tratamento de águas residuais).

Quando chega à ETAR, a água residual passa por diversas etapas de tratamento até que esta esteja com os parâmetros de qualidade exigidos para ser enviada para o meio receptor. De uma forma geral, esse

tratamento divide-se nas seguintes fases: preliminar, primário, secundário e terciário. Estas fases de tratamento incorporam tratamentos químicos, físicos e microbiológicos, não sendo porém sempre realizadas todas as etapas, de acordo com o nível de tratamento a dar e com o tipo de água residual.

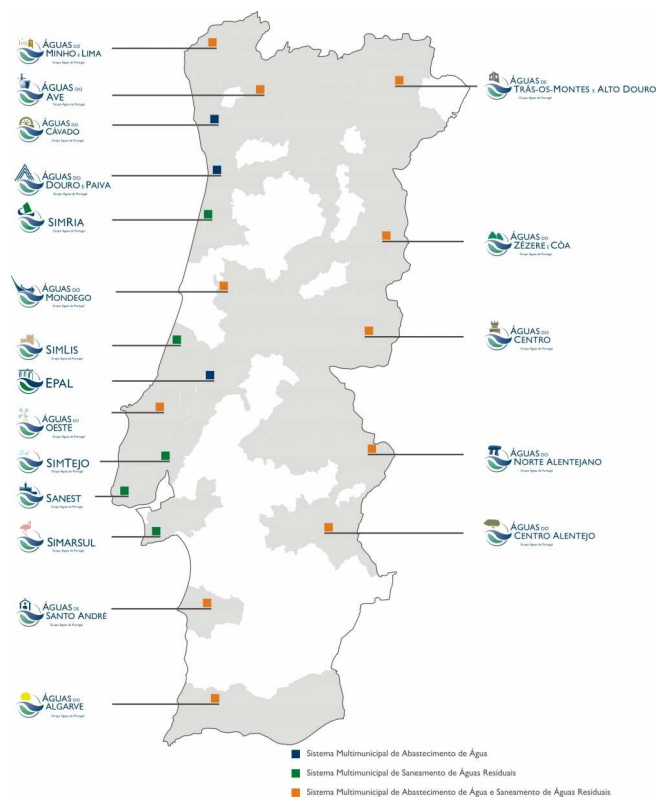
Após tratamento a água é devolvida ao meio receptor – mar ou rio, onde reintegra o ciclo hidrológico. Ver Fig. 4.1



Fig. 4. 1 – Ciclo urbano da água¹⁰

Em Portugal são muitas as empresas que fazem com que este ciclo se processe. Podem estas empresas ser públicas, privadas, ou mistas, mas o serviço prestado por cada uma delas é o mesmo: abastecimento e/ou drenagem de águas às populações. A rede de empresas que pertence ao grupo AdP é muito vasta. O mapa ilustrado na figura que se segue assinala as empresas que pertencem ao grupo AdP.

¹⁰ Fonte: http://www.adna.com.pt/imagens/ciclo_urbano_da_agua/1_.gif

Fig. 4. 2 – Empresas do grupo AdP¹¹

Como se verifica, algumas das empresas apenas se dedicam ao abastecimento de água ou à drenagem. Nota-se, também, a presença escassa da AdP no interior de Portugal, onde as empresas que existem intervêm em todas as fases do ciclo urbano. A baixa densidade demográfica, que se reflecte num menor número de habitantes a servir, poderá justificar a opção das empresas do interior suportarem tanto o abastecimento como a drenagem das águas.

De um modo geral, a gestão dos recursos hídricos é mais difícil no interior do país, pois as populações a servir estão normalmente mais afastadas entre si, o que provoca custos de construção de infra-estruturas muito elevados. Nessas zonas, os consumidores ainda recorrem muito a águas das suas minas ou poços, sendo, no entanto, a descarga das águas residuais feita para a rede pública, o que leva, em muitos casos, a que os colectores não suportem o caudal efluente.

Já no litoral, detecta-se a existência de muitas empresas que apenas prestam um serviço, como é o caso das Águas do Douro e Paiva (AdDP), que se responsabilizam pelo tratamento e abastecimento de água a uma vasta região que integra, entre outras, a cidade do Porto. Uma vez nos reservatórios da Águas do Porto E.M., passa a ficar esta empresa municipal encarregue de fazer a distribuição, drenagem e tratamento das águas. Esta situação não ocorre só no Porto, uma vez que em muitas outras cidades a distribuição é feita por uma empresa municipal ou privada.

Conclui-se que hoje em dia a generalidade das populações estão dependentes destas empresas para que a sua casa seja provida de água com qualidade. Esta limitação é muitas vezes prejudicial para a economia de cada população. Uma deficiente gestão e a falta de concorrência conduz a monopólios,

¹¹ Fonte: <http://www.aguasdoalgarve.pt/ada/files/adp/MapaGrupo.jpg>

que provocam em muitos casos, a aplicação de tarifas e preços do metro cúbico muito elevados por parte destas empresas.

Todavia, existem já soluções, outras que não poços ou minas particulares, que permitem às pessoas ter os seus próprios meios de abastecimento de água. Há, porém, que ter a consciência que estas soluções são válidas para uma pequena/média escala, e poderão ser uma boa solução para abastecimento de pequenos aglomerados de pessoas, correspondendo esse aglomerado a, por exemplo, um hotel ou um condomínio. Caso a população a servir fosse mais elevada, não faria sentido falar de alternativas ao sistema de abastecimento habitual, pois esse sistema estaria, muito provavelmente, à exploração de uma das empresas de abastecimento público.

No próximo ponto deste capítulo será apresentada uma gama de soluções, bem como as suas características técnicas, de tratamento de águas alternativas que podem ser muito bem a solução que se procura para contrariar a situação actual dos recursos hídricos no que se refere a água doce.

4.2 ABASTECIMENTO SUSTENTÁVEL

4.2.1 SUSTENTABILIDADE

Actualmente são muitas as actividades que recorrem ao uso da água proveniente das redes públicas para realizar tarefas que poderiam muito bem ser realizadas com recurso a águas alternativas. Serve, então, esta parte do capítulo para falar sobre abastecimento alternativo ao abastecimento público.

É importante antes de mais referir quais os principais elementos sobre os quais se devem concentrar mais os esforços para inverter a situação actual. Destacam-se, portanto, o sector hoteleiro, em particular o do Algarve onde, adjacentes aos hotéis, existem grandes campos de golfe, lavagens automáticas nas bombas de gasolina, lavandarias e, também, condomínios.

Os hotéis, não só em Portugal mas também no resto do mundo, lidam diariamente com centenas ou até mesmo milhares de hóspedes diferentes todos os dias. Cada hóspede tem um comportamento, face ao consumo de água, muito particular e diferente dos outros hóspedes, nomeadamente pelo consumo de águas para banhos ou para descargas de autoclismo. A este consumo imediato, deverá somar-se o consumo de água para lavagens de lençóis de quarto e de banho e toalhas de mesa. Estes consumos, particularmente os que dependem dos hábitos dos hóspedes, são muito difíceis de contabilizar, pelo que o sistema de abastecimento de águas destes estabelecimentos deverá ser muito rigoroso, com um dimensionamento minucioso, para que o hotel possa prestar sempre um serviço que satisfaça os clientes. Como é evidente, a necessidade de garantir que todos os hóspedes tenham água é obrigatória.

A juntar a estes factores, a escassez de água que se faz sentir em diversas zonas do país e no mundo dificulta ainda mais o cumprimento das necessidades básicas que um hóspede exige. Por vezes os hotéis das regiões mais secas vêm-se obrigados a racionalizar a água para conseguirem garantir os padrões mínimos de conforto exigidos. Este problema pode agravar-se em zonas de grande afluência turística, com hotéis de luxo que incluem, também, piscinas ou campos de golfe, e para os quais, naturalmente, o grau de exigência do cliente será maior. Por este motivo, muitos hotéis estão apostar na captação de água em fontes alternativas para que possam ter água em quantidade e para que sejam capazes de responder às necessidades dos clientes.

Já nas lavagens automáticas de automóveis, o problema não é a falta de água mas, antes, o motivo para o qual ela é utilizada. Não será de todo o mais correcto utilizar-se água cujos padrões de qualidade são próprios para o consumo humano para lavar automóveis. Com efeito, para que um veículo fique

correctamente limpo, é irrelevante se a água utilizada para a lavagem é ou não potável. Neste sentido, para as empresas que gerem este tipo de negócios seria altamente benéfico procurar utilizar água de fontes alternativas e até mesmo reutilizar a águas das lavagens como alternativa à rede pública.

Finalmente, nas lavandarias a situação é a mesma que nas lavagens dos automóveis, sendo que neste caso se coloca um problema, que é o facto de os têxteis serem um material mais sensível que os automóveis. Assim, para que a presença de determinados componentes na água não danifique os tecidos dos clientes, será necessário um tratamento mais preciso, o que não é de todo motivo para que não se possa ir buscar água a uma fonte alternativa. Outra solução, que poderá mesmo ser complementar, seria reutilizar a água das lavagens.

Interessante é a aplicação destas soluções em condomínios, o que deve ser muito bem estudado, com o cuidado de tomar decisões mais consensuais para todos os intervenientes. As soluções estão dependentes do tipo de edificação do condomínio, já que dependem da tipologia das habitações – as necessidades de um edifício de habitações vertical é diferente das moradias.

Seja num hotel, num campo de golfe, numa lavagem automática, numa lavandaria ou num condomínio, o caminho a tomar é aquele que leva à sustentabilidade desses empreendimentos. A sustentabilidade é um conceito que tem sido cada vez mais discutido nas mais diversas agendas políticas, congressos ou nos média. Economia, ambiente e sociedade são os três pilares fundamentais em que a sustentabilidade assenta.

Sustentabilidade não é mais do que prover o melhor, para as pessoas e para o ambiente, agora e para um futuro indeterminado. Para tal são estabelecidos conjuntos de medidas que visam eliminar tudo aquilo que afecta o equilíbrio e a harmonia da sociedade e do ambiente. Contudo, as medidas a adoptar devem ser tais que não afectem as necessidades das gerações futuras.

No que ao ambiente diz respeito, estão já a ser implementadas medidas que caminham no sentido de garantir a sustentabilidade. A aposta nas energias limpas tem sido uma das medidas mais marcantes da actualidade.

Se para a poluição atmosférica existe já uma consciencialização, que passa pela já referida aceitação de energias renováveis como fonte para o consumo energético doméstico, para o consumo de águas ainda não se avançou para lá da poupança de água, ainda não é muito comum o conhecimento – ou aceitação – generalizado de meios de reaproveitamento ou recolha de águas alternativo ao sistema público. Todavia, algumas pessoas começam a sentir a necessidade de estar cada vez menos dependentes da água da rede pública para a realização de certas actividades domésticas.

Com a intenção de criar primeiro habitações e depois cidades sustentáveis em recursos hídricos, é necessário utilizar fontes de água abundantes na natureza e/ou água que se poderá obter de forma natural, ou seja, a água das chuvas e a água do mar. Actualmente, já existe tecnologia bastante desenvolvida e vocacionada para a recolha e tratamento destas duas fontes de água alternativa.

Seguidamente será feita uma breve descrição sobre estas duas origens de água, referindo qual o destino mais apropriado para cada uma delas num empreendimento sustentável. Também serão apresentados os equipamentos envolvidos na recolha e tratamento deste tipo de recursos hídricos. Note-se que nos subcapítulos seguintes, será dado maior relevo à dessalinização da água do mar, assunto sobre o qual assenta em primeiro plano este trabalho. No entanto, não seria possível falar em sustentabilidade hídrica sem referir o aproveitamento das águas pluviais.

Neste trabalho não serão feitas análises de custos, sendo contudo, sempre que possível, feitas referências a trabalhos que analisam de uma forma mais cuidada os assuntos em causa.

4.2.2 ÁGUAS PLUVIAIS

A chuva sempre foi sinal de alegrias e de tristezas. Com ela, vem associada a salvação de muitas culturas que o calor ameaçava arruinar mas, também, a destruição de cidades inteiras devido às cheias causadas pelas chuvadas intensas.

O aproveitamento das águas das chuvas conta com um vasto historial em muitos pontos do globo. Oliveira F. (2008) apresenta um breve apanhado da história sobre o aproveitamento das águas pluviais. Neste trabalho serão citadas algumas passagens desse texto com o intuito de enquadrar o tema num contexto histórico, sugerindo-se a leitura integral da dissertação para aprofundamento do conhecimento histórico sobre este assunto. Fazendo um apanhado dos sistemas de recolha de águas desde o seu registo mais antigo – Pedra Moabita, em Israel, c. 830 a.C., a autora refere vários sistemas em vários locais e cronologias, alargando a análise desde a América Central pré-hispânica ao Médio Oriente, e estendendo a cronologia desde o final da Idade do Bronze até à contemporaneidade, finalizando o estudo com uma aproximação ao caso português de um ponto de vista histórico e geográfico:

“No Algarve, ao longo dos anos, a fraca precipitação levou ao aparecimento de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para uso doméstico, constituídos por caleiras de telha ao longo das fachadas e sob os beirados, sendo a água recolhida das suas vertentes ou dos seus terraços conduzida para cisternas. Se a água recolhida não fosse suficiente, recorria-se então ao eirado (...), que consta dum vasto terreiro, ao nível do terreno, revestido com ladrilhos e com declives para encaminhar a água pluvial para um pequeno orifício, que comunica com o interior da cisterna, de onde era então tirada por meio de uma boca semelhante às dos poços. Toda a superfície exterior dos eirados é abundantemente caiada para neutralizar a natural acidez das águas pluviais. A existência de eirados está circunscrita à região de Silves, S. Bartolomeu de Messines, Tunes, Porches, Amorosa, etc. (Antunes et al., 1988).

No Arquipélago dos Açores, mais precisamente nas ilhas de Santa Maria, Terceira, Graciosa, S. Jorge, Pico, Faial e Corvo, as casas tradicionais contêm sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Na Terceira, as cisternas têm uma cobertura em abóbada de berço e um acesso à água acumulada (...); são quase sempre rebocadas e caiadas na zona superior e tanto aparecem isoladas como encostadas às habitações. Estas cisternas recolhem, normalmente, a água das coberturas das casas a que estão anexas, directamente dos beirais ou canalizadas pelas caleiras que as contornam (Tostões et al., 2000).

A Graciosa é a ilha com maior carência de água do Arquipélago dos Açores. Esta situação suscitou na população a necessidade do desenvolvimento de várias estruturas públicas e domésticas para o armazenamento de água (incluindo água pluvial). Ao nível das estruturas públicas, existem os reservatórios e os “tanques”. O “tanque” é, normalmente, um complexo integrado constituído por um reservatório (coberto), um tanque propriamente dito (a céu aberto) e lavadouros. O reservatório é uma estrutura enterrada com forma rectangular que, em regra, está inserida num recinto murado, também rectangular. O seu interior encontra-se dividido em naves por fiadas de arcos de volta-inteira assentes em colunas, construídos em pedra de cantaria, que sustentam uma cobertura abobada (Arena, 2006). Ao nível das estruturas domésticas, são utilizadas as cisternas e os tanques domésticos (...). A cisterna pode encontrar-se encostada à casa, recolhendo a água pluvial directamente dos beirais. Contudo, na maior parte das habitações, trata-se de um volume dissociado, mas ligado à casa através de um conjunto de caleiras em cerâmica, que circundando-a sob os beirais, recebe a água que é posteriormente conduzida à cisterna ou ao tanque onde fica armazenada. Por vezes as cisternas são simplesmente substituídas por grandes talhões de barro colocados no termo do sistema de caleiras cerâmicas (Tostões et al., 2000).

Em São Jorge, as cisternas que existem encontram-se normalmente encostadas à habitação e são rectangulares. O acesso à água armazenada faz-se através de um poço com portinhola (Tostões et al., 2000).

No Pico as cisternas são construídas em alvenaria de pedra que ou fica à vista ou é rebocada e caiada ou a caição é restrita às juntas. Só a superfície superior é sistematicamente argamassada para que as águas pluviais se dirijam ao orifício do depósito e não se infiltrem na restante construção.

As cisternas são, na sua maioria, rectangulares, muito embora possam apresentar, em raras excepções, uma forma circular (...) (Tostões et al., 2000).”

4.2.2.1 Finalidades das Águas Pluviais

A água da chuva que é recolhida e armazenada, quando é, apenas, alvo de uma filtragem simples, não cumpre os requisitos exigidos para consumo humano, pelo que está qualificada como água de segunda qualidade. Esta água é, então, usada para satisfazer um número considerado de tarefas domésticas sem pôr em causa a saúde das pessoas.

Sendo assim, as águas das chuvas estão destinadas a ser usadas na:

- Rega de jardins;
- Limpeza de bacias de retrete;
- Limpeza de mictórios;
- Máquina de lavar loiça;
- Máquina de lavar roupa;
- Lavagem de pavimentos;
- Lavagem de viaturas.

4.2.2.2 Sistema de Aproveitamento da Água Pluviais (SAAP)

O objectivo primário de um SAAP é a recolha, armazenamento e futura utilização da água da chuva. Este é ideal quando se pretende diminuir o valor da factura da água.

O funcionamento do SAAP resume-se à recolha e encaminhamento da água das chuvas para um reservatório. Essa água é, então, usada de acordo com as necessidades das pessoas. Caso haja menos consumo do que água a entrar no reservatório

Um SAAP tem na sua estrutura global os seguintes elementos:

- Superfície de recolha;
- Órgãos de transporte de água;
- Filtros;
- Sistema de auto limpeza *first-flush*;
- Reservatório de Armazenamento.

A superfície de recolha das águas é de um modo geral a cobertura do edifício. No entanto qualquer superfície exterior que encaminhe a água para um ponto definido também pode funcionar como superfície de recolha. Os materiais utilizados no revestimento da superfície são decisivos no que à quantidade de água aproveitada concerne. De uma modo geral os materiais usados nas coberturas dos

edifícios são a fibra vegetal, aço galvanizado, alumínio, cerâmica com ou sem vidragem, fibra de vidro ou PVC. Já nos espaços exteriores que possibilitam, também, a recolha destas águas, são normalmente utilizados materiais como o betão, revestimentos cerâmicos com ou sem vidragem, granito ou betão betuminoso. De notar que nem toda a água que cai na superfície chega ao reservatório, para tal é preciso contar com alguma dissipação da mesma, devido ao material escolhido. Na Fig. 4.3 apresenta-se um exemplo de uma casa com diversas superfícies de recolha possíveis.

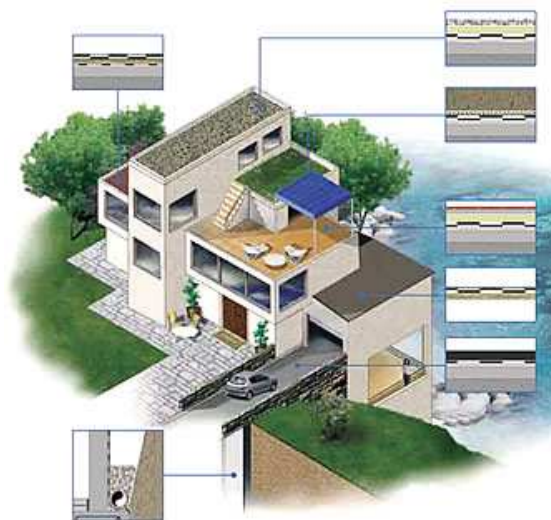


Fig. 4. 3 – Exemplo de uma habitação com diversas superfícies de recolha de água¹²

Após a queda da água na superfície, esta escoa até aos órgãos de transporte. Estes órgãos são um conjunto de caleiras, tubo de queda e canalizações até ao reservatório. Convém proteger a caleira com uma rede. Isto vai fazer que com que as folhas, ramos ou até mesmo animais de pequeno porte possam entrar e entupir as canalizações de jusante. Na Fig. 4.4 é visível uma exemplo dessa protecção.



Fig. 4. 4 – Protecção da caleira.¹³

¹² Fonte: http://2.bp.blogspot.com/_2N5PJD1SDwA/R-0Z-iWYpzi/AAAAAAAAAgg/ysqYRUb27zl/s400/casas%2Becológicas.jpg

Antes de a água entrar para o reservatório passa por um filtro com o objectivo de melhorar a qualidade da água que vai ser armazenada. A gama de filtros existentes é grande, e as suas funções são bastante específicas.

Actualmente as empresas que se dedicam à implementação destes sistemas optam por sistemas de filtragem muito idênticos.

A primeira filtragem do sistema dá-se na caleira. Esta filtragem é muito importante, pois é nesse filtro que ficam retidos os sedimentos de grande diâmetro. Alternativamente a esta filtragem há quem use um filtro no tubo de queda, como primeiro filtro. A vantagem de usar este filtro é que é mais económico e mais rápido de se colocar que o anterior.

Mais complexo que o filtro anteriormente indicado, o filtro comercializado pela “3P Technik”, o Rainus 3P, garante uma filtragem mais cuidada que se traduz numa melhor qualidade da água armazenada. O princípio de funcionamento deste filtro está em fazer passar a água através de uma cascata que a separa dos sedimentos. A água rejeitada é enviada para o sistema de rejeição das águas das primeiras chuvas.

Alternativamente a estes filtros a “3P Technik” apresenta o modelo *Volume Filter* ou VF1. Este filtro, ao contrário dos outros que eram colocados no tubo de queda, é colocado antes da entrada do reservatório. Apesar de ser aplicado num local diferente, o *modus operandus* deste filtro é igual ao anterior aqui referido.

Estes filtros destinam-se a pequenos aproveitamentos, como, por exemplo, uma habitação. No entanto, se o destino do sistema a instalar for um complexo de apartamentos, centro comercial ou uma indústria, faz sentido recorrer a filtros de maior capacidade. Para tal a mesma empresa apresenta filtros do modelo VF2 ao VF6. A diferença entre eles é, mesmo, o caudal filtrado, sendo este maior no VF6. As imagens que se seguem são fotografias dos filtros Rainus 3P, VF1 e VF2.



Fig. 4. 5 – Rainus 3P¹⁴



Fig. 4. 6 – 3P Volume Filter 1 (VF1)



Fig. 4. 7 – 3P Volume Filter 2 (VF2)

¹³ Fonte: http://www.spec-net.com.au/press/0608/images/lea040608_img02.jpg

¹⁴ Fonte das Fig. 4.5, Fig. 4.6 e Fig. 4.7: <http://www.3ptechnik.com/en/home.html>

É importante referir, também, que não só a empresa *3P Technik*, mas, também, as empresas *GRAF*¹⁵, *KESSEL*¹⁶, *ECOÁGUA*¹⁷, *WISY*¹⁸ entre outras se dedicam à implementação destes sistemas de aproveitamento das águas pluviais. A empresa *ECOÁGUA* é uma empresa portuguesa que implementa sistemas da *3P Technik*, mas a sua referência era necessária pois opera em território nacional. Outra empresa que trabalha não só nesta área, mas também implementa sistemas de OI (ver mais à frente), é a *Repura*

O *first-flush* é o nome atribuído à água proveniente das primeiras chuvas. Estas arrastam consigo pó e material orgânico que fica acumulado nos telhados durante a época de seca. Há, por isso, uma necessidade de eliminar essa água a fim de evitar a contaminação da água que está ou que vai ser armazenada. Só assim a garantia que a água fica com melhor qualidade é assegurada.

May (2004) através de Verdade J. (2008) apresenta duas soluções que aqui serão apenas indicadas pelo que, para uma melhor compreensão das técnicas, sugere-se a leitura referente a esta parte em Verdade J. (2008). As soluções apresentadas são o “tonel” e o reservatório de auto-limpeza com torneira bóia.

Após a rejeição da água de *first-flush* começa, então, o enchimento do reservatório. Os reservatórios são os órgãos do sistema que se destinam ao armazenamento da água das chuvas. Estes podem ser feitos dos mais diversos materiais. De um modo geral estes são feitos de betão, aço inox, polietileno ou alvenaria. Esses reservatórios, em muitos casos não são mais do que lagos devidamente impermeabilizados que funcionam como autênticas bacias de retenção. Nesses casos a água é usada para rega e, também, como elemento decorativo.

Como se pode prever a quantidade de água disponível para consumo nas habitações fica limitada ao tamanho dos reservatórios. Tal como qualquer reservatório existente numa rede de abastecimento público estes também devem ser munidos com dispositivos especiais. São eles descargas de fundo e descarregador de cheias. O seu revestimento interior deve ser tal que permita a ventilação e a segurança.

Importa, também, referir que os reservatórios devem aguentar não só com a pressão da água no seu interior, mas, também, a pressão do solo que se encontra sobre ele (caso se encontre enterrado).

A instalação deste no terreno depende da área disponível no terreno, mas de um modo geral a melhor solução é enterrá-los.

Apresentado o SAAP é importante referir que as empresas que se dedicam à implementação do mesmo, já oferecem soluções onde incorporam todos os componentes de um SAAP, excepto a superfície de recolha, para uma gama de volumes flexível.

Mas o ideal antes de comprar qualquer tipo de equipamento é fazer um pequeno estudo do potencial pluviométrico de maneira a garantir uma maior eficiência na captação das águas pluviais.

No que ao dimensionamento destes sistemas concerne, sugere-se a leitura de Verdade J. (2008) onde o autor fala sobre o dimensionamento dos reservatórios e faz uma análise de viabilidade económica de um sistema de águas pluviais.

Apresenta-se de seguida uma imagem de um SAAP possível para uma pequena habitação unifamiliar.

¹⁵ <http://www.graf.pt/Home/tabid/36/Default.aspx>

¹⁶ <http://www.kessel.de/index.html.en>

¹⁷ <http://www.ecoaqua.pt/index.php>

¹⁸ <http://www.wisy.de/index.htm>

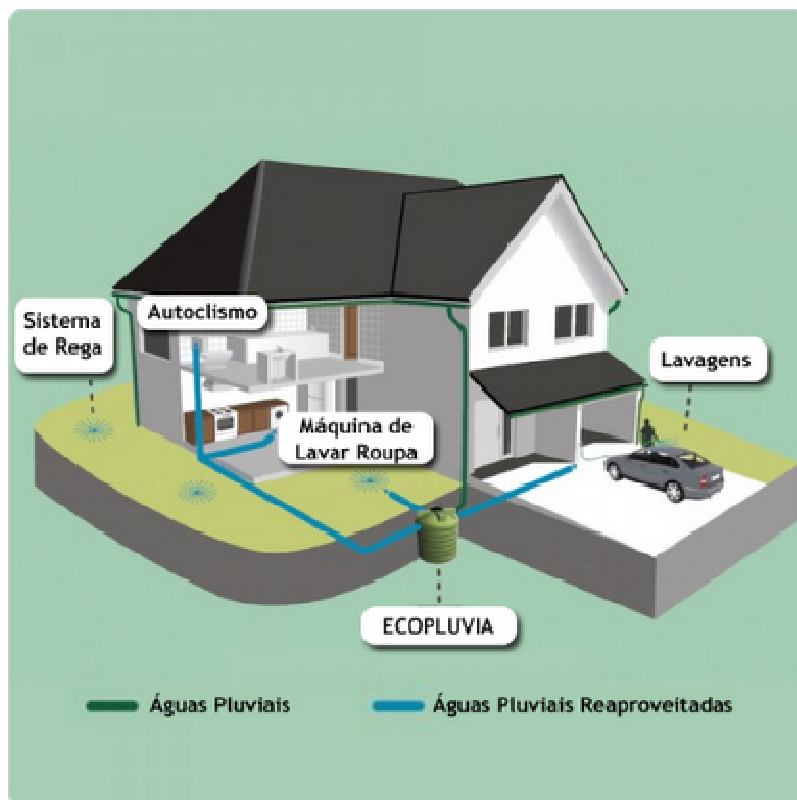


Fig. 4. 8 – Sistema de aproveitamento das águas pluviais numa habitação.¹⁹

4.2.3 ÁGUA DO MAR

A água do mar é, sem dúvida, o recurso hídrico que mais abunda no planeta terra. Devido à sua salinidade elevada, a sua utilização sempre foi evitada ao máximo. Actualmente, como a água doce se torna cada vez mais escassa, este recurso está a ser cada vez mais considerado como uma alternativa. No entanto, em zonas do globo onde a água doce sempre foi um recurso escasso, o uso da água do mar tratada para consumo humano é uma prática comum desde há muito tempo.

4.2.3.1 Finalidade da água dessalinizada

A dessalinização é um modo de tratamento eficaz na remoção de uma grande percentagem de sais e elementos patogénicos, prejudiciais à saúde humana. Após este tratamento, a água está perfeitamente apta para consumo humano. Neste sentido, prevendo-se que a água pluvial não chegará para todo o ano, a água dessalinizada poderá substituir a água das chuvas durante os períodos de carência. Assim sendo, a água dessalinizada será usada para:

- Consumo humano, de acordo com a aceitação dos proprietários;
- Descargas de autoclismos;
- Lavagem de automóveis;
- Limpezas – janelas, pavimentos e outros;

¹⁹ Fonte: http://3.bp.blogspot.com/_416V2pKhxqE/SZf49sL7qAI/AAAAAAAAA_4/RJ4w9Zc_spY/s400/canvas.png

- Lavagem de roupa e loiça;
- Rega;
- Abastecimento de piscinas.

Embora possa parecer um luxo usar esta água para lavagem de automóveis ou até mesmo roupa, é preciso ter consciência que o que está aqui em questão é o abastecimento sustentável da habitação, pelo que o uso a dar à água dessalinizada deverá ser igual ao do que já é dado à água da companhia.

4.2.3.2 Sistema de Osmose Inversa

Foi grande a evolução da tecnologia da OI nas últimas décadas. Com o aparecimento de novos materiais as melhorias nos sistemas de OI foram notórias.

As bombas melhoraram o desempenho e o tempo de vida, ao mesmo tempo que o caudal permeado das membranas aumentou e os órgãos dos sistemas passaram a resistir mais aos problemas associados à água salgada. Acima de tudo, a grande vantagem destes sucessivos melhoramentos dos materiais usados foi a possibilidade de compactação das unidades de tratamento, o que tornou possível ter centrais de osmose inversa em residências particulares, permitindo, finalmente, maior autonomia no consumo de água.

Existem no mercado diversas empresas inseridas no ramo do tratamento de águas. Estas não só dedicam o seu negócio à venda e instalação de sistemas de tratamento e purificação de água convencionais, como vendem, também, verdadeiras centrais de dessalinização para uso familiar e/ou comercial.

Neste ramo destacam-se as seguintes empresas a nível internacional, permitindo quase todas elas soluções práticas e cómodas de tratamento de água.

- Crane Environmental²⁰;
- Hydro Electrique Marine²¹;
- Applied Membranes Inc.²²;
- HP Watermaker²³;
- APEC Water Systems²⁴;
- Pure Aqua, Inc.²⁵.

Em Portugal já começam a surgir empresas a apostar neste mercado em crescimento. Algumas das empresas apenas se dedicam à implementação destes sistemas, tais como:

- Repura²⁶;

²⁰ <http://www.cranenv.com/>

²¹ <http://www.hemwater.com/>

²² <http://www.appliedmembranes.com/default.htm>

²³ <http://www.hpwatermaker.it/eng/default.cfm>

²⁴ <http://www.freedrinkingwater.com/index.htm>

²⁵ <http://www.pure-aqua.com/about.htm>

- TECNIFILTRO²⁷;
- DIVÁGUAS²⁸;
- ProMinent²⁹.

Nota-se que há interesse em apostar nestas novas áreas do tratamento de água.

Sobre o processo de OI, remete-se para o capítulo 3 do presente trabalho. Foi feito, então, um levantamento do tipo de produtos de OI que algumas das empresas estão dispostas a fornecer. Nesse levantamento foram especificados detalhes relevantes sobre os produtos, passando-se agora a elencar, de uma forma mais rápida e fácil, o tipo de produtos existentes no mercado.

As empresas que foram alvo deste levantamento foram a Applied Membranes Inc. e a HEM por serem as que oferecem uma informação mais detalhada dos equipamentos.

A Applied Membranes Inc. fornece uma vasta gama de produtos inclusive sistemas de tratamento de água do mar por osmose inversa, apresentando duas alternativas – sistemas compactos e sistemas comerciais – entre as quais se deverá escolher a que melhor se adapta às necessidades de cada um.

Na série SY, sistemas compactos, o intervalo de valores da capacidade de tratamento de água por dia situa-se entre os 0,38 m³/dia e os 6,06 m³/dia (100-1600 GPD). Os equipamentos desta série destinam-se sobretudo a pequenos e médios consumos. São equipamentos ideais para habitações unifamiliares ou pequenos aglomerados não superiores a 25 pessoas. Nesta série são apresentadas várias hipóteses, divididas em dois grupos. O primeiro grupo é designado por *Watermaker-mini*. Trata-se do sistema mais pequeno que a empresa tem no mercado. O segundo grupo é o *Watermaker Standard*. Aqui já estamos perante um conjunto de hipóteses normais sem nenhuma característica especial. Tanto os equipamentos *Watermaker-mini* e os *Watermaker Standard* vêm equipados de série, de acordo com o sítio internet da marca, com:

- Thin Film Composite Seawater RO Membranes\ Membranas de OI para água salgada do tipo TFC
- FRP Seawater Membrane Housing\ Protecção para Membranas em fibra de plástico reforçado, FR
- Stainless Steel High Pressure Pumps\ Bombas de Alta Pressão em Aço Inoxidável
- Permeate and Concentrate Flow Meters\ Medidores de Caudais Permeados e Concentrados
- Low and High Pressure Safeguards\ Válvulas de segurança de alta e baixa pressão
- Compact Frame with Powder Coated Finish\ Estrutura Compacta com revestimento especial
- Automatic Operation with Level Controls\ Operador automático com controlos de níveis
- Stainless Steel Back Pressure Control\ Controlador de conta-pressão em Aço Inoxidável
- 5 Micron Sediment Filter and Housing\ Filtro de Sedimentos de 5 micron e protecção
- High Pressure Relief Valve\ Válvula de Alívio de Alta Pressão
- Pulsation Dampener\ Amortecer de Vibração
- Auto feed Shut-Off\ Sistema de fecho de alimentação automático
- Liquid Filled System Pressure Gauge\ Manómetro de pressão

²⁶ <http://www.repura.com/pt/services.html>

²⁷ <http://www.tecnifiltro.pt/>

²⁸ <http://www.divaguas.pt/s/index.php>

²⁹ <http://www.prominent.pt/desktopdefault.aspx/>

O que os diferencia é a capacidade de tratamento de água que cada um consegue. No quadro seguinte pode-se ter uma ideia das características físicas de cada um dos sistemas da série SY.

Quadro 4. 1: Características físicas dos sistemas da série SY.

Empresa	Série	Modelo	Capacidade		Seawater RO Membranes			Dimensões (cm)			Peso Aprox.
			GPD	m ³ /d	Qtdd.	Diam. (cm)	Comp. (cm)	Comp.	Largura	Altura	(kg)
Applied Membranes	SY	SY-12514	100	0,38	1	6.4	36	91	48	43	50
		SY-22514	200	0,76	2	6.4	36	91	48	43	50
		SY-22521	300	1,14	2	6.4	54	91	48	43	50
		SY-12540	400	1,52	1	6.4	102	137	48	42	60
		SY-22540	800	3,03	2	6.4	102	137	48	43	65
		SY-32540	1200	4,55	3	6.4	102	137	48	43	70
		SY-42540	1600	6,06	4	6.4	102	137	48	43	80

Dando seguimento ao assunto, os equipamentos da série S, sistemas comerciais, estão dimensionados para consumos de uma ordem de grandeza bastante superior à série anterior. A capacidade de água tratada vai desde os 7,58 m³/d até aos 500,28 m³/d (2000-132000 GPD). Como se pode prever, estas soluções serão usadas para abastecer aglomerados de dimensões consideráveis. A solução de 500 m³/d dará para alimentar uma população, para o dia de maior consumo, de cerca 2000 pessoas com capitação na ordem dos 150 L/dia/hab. Seria uma solução interessante para se usar num complexo de apartamentos.

Esta série vem, segundo o sítio oficial, equipado com:

- Thin Film Composite Seawater Membranes\ Membranas de OI para água salgada do tipo TFC
- FRP Seawater Pressure Vessels\ Protecção para Membranas em fibra de plástico reforçado, FRP
- Prefilter & Housing\ Pré Filtragem e compartimento
- Stainless Steel Pressure Gauges\ Manómetro de pressão em aço inoxidável
- Stainless Steel Low and High Pressure Switches\ Interruptores de alta e baixa pressão em aço inoxidável
- Stainless Steel Back Pressure Regulator\ regulador de contra-pressão em aço inoxidável
- Low and High Pressure Safeguards\ Válvulas de segurança de alta e baixa pressão
- Stainless Steel High Pressure Pumps\ Bombas de Alta Pressão em Aço Inoxidável
- Pulsation Dampner\ Amortecedor de Vibração
- Pressure Relief Valven\ Válvula de Alívio
- Antiscalant Injection\ Injecção de um anti-escamação.
- Auto Permeate Flush System with Tank, Pump & Controls\ Sistema de descarga do permeado com reservatório bomba e controlos
- Cleaning Ports\ Orifícios de limpeza
- Auto Operation with Level Controls\ Operação automática com controlo de níveis
- Reset Switch to Restart\ Interruptor para Reiniciar o sistema
- Powder Coated Skid\ Corrente anti-derrapante revestida a pó
- Permeate and Concentrate Flowmeters\ Medidores de Caudais Permeados e Concentrados
- Microprocessor Controller. Operating conditions are displayed on an LCD Display with:\ Controlador com microprocessador. Condições da operação são apresentadas num monitor LCD com:

- Delayed Start-Up of High Pressure Pump\ Atrasos no arranque da bomba de alta pressão
- Low and High Pressure Switch\ Interruptores de alta e baixa pressão
- RO and Auxiliary Pump Control Relays\ Control a relé da OI e das bombas auxiliares
- Product Water Quality TDS\ Qualidade da água final em TDS
- Permeate Dump\ Despejo de Permeado
- Membrane Permeate Flush at Each Shut-down\ Descarga do permeado da membrane sempre que se desliga
- RO Storage Tank Full and Low\ Reservatório da OI está cheio ou vazio
- Pretreatment Lock Out\ Ccontrolo do pré-tratamento

No Quadro 4.2 estão descritas as características da série S.

Quadro 4. 2: Características da série S.

Empresa	Série	Modelo	Capacidade		Seawater RO Membranes			Dimensões (cm)			Peso Aprox.
			GPD	m ³ /d	Qtdd.	Diam.	Comp.	Comp.	Largura	Altura	(kg)
						(cm)	(cm)				
Applied Membranes	S	S-24A	2000	7,58	2	10	S/I	254	92	183	545
		S-34A	3000	11,37	3	10	S/I	254	92	183	585
		S-44A	4000	15,16	4	10	S/I	254	92	183	625
		S-64B	6000	22,74	6	10	S/I	340	92	183	765
		S-28B	10000	37,90	2	20	S/I	340	112	183	820
		S-38A	15000	56,85	3	20	S/I	340	112	183	1610
		S-48B	20000	75,80	4	20	S/I	340	112	183	1720
		S-68B	25000	94,75	6	20	S/I	340	112	183	1845
		S-98C	35000	132,65	9	20	S/I	442	112	183	2651
		S-128F	50000	189,50	12	20	S/I	762	112	183	3325
		S-188F	75000	284,25	18	20	S/I	762	112	183	1575
		S-248F	100000	379,00	24	20	S/I	762	112	183	5445
S-308F	132000	500,28	30	20	S/I	762	112	183	6330		

Analogamente à Applied Membranes Inc., os produtos apresentados pela HEM são variados e encontram-se minuciosamente descritos. Nos seus catálogos encontra-se um conjunto de informações bem mais detalhadas e precisas do que as encontradas na empresa anterior.

Verifica-se neste catálogo uma hierarquia na nomenclatura atribuída aos produtos. Para cada produto são apresentados os consumos das diferentes soluções possíveis, bem como um apanhado das características do sistema e o que cada conjunto tem incluído. De seguida, apresenta-se uma série de quadros separados consoante a série a que pertencem. De forma a manter uma melhor organização, as características dos sistemas e os equipamentos que neles estão incluídos também serão colocados na respectiva série.

Em cada uma das séries existe mais que uma opção a tomar consoante o consumo que se pretende. Os sistemas Duplex possuem o dobro da capacidade da série do mesmo número. Estes têm a grande vantagem de que ambas as partes da unidade de tratamento funcionam independentemente uma da outra pelo que pode só estar apenas uma a funcionar, entrando a outra em funcionamento caso seja necessário.

Os dados aqui apresentados são os que contam no catálogo desta empresa, pelo que não é conveniente alterar qualquer tipo de informação. A HEM define, então, as seguintes séries:

- HEM Series 20;

Modelo	Capacidade	
	GPD	m ³ /d
HEM 20/400	400	1,5
HEM 20/800	800	3
HEM 20/1200	1200	4,5

Feedwater flow	Caudal de entrada	13.25 L/min
Max recovery	Recuperação máxima	25 %
Operating pressure (seawater)	Pressão de Operação (água salgada)	850 psi
Max feedwater pressure	Pressão máxima da água à entrada	40 psi
Minimum salt rejection	Rejeição mínima de sal	98.6 %
Power requirement in full operation	Potência necessária em alto desempenho	2 kW
Standard voltage (other voltages available)	Voltagem Comum (mais voltagens disponíveis)	220/1/50
Max feedwater temperature	Temperatura máxima da água à entrada	45 °C
Chlorine tolerance	Tolerância ao Cloro	0.1 ppm
Membrane type	Tipo de Membrana	TFC SW
High pressure pump type	Tipo de bomba de alta pressão	3-Plunger
Total weight standard system (dry)	Peso total do sistema usual (seco)	58-72 kg

- HEM Series 25;

Modelo	Capacidade	
	GPD	m ³ /d
HEM 25/400	400	1,5
HEM 25/800	800	3,0

HEM 25/1200	1200	4,5
HEM 25/1400	1400	5,0

Feedwater flow	Caudal de entrada	15.1 L/min
Max recovery	Recuperação máxima	25 %
Operating pressure (seawater)	Pressão de Operação (água salgada)	850 psi
Max feedwater pressure	Pressão máxima da água à entrada	40 psi
Minimum salt rejection	Rejeição mínima de sal	98.6 %
Power requirement in full operation	Potência necessária em alto desempenho	2,75 kW
Standard voltage (other voltages available)	Voltagem Comum (mais voltagens disponíveis)	380/3/50
Max feedwater temperature	Temperatura máxima da água à entrada	45 °C
Chlorine tolerance	Tolerância ao Cloro	0.1 ppm
Membrane type	Tipo de Membrana	TFC SW
High pressure pump type	Tipo de bomba de alta pressão	3-Plunger
Total weight standard system (dry)	Peso total do sistema usual (seco)	58-72 kg

- HEM Series 30;

Modelo	Capacidade (L/h)
HEM 30/2100	330
HEM 30/3200	500
HEM 30/4000	583

Feedwater flow	Caudal de entrada	2.4 m ³ /h
Permeate flow	Caudal Permeado	
Model HEM 30/2100	Modelo HEM 30/2100	0.33 m ³ /h
Model HEM 30/3200	Modelo HEM 30/3200	0.50 m ³ /h
Model HEM 30/4000	Modelo HEM 30/4000	0.58 m ³ /h
Nominal feedwater salinity	Salinidade da água de entrada	36000 ppm
Nominal feedwater temperature	Temperatura da água de entrada	25 °C
Operating range	Intervalo de operacionalidade	5-35 °C
Feedwater pressure	Pressão da água à entrada	2.0 bar
System pressure	Pressão do sistema	60 bar
Membrane configuration	Configuração da membrana	Espiral

Membrane material	Material da membrana	TFC
Permeate quality	Qualidade da água permeada	De acordo com WHO
Max Prod. water back pressure	Contra-pressão máxima	0.5 bar
Power connection	Ligação à energia	6.6 kW, 400 V, 3 PH, 50 Hz. 17A
Operating weight	Peso do sistema	
HEM 30/2100	HEM 30/2100	200 kg
HEM 30/3200	HEM 30/3200	225 kg
HEM 30/4000	HEM 30/4000	250 kg
Optional sand filter assy.	Filtro de areia.	75 kg

- HEM Series 30 Duplex;

Modelo	Capacidade (L/d)
HEM 30/DUPLEX/2100	2 x 8000
HEM 30/ DUPLEX/3200	2 x 12000
HEM 30/ DUPLEX/4000	2 x 14000

Feedwater flow	Caudal de entrada	2.3 m ³ /h
Permeate flow	Caudal Permeado	
Model HEM 30/DUPLEX/2100	Model HEM 30/DUPLEX/2100	0.33 m ³ /h
Model HEM 30/DUPLEX/3200	Model HEM 30/DUPLEX/3200	0.50 m ³ /h
Model HEM 30/DUPLEX/4000	Model HEM 30/DUPLEX/4000	0.58 m ³ /h
Nominal feedwater salinity	Salinidade da água de entrada	36000 ppm
Nominal feedwater temperature	Temperatura da água de entrada	25 deg. C
Operating range	Intervalo de operacionalidade	5-35 deg. C
Feedwater pressure	Pressão da água à entrada	2.0 bar
System pressure	Pressão do sistema	60 bar
Membrane configuration	Configuração da membrana	espiral
Membrane material	Material da membrane	TFC
Permeate quality	Qualidade da água permeada	De acordo com WHO
Max Prod. water back pressure	Contra-pressão maxima	0.5 bar
Power connection	Ligação à energia	6.6 kW 208V - 3PH - 60 HZ 30 A

		220V - 3PH - 50 HZ 25.5 A
		400V - 3PH - 50 HZ 16.5 A
		460V - 3PH - 60 HZ 14.5 A
Operating weight	Peso do sistema	
HEM 30/DUPLEX//2100	HEM 30/DUPLEX/2100	750 kg
HEM 30/DUPLEX/3200	HEM 30/DUPLEX/3200	770 kg
HEM 30/DUPLEX/4000	HEM 30/DUPLEX/4000	790 kg
Optional sand filter assy.	Filtro de areia.	75 kg

- HEM Series 40;

Modelo	Capacidade (L/h)
HEM 40/2200	375
HEM 40/4200	630
HEM 40/4800	750

Feedwater flow	Caudal de entrada	3.0 m ³ /h
Permeate flow	Caudal Permeado	
Model HEM 40/2200	Model HEM 40/2200	9 m ³ /dia
Model HEM 40/4200	Model HEM 40/4200	15 m ³ /dia
Model HEM 40/4800	Model HEM 40/4800	18 m ³ /dia
Nominal feedwater salinity	Salinidade da água de entrada	36000 ppm
Nominal feedwater temperature	Temperatura da água de entrada	25 °C
Operating range	Intervalo de operacionalidade	5-35 °C
Feedwater pressure	Pressão da água à entrada	2.0 bar
System pressure	Pressão do sistema	60 bar
Membrane configuration	Configuração da membrana	Espiral
Membrane material	Material da membrana	TFC
Permeate quality	Qualidade da água permeada	De acordo com WHO
Max Prod. water back pressure	Contra-pressão máxima	0.5 bar
Power connection	Ligação à energia	8.6 kW, 400 V, 3 PH, 50 Hz
Operating weight (Total frame)	Peso do sistema (conjunto)	710 – 770 kg

- HEM Series 40 Duplex;

Modelo	Capacidade (L/h)
HEM 40/DUPLEX/2200	2 x 375
HEM 40/ DUPLEX/4200	2 x 630
HEM 40/ DUPLEX/4800	2 x 750

Feedwater flow	Caudal de entrada	3.0 m ³ /h
Permeate flow	Caudal Permeado	
Model HEM 40/DUPLEX/2200	Model HEM 40/DUPLEX/2200	9 m ³ /d
Model HEM 40/ DUPLEX/4200	Model HEM 40/ DUPLEX/4200	15 m ³ /d
Model HEM 40/ DUPLEX/4800	Model HEM 40/ DUPLEX/4800	18 m ³ /h
Nominal feedwater salinity	Salinidade da água de entrada	36000 ppm
Nominal feedwater temperature	Temperatura da água de entrada	25 deg. C
Operating range	Intervalo de operacionalidade	5-35 deg. C
Feedwater pressure	Pressão da água à entrada	2.0 bar
System pressure	Pressão do sistema	60 bar
Membrane configuration	Configuração da membrana	spiral wound
Membrane material	Material da membrana	composite
Permeate quality	Qualidade da água permeada	Acc. to WHO
Max Prod. water back pressure	Contra-pressão máxima	0.5 bar
Power connection	Ligação à energia	8.6 KW 400V - 3PH - 50 HZ
Operating weight (Total frame)	Peso do sistema (conjunto)	1210 kg (Dry) 1420 kg (Wet)

- HEM Series 80;

Modelo	Capacidade (m ³ /d)
HEM 80/25	2 x 375
HEM 80/33	2 x 630
HEM 80/40	2 x 750

Feedwater flow	Caudal de entrada	6.0 m ³ /h
----------------	-------------------	-----------------------

Permeate flow	Caudal Permeado	<i>Depende do modelo</i>
Concentrate flow	<i>Caudal do Concentrado</i>	<i>4.54 m³/h</i>
Recovery	<i>Recuperação</i>	<i>25%</i>
Feedwater salinity	Salinidade da água de entrada	<i>36000 ppm</i>
Feedwater temperature	Temperatura da água de entrada	<i>25 deg. C</i>
Operating range	Intervalo de operacionalidade	<i>5-35 deg. C</i>
Feedwater pressure	Pressão da água à entrada	<i>2.0 bar</i>
System pressure	Pressão do sistema	<i>60 bar</i>
Membrane configuration	Configuração da membrana	<i>spiral wound</i>
Membrane material	Material da membrana	<i>TFC composite</i>
Permeate quality	Qualidade da água permeada	<i>acc. to WHO</i>
Max Prod. water back pressure	Contra-pressão máxima	<i>0.5 bar</i>
Power connection	Ligação à energia	<i>17 KW, 400 V, 3 PH, 50 HZ</i>
Dry weight for two systems	Peso seco para 2 sistemas	<i>1250 kg (Total skid)</i>
Operating weight aprox.	Peso do sistema (conjunto)	<i>1500 kg (Total skid)</i>

- HEM Series 80 Duplex.

Por ser uma série mais específica, a empresa pede dados específicos sobre as necessidades do cliente para que o seu dimensionamento possa ser mais personalizado, contudo os elementos básicos da unidade são os mesmos. Apenas vão diferir no modelo a utilizar.

Todas as unidades acima apresentadas têm incluído no seu conjunto os seguintes equipamentos:

- Feedwater pump\Bomba de alimentação
- Cartridge filter\ Cartucho de filtro
- High Pressure pump\ Bomba de alta pressão
- Membrane\ Membrana
- De-acidification System\ Sistema de desacidificação.
- Control Panel\ Painele de Controlo
- Instrumentation\ Instrumentação
- Valves\ Válvulas
- Piping\ Tubos
- Sandfilter\ Filtro de areia
- Membrane Cleaning system\ Sistema de limpeza de membrana

Antes de dar por concluído este ponto, é importante lembrar que em qualquer sistema de osmose inversa, antes de a água salgada chegar às membranas necessita de um bom pré-tratamento. Os sistemas da HEM já têm incorporado no conjunto uma unidade de pré-tratamento – Filtro de areia – e outra de pós-tratamento – *De-acidification system*. A primeira vai garantir que os sólidos em suspensão fiquem retidos, enquanto o segundo vai ser responsável pela correcção da acidez, devida ao excesso de dióxido de carbono livre, da água no final do processo.

Existem outros componentes essenciais para que uma solução deste género se concretize. É, então, necessário prever um sistema de captação de água e armazenamento de água e um sistema de eliminação da salmoura resultante.

Muito sumariamente os equipamentos que devem constar no sistema de captação são:

- Bomba;
- Reservatório;
- Tubagens e acessórios.

Para além das exigências normais que se fazem para estes órgãos, acresce a necessidade de estes serem revestidos com materiais não corrosivos.

Finalizando, então, este ponto resta apenas dizer que uma solução deste género só é viável nos empreendimentos que se situam perto da costa. Caso contrário, os custos de instalação disparariam, fazendo com que esta solução caísse por terra.

4.3 HABITAÇÃO SUSTENTÁVEL

Face às soluções apresentadas, poder-se-á, então, idealizar um sistema de abastecimento de água suficiente e quase independente da água distribuída através da rede pública.

Imagine-se, então, uma habitação unifamiliar no litoral norte de Portugal, localizada próxima do mar (cerca de 500 m). Está situada numa zona do país onde a pluviosidade está de acordo com os valores médios anuais. Nesta casa habita uma família em cujo agregado se contabilizam 4 pessoas. Trata-se de uma residência fixa pelo que os consumos estão de acordo com os padrões normais – 150 L/dia/hab. A moradia está rodeada de um jardim de dimensões médias (500 m²).

Criado então um cenário favorável ao uso de um sistema de aproveitamento das águas pluviais e de uma unidade de osmose inversa para dessalinização, passa-se para uma escolha do tipo de soluções a adoptar. Lembra-se que isto é um exercício onde não foram calculados quaisquer valores das variáveis envolvidas num exercício deste tipo.

Para que a habitação seja auto-sustentável, deverá existir uma boa ligação entre o uso das águas pluviais e a água do mar. Sempre que possível, deve usar-se a água das chuvas nas actividades domésticas que não exijam qualidade elevada da água, como já foi anteriormente referido neste capítulo. Assim sendo, o SAAP deve abastecer as máquinas de lavar roupa e loiça, sanitários e todo o sistema de torneiras e rega que se encontrem no exterior.

Então, face a um conjunto de alternativas para o aproveitamento da água das chuvas apresentadas pelas diversas empresas do sector, sugere-se o recurso ao Sistema Modular Carat implementado pela empresa GRAF. Este sistema fica, então, assim composto:

- Tanque CARAT (dimensão a definir);
- Tampa CARAT MAXI;

- Pack de filtragem Optimax;
- Pack Técnico Profissional casa-jardim

O motivo da escolha deste sistema é que tanto permite abastecer o interior de uma casa como o jardim. Por ser um sistema vendido em conjunto, o preço praticado pela companhia poderá ser mais baixo do que se as peças fossem compradas avulsas. Há, também, a garantia de que as peças encaixam todas sem problemas.

No entanto, o mais difícil é a escolha da unidade de osmose inversa, pois esta deve não só garantir os consumos básicos da família, mas, também, tem que, em tempos de seca, conseguir suportar os consumos que até aqui eram garantidos pelo SAAP. O ideal seria usar um sistema do género dos sistemas Duplex apresentados pela HEM, mas esses estão destinados a abastecer empreendimentos com consumos mais elevados do que neste caso. Por isso, sugere-se a escolha de uma unidade que satisfaça as necessidades de consumo médio anual de uma família com aquela dimensão. Naturalmente que existem factores que ultrapassam a pessoa que sugere os sistemas de OI, tais como o número de população flutuante na habitação e os hábitos de consumo daquela família, que podem ser determinantes na escolha da melhor solução.

Contudo, e não entrando nesse tipo de pormenores, sugere-se, então, o produto Watermaker-mini da Applied Membranes Inc. Série SY modelo SY-22521 cuja capacidade de produção água potável é de 1.4 m³/dia, valor que parece suficiente para garantir os consumos básicos de uma família de quatro pessoas. A HEM também oferece uma solução interessante e aplicável neste caso. Trata-se do modelo HEM 20/400 cuja produção diária de água é de cerca de 1.5 m³/dia.

Mesmo sendo uma habitação auto-suficiente em recursos hídricos, convém sempre manter a ligação à rede pública como solução alternativa em caso de avaria do sistema de OI. Tendo em conta a difícil alteração de mentalidades, poder-se-á conservar uma ligação à rede pública apenas para ser usada para consumo humano – especialmente para cozinhar e beber – uma vez que existem ainda reservas e preconceitos em relação ao consumo de água dessalinizada. Todavia, o ideal seria, de facto, apenas recorrer a água da rede pública em situações de emergência.

5.

CONCLUSÕES

Mais do que um ponto de chegada, este trabalho visou ser um ponto de partida para a reflexão e ponderação do uso de águas alternativas como forma de evitar o esgotamento dos recursos hídricos doces disponíveis.

Numa primeira abordagem, foi apresentado o problema da escassez de água, centrando as atenções em Portugal. Constatou-se que Portugal atravessa uma crise de escassez de água profunda, sendo a zona Sul do país a que apresenta a situação mais grave. Foram apresentadas várias causas para o problema da escassez de água, nomeadamente os consumos desmesurados e a falta de consciência de que a água é um bem escasso. Face a este sério problema, várias medidas foram apresentadas com o intuito de inverter a situação actual. Para além ser necessário consciencializar as populações do problema sério e real que a escassez de água constitui, é necessário procurar novas formas de captação de água como forma de combater as causas desta situação. Foram, então, indicados dois recursos hídricos alternativos à água doce dos rios: as águas pluviais e a água do mar. Foi dada especial atenção neste trabalho ao uso da água do mar, por ser a que se encontra menos aproveitada no país e a que tem o maior potencial de utilização.

Numa segunda fase do trabalho foi abordado o tema da dessalinização da água do mar. Neste ponto, foram introduzidas e explicadas as diversas técnicas de dessalinização em uso corrente e, também, o que se está a desenvolver para aplicações futuras. De todas as técnicas, a osmose inversa foi a escolhida para ser tratada com mais detalhe neste relatório, por ser das técnicas mais promissoras e fáceis de aplicar no futuro.

Sendo necessário o desenvolvimento futuro de sistemas sustentáveis e alternativos ao sistema actual de abastecimento de água, foram criados sistemas de aproveitamento de águas pluviais e sistemas de dessalinização como forma de combater a tendência actual. Na terceira parte do trabalho foi elaborada uma contextualização actual de como funciona um sistema de abastecimento de água em Portugal, apresentando-se um rumo a tomar para a sustentabilidade hídrica. Constatou-se que ainda há um longo caminho a percorrer até que grande parte dos edifícios em Portugal sejam sustentáveis em recursos hídricos. Foram indicados os principais aspectos sobre os quais se devem começar a concentrar os esforços para caminhar para a sustentabilidade.

Finalmente, procedeu-se à descrição de um sistema de aproveitamento da água das chuvas e apresentou-se um conjunto de soluções possíveis para uma central de osmose inversa. Com essas informações, foi adiada uma solução possível para que uma habitação possa ser sustentável em recursos hídricos.

A sustentabilidade pode ter, inicialmente, custos elevados, que são, porém, relativamente fáceis de recuperar. O problema do recurso a águas tratadas como alternativa às captadas naturalmente ainda não está resolvido, e será necessária grande sensibilização pública para que a água proveniente da

dessalinização seja admitida como própria para consumo humano por parte de uma população alargada. Todavia, se é verdade que começa a haver campanhas de divulgação e promoção das energias renováveis para consumo doméstico, talvez do mesmo modo possam ser criadas campanhas que anunciem a dessalinização e recuperação de águas pluviais como alternativa real à extracção de águas em meio natural. No final, procura-se um mesmo objectivo: um planeta mais azul e mais habitável para os nossos sucessores.

BIBLIOGRAFIA

- Cunha, L. V., et al. (1980) *A Gestão da Água. Princípios fundamentais e sua aplicação em Portugal* Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- Cupeto C. (2001) *A água é só uma, superficial ou subterrânea, doce ou salgada: o recurso; o meio e o ecossistema* Separata da revista ANAIS da Universidade de Évora n.ºs 10 e 11, Dezembro de 2002, p. 157-174, Universidade de Évora, Évora
- Ferreira, M. R. (1999) *Águas doces, águas salgadas: da funcionalidade dos motivos aquáticos na Cantiga de Amigo*. Granito Editores e Livreiros, Porto
- Ferreira T. (2008) *Studio del bacino del Douro. Caso particolare di Porto*. Corso di Gestioni dei Sistemi Idrici, Università degli Studi di Firenze Facoltà di Ingegneria
- Miller J.E. (2003) *Review of Water Resources and Desalination Technologies*. M. Kevin Price, Denver
- Mulder, M. (2000) *Basic Principles of Membrane Technology* Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Oliveira F. (2008) *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental – Simulador para avaliação de viabilidade*. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Técnico
- Oltra, F. O., Lobaton F. T. (1972) *La Desalacion y su situación en España* Junta de Energia Nuclear, Madrid.
- Rautenbach R., Albrecht R. (1989) *Membrane Processes* John Wiley & Sons, Chichester
- Semiati R (2000) *Desalination: Present and Future*. Water International, Março/2000, p. 54-65, International Water Resources Association, Carbondale <http://www.cepis.org.pe/acrobat/israel.pdf> (20/05/2009)
- Spiegler, K. S. (1966) *Principles of Desalination* Academic Press, New York
- Verdade J. (2008) *Aproveitamento de água das chuvas e Reutilização de águas cinzentas*. Dissertação de Mestrado. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- West M. et al. (ano desconhecido) *Avaliação de Segurança de Barragens. Uma Comparação Entre as Abordagens Britânica e Portuguesa*. <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/114.pdf> (18/06/2009)
- Wilf M., Bartels C. (2004) *Optimization of seawater RO systems design*. Desalination, 1/Março/2005, p. 1-12, Elsevier B.V., Amsterdam.
- WHO (2007) *Desalination for Safe Water Supply*. http://www.who.int/water_sanitation_health/gdwqrevision/desalination.pdf (20/05/2009)
- Younos T., Tulou K. E. (2005) *Overview of Desalination Techniques*. Journal of Contemporary Water Research & Education Issue, Dezembro/2005, p. 3-10, Universities Council on Water Resources <http://www.ucowr.siu.edu/updates/132/2.pdf> (20/05/2009)

WEBGRAFIA

- <http://www.entropie.com/en/services/desalination/MED/> (8/Junho/2009)
- <http://snirh.pt/> (12/Junho/2009)
- <http://www.mundoportugues.org/content/1/1272/portugal-tem-das-bacias-hidrograficas-mais-exploradas/> (19/Junho/2009)
- <http://www.keele.ac.uk/depts/ec/wpapers/kerp0219.pdf> (22/Junho/2009)
- <http://www.unep.or.jp> (27/Junho/2009)v
- <http://www.allproducts.com/environment/booster/Product-2007711171548-1.jpg> (28/Junho/2009)
- <http://www.graf.pt/Home/tabid/36/Default.aspx> (13/Julho/2009)
- <http://www.wisy.de/index.htm> (13/Julho/2009)
- <http://www.ecoagua.pt/index.php> (13/Julho/2009)
- <http://www.3ptechnik.com/en/home.html> (13/Julho/2009)
- <http://www.kessel.de/index.html.en> (13/Julho/2009)
- <http://figueiranafoz.blogspot.com/2009/02/aproveitamento-de-aguas-pluviais.html> (14/Julho/2009)
- <http://www.appliedmembranes.com/default.htm> (14/Julho/2009)
- <http://www.cranenv.com/> (13/Julho/2009)
- <http://www.hemwater.com/> (13/Julho/2009)
- <http://www.hpwatermaker.it/index.cfm> (12/Julho/2009)
- <http://www.freedrinkingwater.com/index.htm> (13/Julho/2009)
- <http://www.pure-aqua.com/about.htm> (13/Julho/2009)
- <http://www.tecnifiltro.pt/> (12/Julho/2009)
- <http://www.prominent.pt/desktopdefault.aspx/> (10/Julho/2009)
- <http://www.repara.com/pt/services.html> (10/Julho/2009)
- http://www.divaguas.pt/s/index.php?option=com_frontpage&Itemid=1 (10/Julho/2009)