



**Nuno Falcão de Castro Melo**

Licenciado em Ciências de Engenharia do Ambiente

**Dessalinização, Reciclagem e Reutilização de água:  
Estudo de alternativas para diferentes usos face às  
disponibilidades – caso de estudo ilha de Porto Santo**

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em  
Engenharia do Ambiente

**Perfil de Engenharia Sanitária**

Orientador: Professor Doutor Pedro Manuel da Hora Santos  
Coelho, Professor Auxiliar da FCT/UNL

Júri:

Presidente: Prof. Doutor António Pedro de Macedo Coimbra Mano

Arguente: Prof. Doutora Leonor Miranda Monteiro do Amaral

Vogal: Prof. Doutor Pedro Manuel da Hora Santos Coelho



FACULDADE DE  
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

**Outubro 2015**



**Dessalinização, Reciclagem e Reutilização de água: Estudo de alternativas para diferentes usos face às disponibilidades – caso de estudo ilha de Porto Santo**

© Nuno Falcão de Castro Melo

Faculdade de Ciências e Tecnologia

Universidade Nova de Lisboa

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.



## **Agradecimentos**

A realização desta dissertação de mestrado contou com apoios e incentivos importantes, sem os quais não se teria tornado realidade e pelos quais estarei para sempre grato.

Ao Professor Doutor Pedro Santos Coelho, pela orientação, total apoio, disponibilidade, opiniões e críticas, total e atempada colaboração no solucionar de dúvidas e problemas que foram surgindo e também pela excelente relação e à vontade durante todo o período de elaboração da dissertação.

Às Águas e Resíduos da Madeira, principalmente ao Eng.º Nuno Jorge Escórcio Pereira, pela disponibilidade e colaboração, essenciais para esta dissertação.

Ao pessoal administrativo do golfe da Quinta do Perú, pelas informações trocadas e pela disponibilidade e simplicidade no fornecimento de dados.

A todos os docentes da FCT UNL que me acompanharam no meu percurso académico, aos quais estarei eternamente grato.

A todos os meus colegas de curso e em especial ao grupo dos Fixes, os únicos e verdadeiros.

Ao Eng.º Ricardo Palácios Moniz Rebelo, pela ajuda, troca de ideias e sobretudo por ser sempre um amigo com muita paciência.

À minha família, por ser um modelo de coragem, pelo apoio incondicional, incentivo, amizade e paciência demonstrados. Ao meu irmão, por ser uma peste, à minha Mãe, pela constante insistência para terminar a dissertação e ao meu Pai, pela disponibilidade, ajuda e facultações de contactos sem os quais não conseguiria chegar onde cheguei. Esta dissertação é lhes dedicada.



## Resumo

Diversos autores e organizações afirmam que as disponibilidades de água doce no planeta são cada vez mais escassas face às crescentes necessidades. Como forma de combater os problemas associados à escassez de água têm surgido por todo o mundo novas abordagens e tecnologias relativas ao aproveitamento dos recursos hídricos. As disponibilidades hídricas, já não são suficientes para suprir a totalidade das necessidades em alguns locais no mundo.

Para combater o aumento da pressão ao nível das necessidades de água, foram surgindo tecnologias alternativas para a produção de água para diferentes usos. A dessalinização, que passa pela remoção de sais da água e posterior remineralização, é utilizada quando existe um défice hídrico impossível de ser suprido pelas disponibilidades hídricas naturais, isto é, apenas é viável quando existe carência física de água numa determinada região. Por outro lado, a reutilização de águas residuais tratadas surge como forma de reaproveitar um recurso para fins maioritariamente não potáveis. Contudo, existem determinados locais, como por exemplo na Namíbia, em que as disponibilidades hídricas não são, de todo, suficientes para fazer face às necessidades, trazendo o conceito de reutilização de água residual tratada a outro patamar: os usos directos para potabilização através de águas residuais urbanas tratadas.

Como exemplo de utilização de novas tecnologias e gestão das disponibilidades *versus* necessidades, a ilha do Porto Santo, no arquipélago da Madeira, foi considerada como caso de estudo, dado que o sistema de distribuição do Porto Santo é de origens múltiplas e os seus recursos hídricos naturais apresentam-se escassos face às necessidades. Assim, foi realizado um estudo qualitativo e quantitativo das correspondentes disponibilidades e necessidades, bem como a elaboração de diversos cenários que simulam problemas pontuais. Foram ainda calculados os custos de exploração associados à dessalinização e tratamento de águas residuais para cada cenário, bem como a comparação entre os resultados obtidos para cada um. Para tal, foram utilizados dados referentes às Águas e Resíduos da Madeira (2015), ao Campo de golfe da Quinta do Perú (2015), a dados estatísticos presentes na Direcção Regional de Estatística da Madeira (2013 e 2008) e alguns trabalhos sobre a hidrogeologia e qualidade dos recursos hídricos naturais existentes no Porto Santo (1994, 1997 e 2001).

Quanto às condições hídricas actuais no Porto Santo, os resultados revelaram que não existem problemas de abastecimento, isto é, as disponibilidades de água são suficientes para cobrir as necessidades evidenciadas. Contudo, e principalmente durante os meses de verão, as necessidades para as quais se exige uma água de qualidade inferior, isto é, a agricultura e a rega do campo de golfe, apresentam-se superiores às disponibilidades de qualidade inferior, pelo que se tem de recorrer à dessalinizadora para suprir esses consumos menos exigentes em termos de qualidade. Este indicador revela ineficiência e, conseqüentemente, essa ineficiência revela-se nos custos finais de produção de água. Pode-se afirmar que quanto maior for a necessidade de dessalinização compensatória, isto é, a necessidade de compensar com água potável as necessidades que requerem uma qualidade de água inferior, maior será a ineficiência global do processo e mais altos serão os custos de exploração anuais.

**Palavras chave:** dessalinização; reutilização; águas residuais urbanas tratadas; saneamento; abastecimento; disponibilidades; necessidades.



## Abstract

Several entities and authors confirm it, Earth's freshwater resources are showing scarcity, a phenomena that is directly connected to the increase of freshwater needs. To face this problem, new technologies and different approaches to water resources have been evolving increasingly faster throughout the world. The natural hydric availability, in many parts of the world, show a decreasing capacity to suppress the needs of water in their totality.

In order to fight the increasing needs and decreasing availabilities of freshwater, new technologies have been emerging to produce and treat water. Desalination, which is the process in which salt water gets transformed into freshwater, turns out to be a backup process, meaning it is used when there is an hydric deficit incapable of being suppressed through the natural freshwater resources. On the other hand, wastewater recycling appears has a form of reusing a resource to meet, in their majority, non-potable ends, avoiding the use of water which had an excessive treatment for the ends met. Yet, in a few countries around the world, like Namibia, where natural freshwater resources are very scarce, wastewater recycling jumps to another level: the direct potable use.

Has an example of new technology uses and availability versus needs management, the Porto Santo island, located in Madeira archipelago, Portugal, has figured as object of study, which took into account the multiple water source system and the scarcity of natural freshwater bodies. So, a quality and quantity study of Porto Santo's water availability has been developed in the present study, as well as an elaboration of various scenarios that simulate punctual problems associated with the natural events that go along and, in a way, could compromise Porto Santo's water supply systems. Further, the costs associated with desalination and wastewater treatment for each scenario have been calculated, as well as a comparison amongst the different results. For the present work, the data used refers to Águas e Resíduos da Madeira (2015), Quinta do Perú golf course (2015), statistic data from Direcção Regional e Estatística da Madeira (2013 and 2008) and some works about the hydrogeology and quality of the natural freshwater resources that occur in Porto Santo (1994, 1997 and 2001).

According to the results, Porto Santo's water supply systems are not at risk, that is, the availability of water is sufficient to cover the needs observed. Nevertheless, in the summer period, the needs that require an inferior water quality, that is, agriculture and the irrigation of the golf course, present themselves has superior to the availability of water of inferior quality, which means there is a need for desalination to suppress the remaining needs. This can be considered has a lack of efficiency in the global water supply process, and, on the other hand, this inefficiency reveals itself in the final costs of the water desalination process. In other words, the bigger the compensation with desalinated water, that is, the need to compensate with potable water to ends that don't require such an elaborate treatment, the bigger the inefficiency observed in the global process and the higher the costs associated.

**Keywords:** desalination, reuse, recycling, urban treated wastewater, sanitation, water supply, water availability, water needs.



## Índice

1) Introdução .....	1
1.1) Enquadramento.....	1
1.2) Objectivos.....	2
1.3) Estrutura da dissertação.....	2
2) Revisão bibliográfica .....	3
2.1) Necessidades: consumo de água .....	3
2.2) Disponibilidades: Índice de stress hídrico.....	7
2.3) As diferentes origens de água .....	10
2.4) Água doce superficial.....	14
2.4.1) Origem e caracterização .....	14
2.4.2) Composição e potabilização .....	14
2.5) Água doce subterrânea.....	17
2.5.1) Origem e caracterização .....	17
2.5.2) Composição e potabilização .....	18
2.6) Água salgada .....	19
2.6.1) Origem e caracterização .....	19
2.6.2) Composição e potabilização .....	19
2.6.3) Impactes da dessalinização .....	20
2.6.4) Processos e tecnologias de dessalinização .....	21
2.6.5) Fontes de energia alternativas.....	23
2.7) Água pluvial.....	25
2.7.1) Origem e Caracterização .....	25
2.7.2) Composição e potabilização .....	26
2.7.3) Impactes dos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP).....	26
2.7.4) Processos e tecnologias dos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais .....	27
2.8) Reciclagem e Reutilização de água residual .....	28
2.8.1) Tratamento de águas residuais para reutilização .....	29
2.8.2) Tecnologias de desinfecção em ARUT .....	30
2.8.2.1) Cloragem.....	31
2.8.2.2) Ozonização .....	31
2.8.2.3) Radiação Ultravioleta .....	32
2.8.3) Sistemas MBR .....	33

2.8.4) Impactes das águas residuais urbanas tratadas .....	34
2.8.5) Normas para águas residuais urbanas tratadas em Portugal continental .....	35
2.9) Sistemas de abastecimento e saneamento de água .....	36
2.9.1) Sistemas duais e sistemas múltiplos de abastecimento .....	37
3) Caso de estudo .....	39
3.1) Metodologia .....	39
3.2) Caracterização da ilha do Porto Santo .....	41
3.2.1) Clima e características edafoclimáticas .....	41
3.2.2) Economia .....	42
3.2.3) Demografia .....	42
3.2.4) Reservas estratégicas de armazenamento de água .....	44
3.3) Disponibilidades de água em Porto Santo .....	46
3.3.1) Disponibilidades de dessalinização .....	46
3.3.2) Disponibilidades pluviais .....	48
3.3.3) Disponibilidades superficiais e subterrâneas .....	48
3.3.3.1) Captações .....	49
3.3.3.2) Qualidade da Água Subterrânea .....	52
3.3.3.3) Qualidade das Águas Superficiais .....	53
3.3.3.4) Balanço hídrico das disponibilidades naturais do Porto Santo .....	53
3.3.4) Disponibilidades das Águas Residuais Urbanas Tratadas do Porto Santo .....	56
3.3.4.1) Características das águas residuais urbanas tratadas .....	57
3.3.4.2) Caudal de águas residuais urbanas tratadas disponível .....	58
3.3.5) Disponibilidades totais .....	61
3.4) Necessidades de água no Porto Santo .....	63
3.4.1) Necessidades urbanas .....	63
3.4.2) Necessidades da indústria .....	66
3.4.3) Necessidades do campo de golfe .....	67
3.4.4) Necessidades da agricultura e pecuária .....	70
3.4.5) Necessidades totais .....	71
3.5) Determinação do cenário de abastecimento base .....	72
3.5.1) Armazenamento no açude do Tanque .....	78
3.5.2) Validação do cenário base .....	80
3.5.3) Custos de tratamento residual e abastecimento potável .....	82

3.6) Determinação de cenários limite.....	84
3.6.1) Cenário 1: Ano seco.....	84
3.6.2) Cenário 2: ETAR falha durante 3 semanas, em Agosto.....	91
3.6.3) Cenário 3: Aproveitamento máximo teórico das disponibilidades naturais .....	95
3.6.4) Cenário 4: ETAR à capacidade máxima.....	98
3.6.5) Cenário 5: Fase 2 do campo de golfe.....	100
3.6.6) Cenário 6: Fase 2 do campo de golfe e ETAR à capacidade máxima.....	105
3.6.7) Comparação dos custos entre os diferentes cenários.....	109
3.7) Incertezas metodológicas .....	114
4) Conclusões e perspectivas para trabalhos futuros .....	115
5) Referências bibliográficas.....	121
Anexos.....	127



## Índice de figuras

Figura 1 - Distribuição de água no Planeta Terra.....	1
Figura 2 - Usos de água por sector e por origem no mundo .....	4
Figura 3 - Procura total de água em Portugal.....	5
Figura 4 - Usos estritamente urbanos em Portugal.....	5
Figura 5 - Usos domésticos/públicos em Portugal.....	6
Figura 6 - Custos efectivos de produção de água .....	6
Figura 7 - Disponibilidade de água doce por habitante no ano 2000 .....	7
Figura 8 - Califórnia, <i>Oroville Lake in ButteCounty</i> : Antes e depois da seca .....	8
Figura 9 - Índice de stress hídrico verificado na Europa.....	9
Figura 10 - Reutilização de águas residuais urbanas tratadas, referente a 1 % do total produzido.....	13
Figura 11 - Bacia hidrográfica de um rio .....	14
Figura 12 - Esquema-tipo de uma ETA para tratamento de águas superficiais .....	16
Figura 13 - Esquema-tipo para tratamento de águas subterrâneas em ETA.....	18
Figura 14 – ER aplicadas à dessalinização .....	23
Figura 15 - Sistema de abastecimento e drenagem de águas .....	37
Figura 16 – Representação esquemática da metodologia proposta .....	40
Figura 17 - Açude do Tanque.....	44
Figura 18 – Dessalinizadora do Porto Santo .....	46
Figura 19 - Unidades de osmose inversa .....	47
Figura 20 - Hidrologia subterrânea da ilha do Porto Santo.....	49
Figura 21 – Nora no Porto Santo .....	50
Figura 22 - Poços e Noras na ilha do Porto Santo.....	50
Figura 23 - Galerias na ilha do Porto Santo.....	51
Figura 24 – ETAR da Ponta .....	56
Figura 25 - Disponibilidades médias: Verão vs resto do ano.....	62
Figura 26 - Fase 1 do campo de golfe do Porto Santo .....	68
Figura 27 - Fase 2 do campo de golfe do Porto Santo .....	68
Figura 28 - Necessidades médias - verão <i>versus</i> resto do ano.....	71
Figura 29 – Distâncias entre ETAR e campo de golfe/açude do Tanque.....	80
Figura 30 - $F(x)$ empírico <i>versus</i> $F(z)$ .....	85
Figura 31 – Custos exploração totais anuais .....	110
Figura 32 - Custo anual total de dessalinização .....	111
Figura 33 – Custos de dessalinização compensatória total.....	112
Figura 34 - Custo de dessalinização compensatória anual para o campo de golfe .....	113



## Índice de tabelas

Tabela 1 - Disponibilidades e consumos de água no mundo. ....	3
Tabela 2 - Distribuição da utilização das origens no Mundo .....	11
Tabela 3 - Esquemas convencionais de tratamento de água .....	15
Tabela 4 - Salinidade nos principais oceanos e mares .....	20
Tabela 5 - Sólidos suspensos e matéria orgânica em águas marinhas .....	20
Tabela 6 - Tecnologias de dessalinização .....	22
Tabela 7 - Tratamento e usos de água reciclada para fins não potáveis .....	30
Tabela 8 – Vantagens e desvantagens da utilização de cloro como desinfectante .....	31
Tabela 9 - Vantagens e desvantagens da utilização de ozono como desinfectante .....	32
Tabela 10 - Vantagens e desvantagens da utilização de UV .....	33
Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos sistemas MBR .....	34
Tabela 12 - Condicionantes/impactes associados à reutilização de efluentes urbanos tratados .....	34
Tabela 13 - Características físicas da ilha do Porto Santo .....	41
Tabela 14 - Precipitação em Porto Santo .....	41
Tabela 15 - Temperatura em Porto Santo .....	42
Tabela 16 - Dados populacionais segundo .....	43
Tabela 17 - Nr.º de Hóspedes consoante tipo de residência .....	44
Tabela 18 - Volumes mensais estimados para as disponibilidades hídricas naturais .....	55
Tabela 19 - Característica das ARUT na ETAR da Ponta .....	57
Tabela 20 - Produção de água residual da população residente .....	59
Tabela 21 - Produção de águas residuais da população flutuante .....	60
Tabela 22 - Produção total de águas residuais urbanas .....	61
Tabela 23 - Disponibilidades médias no Verão e no resto do ano, referentes ao cenário base	61
Tabela 24 - Caudal necessário para abastecimento da população residente .....	64
Tabela 25 - Caudal necessário para abastecimento da população flutuante .....	65
Tabela 26 – Caudal necessário para o abastecimento urbano .....	66
Tabela 27 – Necessidades industriais .....	67
Tabela 28 – Necessidades de água para rega do campo de golfe de Porto Santo .....	69
Tabela 29 - Estimativa necessidades de água para rega do campo de golfe de Porto Santo ...	69
Tabela 30 - Necessidades de água para a agricultura em Porto Santo .....	70
Tabela 31 – Necessidades médias .....	71
Tabela 32 - Pressupostos de qualidade .....	73
Tabela 33 - Opções prioritárias para as diferentes disponibilidades, tendo em conta a qualidade das origens .....	74
Tabela 34 - Necessidades de abastecimento de água médias e pressupostos de qualidade ...	75
Tabela 35 – Disponibilidades médias de água .....	75
Tabela 36 – Necessidade média diária <i>versus</i> disponibilidade média diária .....	76
Tabela 37 - Balanço hídrico: disponibilidades <i>versus</i> necessidades, cenário base .....	77

Tabela 38 - Cenários de acumulação no açude do Tanque .....	79
Tabela 39 – Estimativas para abastecimento do campo de golfe.....	81
Tabela 40 - Validação do modelo: dados disponibilizados <i>versus</i> estimativas .....	81
Tabela 41 - Custos de tratamento de águas residuais e de dessalinização .....	82
Tabela 42 - Custos de dessalinização por utilizador.....	83
Tabela 43 - Cenários limite .....	84
Tabela 44 - Número de anos, média e desvio padrão da série de precipitação disponível para Porto Santo.....	84
Tabela 45 - Análise estatística .....	85
Tabela 46 – Validação pelo método de <i>Kolmogorov-Smirnov</i> .....	86
Tabela 47 – Anos característicos para o regime de precipitação em Porto Santo.....	86
Tabela 48 - Distribuição de volumes das disponibilidades hídricas naturais para o ano seco...	87
Tabela 49 - Balanço hídrico cenário 1 .....	88
Tabela 50 - Cenários de acumulação no açude do Tanque .....	90
Tabela 51 – Custos de dessalinização .....	91
Tabela 52 – Situações típicas de <i>bypass</i> numa ETAR.....	91
Tabela 53 – Balanço hídrico cenário nr.º 2 .....	93
Tabela 54 – Cenários de acumulação no açude do Tanque .....	94
Tabela 55 - Custos de dessalinização .....	95
Tabela 56 - Balanço hídrico cenário 3 .....	96
Tabela 57 - Cenários de acumulação no açude do Tanque .....	97
Tabela 58 - Custos de dessalinização .....	98
Tabela 59 - Balanço hídrico cenário 4 .....	99
Tabela 60 - Custos cenário 4 .....	100
Tabela 61 - Balanço hídrico cenário 5 .....	102
Tabela 62 - Cenários de acumulação no açude do Tanque .....	103
Tabela 63 - Capacidade da dessalinizadora em suprir compensações .....	104
Tabela 64 - Custos de dessalinização .....	104
Tabela 65 - Balanço hídrico cenário 6 .....	106
Tabela 66 - Cenários de acumulação no açude do Tanque .....	107
Tabela 67 - Capacidade da dessalinizadora em suprir compensações .....	108
Tabela 68 - Custos de dessalinização .....	108
Tabela 69 - Custos de exploração anuais para os vários cenários .....	110

## **Abreviaturas**

ADN - Ácido Desoxirribonucleico

APA – Agência Portuguesa do Ambiente

AREAM - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira

ARM – Águas e Resíduos da Madeira

ARN - Ácido Ribonucleico

ARUT – Águas Residuais Urbanas Tratadas

DQA – Directiva Quadro da Água

DREM – Direcção Regional de Estatística da Madeira

EEA – *European Environmental Agency*

EE - Estação Elevatória

ER – Energia Renovável

ETA – Estação de Tratamento de Água

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais

EUA – Estados Unidos da América

IGA – Investimentos e Gestão das Águas

IPMA – Instituto Português do Mar e Atmosfera

IPQ – Instituto Português da Qualidade

MBR – Bioreactor de Membrana (*Membrane Bioreactor*)

NP – Norma Portuguesa

OCDE – *Organisation for Economic Co-operation and Development*

OMS – Organização Mundial de Saúde

PS – Porto Santo

PAESIPS - Plano de Acção para a Energia Sustentável de Porto Santo

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PVC – *Polyvinyl chloride*

RASARP – Relatório Anual dos Serviços de Águas e Resíduos em Portugal

SAAP – Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais

UE – União Europeia

UN – Nações Unidas (*United Nations*)

US EPA – *United States Environmental Protection Agency*

UV – Ultravioleta

VG – Valor Guia

VI – Valor Imperativo

VMA – Valor Máximo Admissível

VMR – Valor Máximo Recomendado

WWDR – *World Water Development Report*

# 1) Introdução

## 1.2) Enquadramento

As origens de água tornaram-se uma peça chave na organização de todas as civilizações humanas, actuando como um condicionante fundamental na sua fixação (Hopkinson e Vallino, 1995). Durante milénios, a água foi utilizada para os mais diversos fins e foi considerada como um recurso inesgotável. Todavia, e num passado mais recente, como consequência das pressões antropogénicas e do crescimento populacional sentidos ao longo dos anos, a procura de água mostrou-se superior às disponibilidades em determinadas zonas, revelando escassez (Seckler *et al.*, 1999). Nem toda a água existente no planeta se encontra disponível para produção de água potável. Menos de 1 % de toda a água existente no Planeta está disponível sobre a forma de água doce líquida, de acordo com o mostrado na Figura 1 (Fetter, 1992).

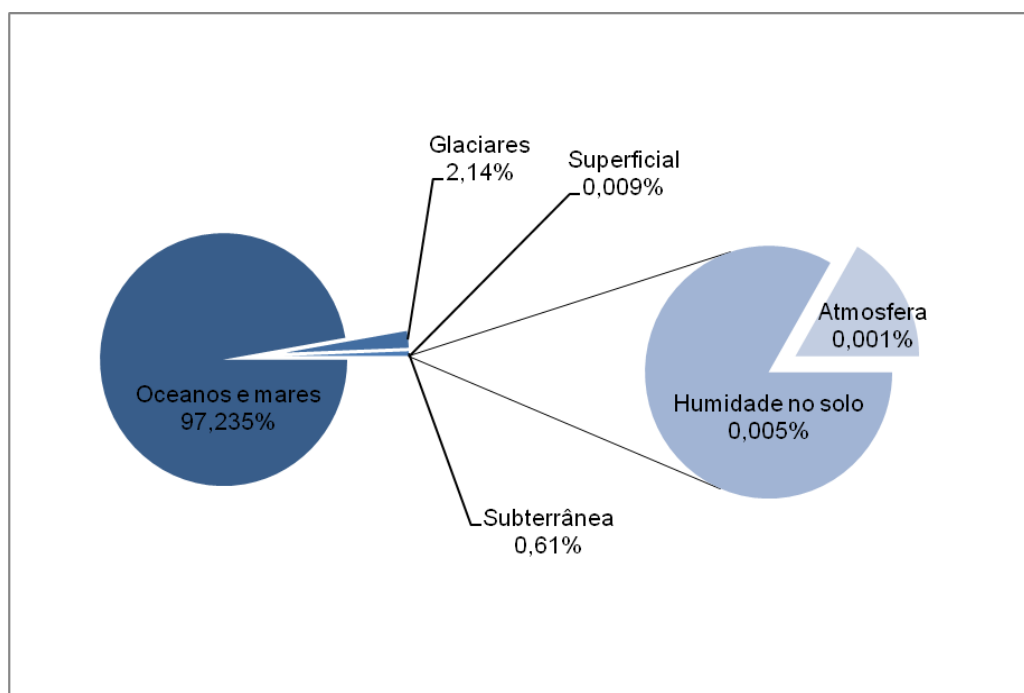


Figura 1 - Distribuição de água no Planeta Terra (adaptado de Fetter, 1992).

Ao contrário de outros recursos, a água não tem qualquer bem substituto para a maioria dos seus usos. O seu transporte é economicamente impraticável, tanto para fins agrícolas como industriais, por mais de umas centenas de quilómetros, sendo portanto, considerada um recurso de grande valor em determinadas regiões do planeta (Degremont, 2007). A falta de água, acarreta consigo não só graves consequências ecológicas, como consequências para a sociedade humana, que se podem traduzir em baixas produções industrial, num mau funcionamento da agricultura, em riscos para a saúde pública e num aumento da probabilidade de conflitos internacionais (WWAP, 2009).

Segundo Rebouças (1999), a acção conjunta das mudanças climáticas, das pressões antropogénicas e do aumento da procura deste recurso, criam um ciclo negativo no processo de depuração, na quantidade e na qualidade das origens de água.

De acordo com Arnell (1999), em 2025, cerca de 3/5 da população mundial estará a viver sob stress hídrico, onde as mudanças climáticas terão, eventualmente, um papel significativo nas disponibilidades de água, sendo que cada vez mais governos, organizações e comunidades estão preocupados com o futuro das disponibilidades e sustentabilidade das origens de água. De acordo com a *World Water Assessment Programme* (2009), em 2020, cerca de 40 % da população mundial estará a viver com escassez de água acentuada.

O crescimento populacional, a par da sua concentração em meios urbanos, implicou uma alteração significativa nos sistemas tradicionais de abastecimento de água que utilizam como origem de extracção águas doces superficiais e/ou subterrâneas. Como consequência, muitos destes sistemas passaram a captar água cada vez mais longe do local de distribuição. O aumento da distância entre a captação e a entrega implica um aumento de custos, quer de construção, quer de manutenção, quer de exploração (Degremont, 2007).

## **1.2) Objectivos**

Esta dissertação tem como principal objectivo contribuir para a optimização da utilização das origens de água, para fins potáveis e não potáveis, face às disponibilidades de água, tendo em atenção as tecnologias que suportam a utilização deste recurso. Para além do objectivo referido, pretende-se ainda:

- Avaliar as vantagens e desvantagens de cada sistema de produção de água e as características de tratamento associadas;
- Avaliar algumas das tecnologias de produção de água, nomeadamente, dessalinização e reutilização de água residual para fins potáveis e não potáveis;
- Desenvolvimento de uma metodologia de optimização de usos face às origens e disponibilidades de água;
- Aplicação da metodologia desenvolvida a um caso de estudo: ilha do Porto Santo;
- Incentivar a prática de reutilização e reciclagem de água residual.

## **1.3) Estrutura da dissertação**

A estrutura do presente trabalho assenta na organização adoptada para o seu texto, constituída por vários capítulos, cada um deles contendo as respectivas figuras e quadros, sendo as referências bibliográficas apresentadas no final do documento, juntamente com alguns anexos.

No Capítulo 1 é feita uma introdução ao trabalho efectuado, definem-se os objectivos, um enquadramento teórico e é apresentada a forma como se encontra organizado o texto.

No Capítulo 2 é apresentada a revisão bibliográfica que suporta um estudo sobre as disponibilidades e necessidades de água e as suas diferentes origens, tratamentos e tecnologias associadas.

No Capítulo 3 é apresentado, primeiramente, o caso de estudo considerado para esta dissertação, bem como a justificação que decorre da sua escolha. Seguidamente, apresenta-se a abordagem metodológica escolhida para cumprir os objectivos anteriormente referidos. Ainda no mesmo capítulo, é realizado um estudo de todas as disponibilidades e utilizações de água na ilha do Porto Santo que sustentam a criação de um cenário base de abastecimento. Por outro lado, foram ainda idealizados uma série de cenários que simulam o comportamento dos sistemas de distribuição e drenagem face a algumas contingências. Por último, apresentam-se algumas incertezas metodológicas inerentes aos cálculos efectuados.

No Capítulo 4, são apontadas as conclusões do presente trabalho, bem como sugestões e perspectivas para possíveis trabalhos futuros.

## 2) Revisão bibliográfica

### 2.1) Necessidades: consumo de água

Nos últimos anos assistiu-se a um aumento significativo do consumo de água no mundo, traduzindo-se em pressões acrescidas para a generalidade dos recursos hídricos disponíveis. Existem diversos factores que contribuíram para este facto, podendo afirmar-se que o crescimento populacional e as mudanças climáticas são factores chave (WWAP, 2009).

Pode afirmar-se que existem três principais factores que provocam pressões sobre os recursos hídricos (WWAP, 2009):

- i) Factores demográficos – onde a dinâmica de populações cria pressão sobre os recursos hídricos de água doce, traduzindo-se numa maior procura de água e num aumento de poluição nos meios hídricos;
- ii) Factores económicos – o crescimento económico e as mudanças que este acarreta, que se fazem sentir a nível global, provocam impactes significativos nas disponibilidades de água. O crescimento das trocas e serviços internacionais agravam o stress hídrico em alguns países. Ao mesmo tempo, estas podem vir a aliviar esse mesmo stress noutros países através da inserção de água virtual (que não pertence à região);
- iii) Factores sociais – destaca-se a acção individual no dia-a-dia das populações em relação aos recursos hídricos. Mudanças no estilo de vida representam um dos principais factores, pois reflectem as necessidades, desejos e atitudes do indivíduo, onde a cultura e a educação surgem como principais agentes de mudança.

Os usos e disponibilidades de água no mundo são díspares, variando com a geografia, clima, cultura e desenvolvimento tecnológico. Podem-se definir três principais usos de água, sendo estes as forças motrizes que ditam o nível de consumos de uma determinada região. Esses usos são a agricultura, a indústria e os consumos domésticos/urbanos. A Tabela 1 expressa as origens, disponibilidades e consumos de água doce no mundo.

**Tabela 1 - Disponibilidades e consumos de água no mundo (adaptado de WWAP, 2009).**

	Volume disponível	Extracção total de água	Agricultura		Indústria		Urbano/ Doméstico		Extracção referente ao total das origens (apenas superficial e subterrânea) (%)
			Quant.	(%)	Quant.	(%)	Quant.	(%)	
África	3936	217	186	86	9	4	22	10	5,5
Asia	11595	2378	1936	81	270	11	172	7	20,5
América Latina	13477	252	178	71	26	10	47	19	1,9
Caraíbas	93	13	9	69	1	8	3	23	14
América do Norte	6253	525	203	39	252	48	70	13	8,4
Oceânia	1703	26	18	73	3	12	5	19	1,5
Europa	6603	418	132	32	223	53	63	15	6,3
Mundo	43659	3829	2662	70	784	20	382	10	8,8

(km<sup>3</sup>/ano caso não esteja indicada a unidade)

Em termos percentuais, como se pode observar na Tabela 1, a agricultura representa uma percentagem significativa no total dos consumos, sendo que países em desenvolvimento apresentam maiores consumos neste uso (cerca de 70 %). Quanto à indústria, países desenvolvidos apresentam gastos mais significativos que países em desenvolvimento. Verifica-se ainda que os consumos domésticos são idênticos e aparentemente baixos quando comparados aos outros, na maioria das regiões.

A Figura 2 representa os principais usos de água por sector e consoante a origem no mundo.

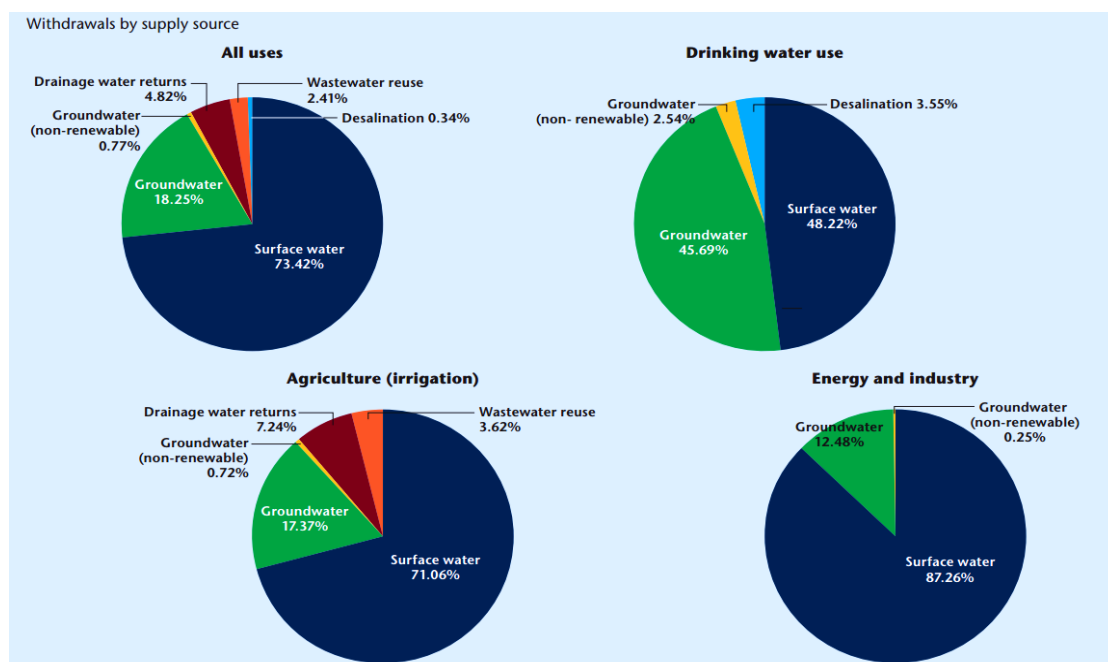
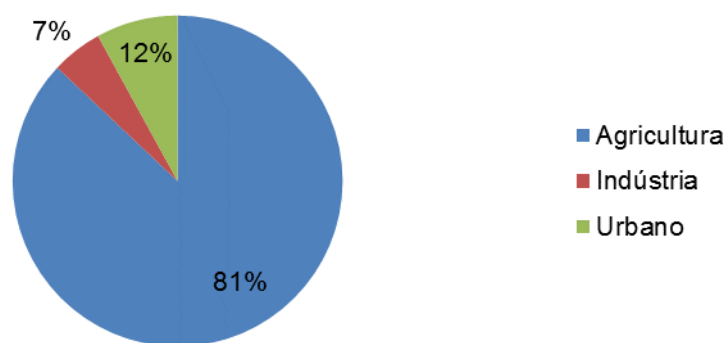


Figura 2 - Usos de água por sector e por origem no mundo (WWAP, 2009).

Sectorialmente, a origem de extracção varia significativamente, de acordo com o apresentado na Figura 2. Como é possível observar, a totalidade dos usos compreende, na sua grande maioria, origens superficiais e subterrâneas (origens convencionais). Ainda assim, existe uma percentagem significativa correspondente a origens “não convencionais”, sendo estas a dessalinização e a reutilização de água pluvial e residual.

Os usos domésticos estão associados sobretudo a origens superficiais e subterrâneas, embora a produção de água através de centrais dessalinizadoras represente uma percentagem significativa (cerca de 4 %). Quanto aos usos industriais, estes recorrem quase única e exclusivamente a origens superficiais e subterrâneas. Os usos agrícolas são os que mais origens englobam, salientando-se uma reutilização de águas pluviais e residuais elevada quando comparada aos outros sectores.

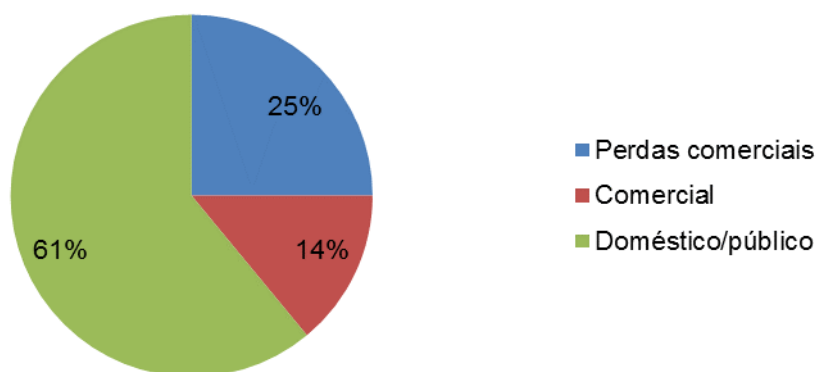
Seguidamente (Figura 3), apresentam-se os consumos relativos a Portugal Continental, bem como os custos relativos associados a cada sector em particular.



**Figura 3- Procura total de água em Portugal (adaptado de APA 2012).**

Como se pode verificar na Figura 3, a procura, no que diz respeito à agricultura, corresponde a 81 % do total de consumos, no que respeita a indústria 7 % e a procura relativa aos consumos domésticos 12 %. Comparado à média mundial e Europeia (Tabela 1), Portugal apresenta valores idênticos a regiões onde predominam países em desenvolvimento.

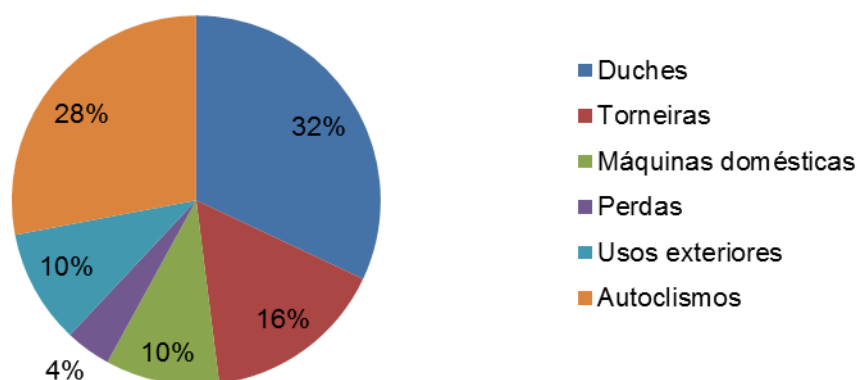
Seguidamente (Figura 4), apresentam-se os usos estritamente urbanos de água em Portugal.



**Figura 4 - Usos estritamente urbanos em Portugal (adaptado de APA, 2012).**

Quanto aos usos estritamente urbanos, como se pode observar na Figura 4, 61 % são domésticos, 14 % comerciais e 25 % perdas comerciais, onde se incluem consumos não facturados e fugas de água.

Na Figura 5, apresentam-se os usos domésticos e públicos de água em Portugal.

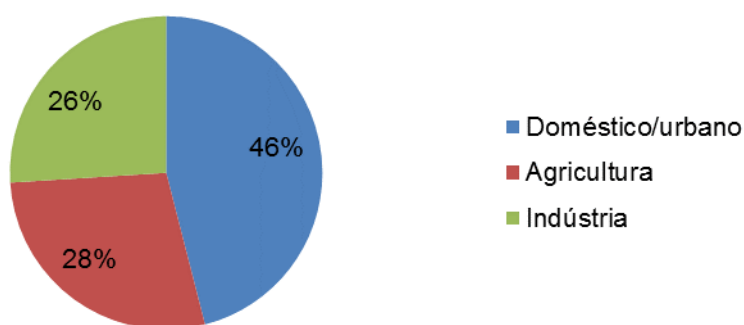


**Figura 5 - Usos domésticos/públicos em Portugal (adaptado de Almeida *et al.*, 2001)**

Quanto à distribuição média dos usos domésticos, pode observar-se na figura 5, que duches e banhos representam 32 % dos consumos, torneiras 16 % e máquinas domésticas 10 %. Os restantes consumos correspondem a perdas (4 %), usos exteriores (10 %) e autoclismos (28 %). Dos referidos, tanto os usos exteriores como os autoclismos, que representam na sua totalidade 38 % de todos os usos domésticos, não necessitam de água potável.

Assim, pode-se afirmar que existe uma parcela significativa de consumos domésticos de água que corresponde a situações onde existe excesso de tratamento para os respectivos fins. Portanto, é razoável dizer-se que existe possibilidade de reduzir os custos de produção de água para estas situações. Contudo, a necessidade de implantar uma rede de distribuição dedicada a estes casos específicos, poderia comprometer a vantagem da redução de custos anteriormente referida. No entanto, em casos em que a rede de distribuição ainda não foi implantada, faz sentido que a sua implementação venha a incluir redes de distribuição distintas, englobando diferentes origens para os casos específicos mencionados.

A Figura 6 apresenta os custos efectivos de produção de água em Portugal consoante as principais necessidades.



**Figura 6 - Custos efectivos de produção de água (adaptado de Almeida *et al.*, 2001).**

Embora os consumos agrícolas sejam superiores aos consumos urbanos em Portugal (Figura 6), os custos de produção não seguem essa lógica, atendendo aos resultados apresentados na Figura 6. Estas diferenças podem ser justificadas pela necessidade de tratamento, mais ou menos diversificada, que está associada a cada um dos usos em particular, aumentando ou diminuindo o custo final de produção para cada um destes três sectores.

## 2.2) Disponibilidades: Índice de stress hídrico

A maioria das origens de água utilizadas pelo homem estão sujeitas a pressões, naturais e antropogénicas.

As práticas, voluntárias e involuntárias, sobre o recurso água, nem sempre são as mais adequadas para garantir a sua salvaguarda e das suas origens. Nos últimos anos, a evolução da ciência neste campo e a crescente consciencialização das comunidades relativamente aos problemas associados à água, foram catalisadores de uma melhoria significativa nas práticas sobre este recurso, surgindo, como consequência desta melhoria, um maior número de medidas de prevenção e mitigação das pressões que se sentem sobre as origens de água. Estas medidas materializaram-se através da introdução de novas políticas, de mudanças sociais, como por exemplo na alimentação, entre outros (WWAP, 2009).

Segundo as Nações Unidas (UN) e a *World Water Council*, existe um valor mínimo de 1700 m<sup>3</sup>/habitante.ano, correspondente a origens renováveis, isto é, um volume necessário para salvaguardar a renovação das origens e evitar a sua depleção, que quando atingido provoca tensões sobre as origens (stress hídrico), podendo também traduzir-se em tensões sociais, económicas e ambientais sobre as regiões afectadas, atento à Figura 7. Este valor torna-se crítico quando atinge 1000 m<sup>3</sup>/habitante.ano.

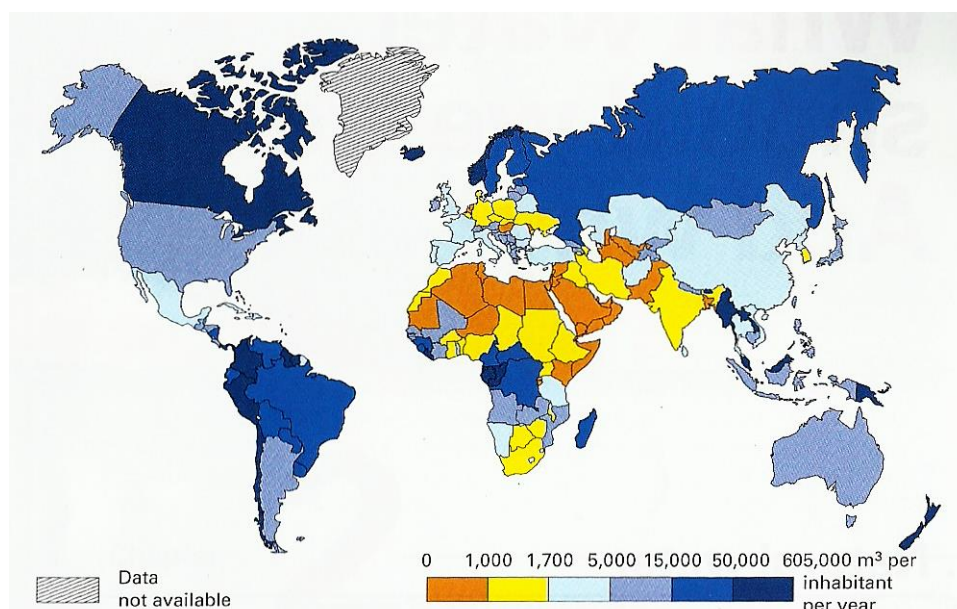


Figura 7 - Disponibilidade de água doce por habitante no ano 2000 (Degremont, 2007)

Analisando a Figura 7, é notória a existência de um número significativo de países que já atingiu ou irá atingir esse limite num futuro próximo. Os países que atingem este valor necessitam de importar água de outros locais, o que se torna impraticável, ou adoptar novas estratégias de produção de água (Degremont, 2007). Como se pode verificar, já existiam no ano de 2000, alguns países que apresentavam valores considerados críticos e mínimos (< 1000 m<sup>3</sup>/hab.ano e < 1700 m<sup>3</sup>/hab.ano, respectivamente) nas suas disponibilidades de água doce.

A origem de stress hídrico surge associada às actividades humanas, dentro das quais se podem destacar (WWAP, 2009):

- Extracção excessivas das origens de água doce renovável, tanto superficiais como subterrâneas;
- Poluição das origens de água doce;
- Uso ineficiente de água

Como exemplo recente de stress hídrico acentuado, o estado da Califórnia, nos Estados Unidos da América, atravessa há quatro anos uma seca que se agravou significativamente no ano de 2015. A Figura 8 expressa a gravidade da seca que atingiu este local.



**Figura 8 - Califórnia, Oroville Lake in ButteCounty: Antes e depois da seca (California DROUGHT, 2014)**

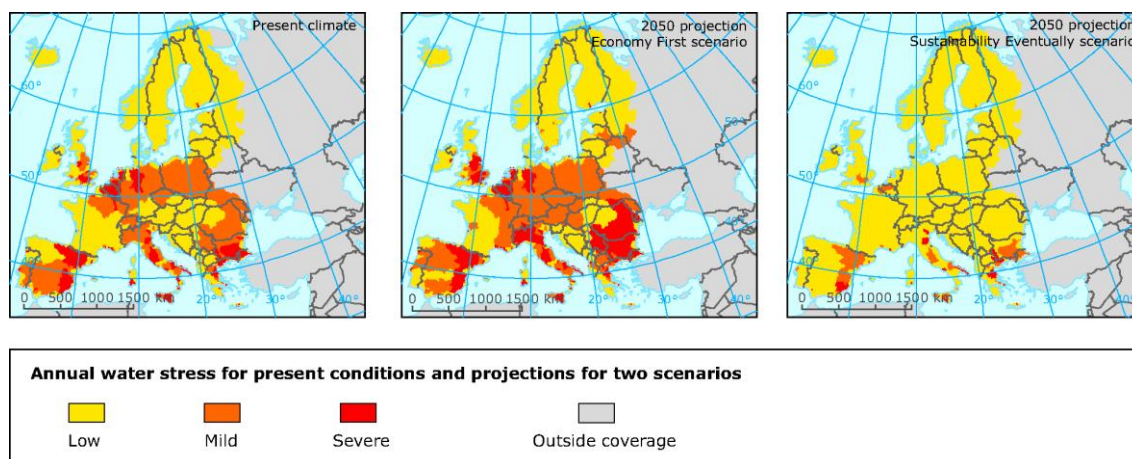
Na Figura 8, pode-se observar a diferença entre o volume de água armazenado na albufeira Oroville Lake, na Califórnia, antes e depois dos consecutivos anos secos que atingiram a região. A primeira imagem é referente ao ano de 2005 e a segunda ao ano de 2013.

Comparada com outras regiões do planeta, a Europa dispõe, globalmente, de recursos hídricos relativamente abundantes, apesar de se registar uma significativa heterogeneidade em termos de distribuição espacial e temporal dos mesmos, susceptível de determinar situações de stress hídrico.

A grande maioria dos países europeus encontra-se em situação de stress hídrico médio ou alto, o que afecta cerca de 70 % da sua população (OCDE, 2003). O índice de stress hídrico concretiza o cálculo da razão entre a necessidade de água de um país e a sua capacidade de regeneração total. Para índices superiores a 40 %, a capacidade de regeneração é muito inferior às necessidades totais, considerando-se stress hídrico alto. Nestes casos são necessárias adaptações e esforços extra para equilibrar o consumo e estabilizar a procura, acrescentando ainda a necessidade de resolver conflitos entre prioridades de utilização para os diferentes usos. Índices inferiores a 20 % consideram-se de stress hídrico baixo. Índices com valores entre 20 % e 40 % indicam um stress hídrico médio, onde a disponibilidade de água

apresenta um obstáculo ao desenvolvimento, necessitando assim de investimentos que venham a suprir as necessidades observadas (EEA, 2012).

A Figura 9, apresenta o stress hídrico europeu actual e projectado, relativo a três cenários diferentes. O primeiro cenário mostra o stress hídrico actual, o segundo o projectado para 2050 e o terceiro uma situação óptima sustentável para 2050. A amarelo, estão representadas as zonas onde o índice é inferior a 20 %, ou seja, zonas de baixo stress hídrico. A laranja, encontram-se representadas as zonas onde o índice é médio, sendo superior a 20 % e inferior a 40 %. Por último, a vermelho, encontram-se as zonas onde o índice é considerado alto, referentes a valores superiores a 40 %.



**Figura 9 - Índice de stress hídrico verificado na Europa (EEA, 2012)**

Na Figura 9, constata-se ainda que o continente Europeu, caso não sejam concretizadas medidas de protecção para este recurso, caminha para uma deterioração das disponibilidades de água naturais (ver projecção 2050 – Economy First scenario).

No geral, Portugal encontra-se numa situação de stress hídrico médio. Embora encerre realidades regionais completamente diferentes. Este facto é consequência do clima mediterrânico, onde a precipitação ocorre principalmente durante metade do ano e onde há uma grande discrepância entre o Norte e o Sul do país em termos de precipitação e evapotranspiração. Esta conjugação de factores resulta num défice generalizado de água, principalmente para a agricultura (Morgado *et al.*, 2002).

No que respeita a recursos hídricos superficiais, a sua distribuição espacial mostra grandes diferenças, que são provocados pela desigualdade na repartição da precipitação, dos contrastes térmicos e de evapotranspiração. No que respeita aos recursos hídricos subterrâneos, o território Português apresenta diferenças significativas tanto no armazenamento como na distribuição de água subterrânea. Os aquíferos mais importantes situam-se nas orlas sedimentares, que por serem calcárias, constituem os melhores aquíferos (Morgado *et al.*, 2002).

### 2.3) As diferentes origens de água

Entende-se por recurso hídrico a água nos seus diferentes estados e reservatórios, disponível ou potencialmente disponível, susceptível de satisfazer, em quantidade e em qualidade, uma dada procura num local e período de tempo determinados (Degremont, 2007).

Segundo Rebouças *et al.*, (2006), a avaliação de um problema associado às necessidades de água, numa determinada região, não se pode restringir apenas a um balanço entre a oferta e a procura, deve também abranger as inter-relações geoambientais e socioculturais, em especial as condições de conservação dos recursos naturais em geral (da água em particular), do uso e da ocupação do território, tentando garantir o desenvolvimento sustentável da exploração deste recurso. Para os países em vias de desenvolvimento, o mesmo autor adverte que o problema é mais gravoso, pela falta de sistemas adequados de mitigação, monitorização e controlo. Assim, caso os padrões de qualidade não venham a ser considerados, a deterioração da qualidade das origens de água poderá comprometer a sua utilização.

As reservas naturais de água, que se encontram disponíveis para as comunidades, subdividem-se fundamentalmente em quatro tipos:

- i) Águas superficiais;
- ii) Águas subterrâneas;
- iii) Águas pluviais;
- iv) Água do mar.

A natureza da origem normalmente determina a configuração dos sistemas associados à captação, ao tratamento, ao armazenamento e à distribuição de água. As duas principais origens para suprir as necessidades são as águas superficiais e subterrâneas. Estas origens são responsáveis por suprir cerca de 90 % das necessidades de potabilização mundiais e 93 % de todas as necessidades de água, assumindo assim uma importância muito significativa (WWAP, 2009). Contudo, o seu tratamento deverá garantir a qualidade necessária de acordo com os usos a que essa se destina.

As disponibilidades de água variam significativamente consoante a zona onde estão inseridas. Por outro lado, as disponibilidades também variam significativamente com o tempo. Para fazer face à variabilidade temporal das disponibilidades, são muitas vezes construídos reservatórios estratégicos, que permitem acumular volumes remanescentes durante os períodos chuvosos, que podem mais tarde ser utilizados estrategicamente durante os períodos secos (Nathanson, 2010).

Consideram-se origens renováveis de água aquelas em que a extracção é compensada por uma recarga igual ou superior à extracção verificada, podendo esta ser introduzida de forma natural ou artificial. O cálculo das taxas de recarga surge com a necessidade de avaliar a quantidade de água que se pode captar, garantindo a salvaguarda da origem, sendo que esta taxa é variável no tempo (Nathanson, 2010).

As águas superficiais e subterrâneas são, à partida, recursos renováveis. Ainda assim, existem origens subterrâneas consideradas não renováveis, ou fósseis, sendo que estas representam apenas 1 % da extracção total de água no mundo, estimada em 30 km<sup>3</sup> anuais. Estas origens fósseis apresentam-se em três países em particular: a Argélia, Líbia e Arábia Saudita (WWAP, 2009). Quanto às origens consideradas renováveis, a garantia da sua boa qualidade, em especial as subterrâneas, exige uma acção atempada e um planeamento estável a longo prazo das medidas de protecção, dada a sua formação e renovação, que decorre naturalmente ao longo de longos períodos de tempo, devendo estes ser tomados em consideração (DQA, 2009).

Pode ainda fazer-se a distinção entre origens convencionais e não convencionais. As origens convencionais ou tradicionais são as mais comuns e cuja tecnologia associada à sua utilização se encontra mais desenvolvida, fazendo parte destas as principais origens subterrâneas e

superficiais. Já as origens não convencionais são caracterizadas por uma tecnologia mais recente e, portanto, menos explorada (Shatat *et al.*, 2013).

Quanto às origens não convencionais, faz-se referência à dessalinização (água do mar e água salobra), à recirculação de águas residuais e ao aproveitamento de águas pluviais. A água do mar é caracterizada por ser, à escala humana, uma origem inesgotável, pois a sua depleção por captação é fisicamente impossível (Shatat *et al.*, 2013).

A reutilização de água residual também não apresenta problemas de sustentabilidade, sendo esta parte do ciclo de tratamento e, portanto, um volume disponível cujas utilizações não colocam em risco a origem (considerando esta origem como uma Estação de Tratamento de Águas Residuais (ETAR)), podendo este caudal ser utilizado na íntegra. Quanto às águas pluviais, estas podem ser reaproveitadas, principalmente em zonas com uma taxa de impermeabilização considerável, sendo a sua extracção em campo aberto significativamente mais difícil. Ainda assim, essa extracção poderá, nalguns casos, colocar em risco origens superficiais ou subterrâneas, pois estas estão dependentes da pluviosidade para a sua recarga.

Em alguns locais do mundo a satisfação das necessidades de água depende, cada vez de forma mais significativa, das captações através de origens não convencionais. Os processos de dessalinização e reutilização de águas residuais são uma realidade actual, sendo responsáveis por aliviar a pressão sobre as origens tradicionais (Shatat *et al.*, 2013). Estas origens podem suprir necessidades directamente, em casos de escassez significativa, ou complementar outros sistemas de abastecimento, nomeadamente em locais que possam indicar stress hídrico significativo. A Tabela 2, representa a utilização, em termos percentuais, de origens convencionais e não convencionais no Mundo.

**Tabela 2 - Distribuição da utilização das origens no Mundo (adaptado de Shatat *et al.*, 2013)**

	Água dessalinizada	Água salobra	Águas residuais	Origens não convencionais	Origens convencionais
	%	%	%	%	%
América do Norte	2,5	36,4	22,2	61,1	38,9
Caraibas	2,4	0,6	0	3	97
América do Sul	2,2	3,1	0,9	6,2	93,8
Sul da Europa	10,6	12,8	9,7	33,1	66,9
Norte da Europa	1,7	4,4	4,3	10,4	89,6
Sul de África	1,2	0,4	2,4	4	96
Norte de África	7,3	3,2	0	10,5	89,5
Médio Oriente	59,3	19,4	16	94,7	5,3
Oeste Asiático	2,2	4,4	2,3	8,9	91,1
Este Asiático	3,4	2,8	21	27,2	72,8
Japão, Coreia, Tailândia	1,2	3,2	12,1	16,5	83,5
Austrália	0,8	1,1	5,4	7,3	92,7

Como se pode verificar, o Médio Oriente, seguido da América do Norte e do Sul da Europa, são os locais que mais têm investido em origens não convencionais. As Caraíbas, o Sul de África, a América do Sul e a Austrália, são os que menos origens não convencionais utilizam, relativamente ao total observado.

Idealmente, de forma a promover uma boa sustentabilidade de extracção de água, devem ser tomadas em consideração todas as origens possíveis num determinado local, de forma a projetar um sistema que seja o mais custo eficaz possível (Shatat *et al.*, 2013). Normalmente, os

sistemas mais eficientes são aqueles que concretizam a produção de água através de várias origens em simultâneo.

Quanto ao planeamento e gestão de recursos hídricos em Portugal, faz-se referência à Lei da Água (Lei n.º 58/2005, de 29 de Dezembro), que visa fundamentar e orientar a protecção e gestão das águas e a compatibilização das suas utilizações com as suas disponibilidades, garantindo-o de forma sustentável. O sector das águas foi, nas últimas duas décadas, reestruturado. Apesar de o programa ainda não ter sido completado, a situação melhorou significativamente, tanto para abastecimento de água como para tratamento de águas residuais.

Portugal regista uma disponibilidade hídrica suficiente para as necessidades dos diferentes usos. Contudo, regista-se uma elevada assimetria regional e temporal da disponibilidade de água, tendo como consequência a necessidade de criar reservas de água que permitam ultrapassar os períodos de escassez (ERSAR, 2012).

Ao todo, são abastecidos em Portugal, através de entidades gestoras (estatais, municipais e privadas), 95 % dos alojamentos existentes. Para consumo exclusivamente urbano, são captados anualmente 853 milhões de m<sup>3</sup> de água através de 299 captações superficiais e 5735 captações subterrâneas, sendo utilizadas 3572 ETA para este efeito (IPQ, 2014). Embora existam mais captações subterrâneas que superficiais, cerca de 69 % da água colocada na rede de abastecimento, em 2011, provinha de origens superficiais (IPQ, 2014).

Quanto ao tratamento de águas residuais, são recolhidas, dos alojamentos existentes, cerca de 81 % das águas residuais produzidas, onde 78 % são, efectivamente, tratadas em ETAR. Assim, são recolhidos 611 milhões de m<sup>3</sup> anuais de águas residuais urbanas, através de 2458 ETAR e 1828 fossas sépticas (IPQ, 2014).

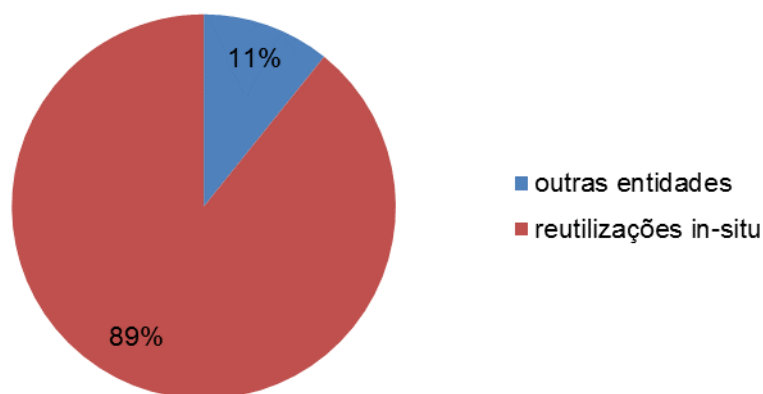
Por outro lado, existe ainda necessidade de introduzir medidas corretivas para se atingirem as metas desejadas de sustentabilidade de recursos hídricos, nomeadamente (IPQ, 2014):

- Melhorar a eficiência estrutural do sector, que se encontra algo desfragmentado;
- Melhorar a eficiência das entidades gestoras;
- Assegurar a sustentabilidade económica e financeira do sector, adequando o nível de recuperação dos custos;
- Adequar os serviços aos novos desafios.

Excluindo as Regiões Autónomas, Portugal não necessita de dessalinização. Este argumento resulta de dois factores: o preço associado ao processo e a existência de outras origens, que, por enquanto, são suficientes para abastecer a generalidade da população. O processo de dessalinização é, assim, visto como última opção, só se tornando razoável a sua utilização na ausência de outros métodos para produção de água. Citando o presidente da IGA – "A dessalinização é sempre uma solução muito cara e deve ser usada em situações de carência, quando não há qualquer outra alternativa" (in Jornal de Notícias, 2005).

Outra origem não convencional são os sistemas de reutilização de águas residuais tratadas (ARUT) para usos menos exigentes, como a rega. São ainda poucos os sistemas onde é efectuada reutilização. Em Portugal, no ano de 2011, apenas foram reutilizados 6,1 milhões de m<sup>3</sup> de água residual, ou seja, cerca de 1 % de toda a água residual recolhida, um valor extremamente baixo (ERSAR, 2012).

Na figura 10, é possível observar que a maior parte da água residual tratada, em Portugal, foi utilizada pelas entidades gestoras para uso próprio e que apenas 11 % foi fornecida a outras entidades para reutilização (ERSAR, 2012).



**Figura 10 - Reutilização de águas residuais urbanas tratadas, referente a 1 % do total produzido (ERSAR, 2012).**

Analisando a quantidade produzida versus reutilização de águas residuais, pode afirmar-se que existe um mercado significativo por explorar, aplicável a usos secundários.

Não existindo ainda norma específica para utilização de águas residuais tratadas em usos secundários, destacam-se:

- O Decreto-Lei n.º 77/2006 de 30 de Março, que estabelece um quadro de acção no domínio da política da água. Os anexos I, II e V deste documento caracterizam as águas superficiais e subterrâneas e ainda as metodologias de análise de qualidade;
- O Decreto-Lei n.º 306/2007 de 27 de Agosto, onde a qualidade da água para consumo humano é definida, cujo objectivo é garantir a salubridade da água, caracterizada pela ausência de organismos patogénicos ou substâncias químicas em concentrações que constituam um perigo potencial para a saúde humana. Este Decreto-Lei manteve aspectos fundamentais do anterior diploma, o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, o qual se referencia da mesma forma;
- O Decreto-Lei n.º 208/2008 de 28 de Outubro, que estabelece o regime de protecção das águas subterrâneas;
- O Decreto-Lei n.º 152/97 de 19 de Junho, que tem por objectivo a protecção das águas superficiais dos efeitos das descargas das águas residuais urbanas;
- A NP 4435:2005, que define as regras de utilização de águas residuais urbanas tratadas (ARUT) para fins de regadio.

## 2.4) Água doce superficial

### 2.4.1) Origem e caracterização

O termo águas superficiais inclui água em escoamento e água retida à superfície (Degremont, 2007).

À superfície, a água pode gerar volumes de escoamento significativos onde existe uma interface água-atmosfera. Por outro lado, a água pode ser armazenada naturalmente, através de lagos, ou artificialmente, através de reservatórios, abertos (albufeiras) ou fechados (Degremont, 2007).

Segundo o Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, devem definir-se massas de água superficiais como:

- Rios e Lagos;
- Águas de transição ou águas costeiras;
- Massa de água artificial ou massa de água fortemente modificada (albufeiras).

No que se refere às massas de água artificiais ou fortemente modificadas, a diferenciação é efectuada de acordo com os descritores aplicáveis à categoria de águas superficiais que mais se assemelhe à massa de água artificial ou fortemente modificada em questão.

Na Figura 11, encontra-se representada uma bacia hidrográfica.



Figura 11 - Bacia hidrográfica de um rio (setas indicam sentido de escoamento) (Nathanson, 2010).

Na Figura 11 representa-se a área total que contribui para o escoamento superficial de uma dada secção de uma massa de água, sendo essa área designada por bacia hidrográfica. A produtividade da bacia hidrográfica depende principalmente da área, da quantidade de precipitação, do declive do terreno, do tipo de solo e do tipo de ocupação do solo (Nathanson, 2010).

### 2.4.2) Composição e potabilização

Durante o seu escoamento a água tem a capacidade de arrastar e dissolver vários elementos que constituem o terreno e, por outro lado, os gases dissolvidos nestas massas de água são consequência das trocas na interface água-atmosfera e da actividade metabólica dos organismos aquáticos presentes (Degremont, 2007). Esta interacção da água com o meio envolvente, em conjunto com episódios de poluição, pode determinar a alteração das características de qualidade da água, levando a que as águas superficiais raramente sejam potáveis sem serem objecto de um tratamento prévio.

Ao longo do tempo, as alterações nos padrões de vida das comunidades provocaram mudanças na abordagem às questões de gestão dos recursos hídricos. Na Europa, a

Comissão Europeia, juntamente com os Estados Membros, produziu a Directiva 2000/60/CE, do parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro - mais conhecida como a Directiva Quadro da Água (DQA) - que funciona como um importante instrumento para a gestão dos recursos hídricos. Esta directiva compreende medidas de protecção dos recursos hídricos bem como os objectivos a alcançar para atingir e preservar o bom estado químico e biológico das massas de água, sendo que estes objectivos deveriam ser alcançados em 2015. Este plano, que se pode considerar ambicioso, seria realizado através da execução de programas específicos através dos Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas (APA, 2012).

Os objectivos da DQA, para as águas superficiais e subterrâneas são:

- Evitar a deterioração das massas de água;
- Proteger e recuperar massas de água em deterioração, nomeadamente o seu estado biológico e químico;
- Proteger e recuperar as massas de água fortemente modificadas, alcançando o bom estado químico e biológico das mesmas;
- Reduzir a poluição provocada sobre estas massas de água, nomeadamente para as substâncias perigosas ou prioritárias.

A qualidade dos recursos hídricos é caracterizada pela Organização Mundial de Saúde (OMS), através da legislação Comunitária e Nacional, pelas directivas 75/440/CE, 79/869/CE e 2000/60/CE, bem como pelos Decretos-Lei n.º 306/2007, n.º 236/98 e n.º 152/97, que são relativos à qualidade da água superficial destinada à produção de água potável, à qualidade da água para consumo humano, à qualidade das águas balneares, à qualidade das águas destinadas a rega e ainda aos valores de emissão das descargas de águas residuais.

Quanto à sua qualidade, as águas superficiais apresentam, normalmente, características diferentes consoante o local de captação. O Anexo I do Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto classifica, consoante a sua qualidade, as origens de água destinadas à produção de água para consumo nas categorias A1, A2 e A3, de acordo com as normas de qualidade fixadas. A cada uma destas categorias correspondem esquemas de tratamento distintos, de acordo com o apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3 - Esquemas convencionais de tratamento de água (Decreto-Lei n.º 236/98)**

<b>Esquemas de tratamento para águas superficiais consoante o tipo</b>	
A1*	Tratamento físico e desinfecção
A2	Tratamento físico, químico e desinfecção
A3	Tratamento físico, químico, de afinação e desinfecção

\*Nota: as águas subterrâneas estão também sujeitas a tratamento requerido em A1.

Para produzir água potável através de origens superficiais, o Anexo I (ver anexos), referente ao Anexo I do Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto, identifica os valores máximos recomendados e os valores máximos admissíveis (VMR e VMA), para todos os tipos de qualidade considerados (A1, A2 e A3), para as categorias já referenciadas no quadro anterior.

Os esquemas de tratamento associados a cada categoria, A1, A2 e A3, podem ter ligeiras variações, consoante a qualidade da água a tratar. Contudo, existe um esquema-tipo de tratamento da fase líquida nas ETA, associado a cada origem em particular (superficial e subterrânea) (Figura 12).

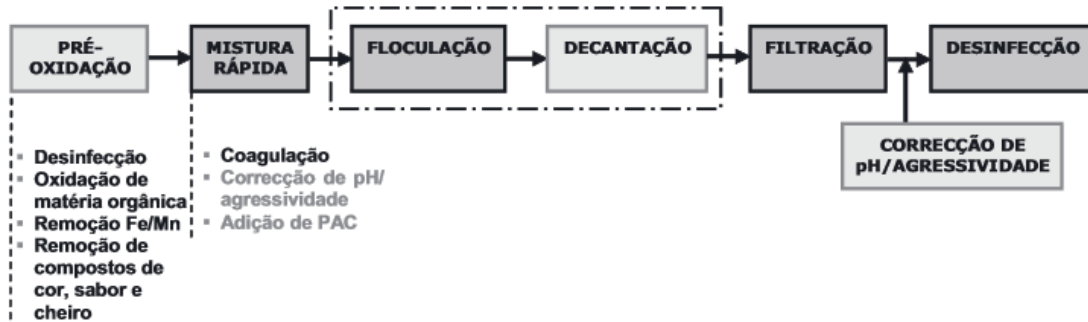


Figura 12 - Esquema-tipo de uma ETA para tratamento de águas superficiais (Rosa *et al.*, 2009)

Cada esquema-tipo pode apresentar variações nos seus processos, uma vez que as ETA podem não ter todos os processos unitários instalados de uma só vez. No caso das águas superficiais, a pré-oxidação destina-se à oxidação da matéria orgânica, à remoção de ferro e manganês ou de compostos de cor, sabor e cheiro, podendo este processo não existir nas ETA. Na mistura rápida, além da coagulação, pode ser realizada, eventualmente, uma correção de pH e/ou agressividade, onde é normalmente contemplado um aumento da eficiência de remoção da turvação. A mistura rápida pode, também, ser usada para adição de carvão em pó (PAC), para adsorção de matéria orgânica e de microcontaminantes orgânicos. Por sua vez, a decantação pode não existir nalguns casos de captação de água com baixo teor de sólidos suspensos e matéria coloidal (por exemplo em águas captadas em rios), ou seja, quando existe filtração directa. A floculação e a decantação podem ou não existir como dois processos unitários individuais e sequenciais, uma vez que podem ocorrer no mesmo órgão, como por exemplo em decantadores de manto de lamas. A existência de correção de pH é também uma variante opcional em função da qualidade da água a tratar (Rosa *et al.*, 2009).

Por outro lado, a qualidade da água a utilizar na rega, menos exigente, deve satisfazer as exigências impostas pela legislação em vigor relativamente às características físicas, químicas e microbiológicas, assim como ser adequada à cultura a regar e ao processo e equipamentos de rega a utilizar. Os valores máximos recomendados (VMR) assim como os valores máximos admissíveis (VMA) dos parâmetros que possam constituir potenciais riscos ambientais estão referidos no Anexo XVI do Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto (ver Anexo II). Também aqui se encontram os parâmetros limitantes da qualidade de água para rega tais como o pH, a salinidade, a razão de adsorção de sódio (RAS) e os sólidos suspensos totais (SST). Em relação às características microbiológicas, as restrições são relativas à presença de ovos de parasitas intestinais (Helmintas) e de coliformes fecais.

## 2.5) Água doce subterrânea

### 2.5.1) Origem e caracterização

As águas subterrâneas representam uma origem extremamente importante pela contribuição que têm para os diferentes usos. São águas que se encontram retidas no solo, sendo que este actua como um reservatório, ao qual se dá o nome de aquífero. O peso relativo desta origem depende, na maioria dos casos, das características hidrogeológicas e do clima da região onde se encontra (Lencastre e Franco, 2006).

Os aquíferos podem ser caracterizados como livres ou confinados. No caso de serem livres, estes aquíferos encontram-se apenas limitados por uma camada inferior impermeável ou semipermeável, encontrando-se à pressão atmosférica e são alimentados directamente por precipitação. A aquíferos livres que se encontrem a uma distância suficiente para a sua água ser captada por um poço, dá-se o nome de aquífero livre freático (Degremont, 2007).

Os aquíferos são considerados confinados quando a água se encontra presa entre duas camadas de terreno impermeável, sendo estes os mais comuns e também, na generalidade, os mais profundos. O facto de se encontrarem confinados entre camadas impermeáveis aumenta a pressão a que estão sujeitos. Quando o nível piezométrico de um aquífero confinado é maior que o nível do terreno, dá-se-lhe o nome de aquífero artesianos (Degremont, 2007).

Os aquíferos cársicos surgem em zonas onde o terreno é composto por rocha compacta, circulando através das suas fracturas. Muitas vezes, a quantidade e volume de vazios nestas fracturas é tão significativo, que se criam enormes grutas de água e autênticos rios subterrâneos. Os aquíferos aluviais são outro tipo de águas subterrâneas com características particulares, que se encontram directamente afectadas por uma massa de água superficial, sendo que a sua qualidade fica automaticamente comprometida (Degremont, 2007).

Existem ainda algumas formações geológicas, que embora possam armazenar quantidades significativas de água, são de natureza semipermeável e, portanto, transmitem água a uma taxa relativamente baixa, inviabilizando a sua captação. Estas formações designam-se de Aquitardos ou Aquicludos. Existem ainda formações geológicas impermeáveis, que não armazenam nem transmitem água, designadas de Aquifugos (Degremont, 2007).

Na directiva 2006/118/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 12 de Dezembro, para as águas subterrâneas, pode ler-se “as águas subterrâneas representam as massas de água doce mais sensíveis e importantes da UE e, sobretudo, também uma origem de abastecimento público de água potável em muitas regiões”. Na Europa, as águas subterrâneas são responsáveis pelo abastecimento de consumos potáveis na ordem dos 60 %. Esta contribuição das águas subterrâneas corresponde sensivelmente à recarga média anual dos sistemas aquíferos, que representa os recursos renováveis a cada ciclo hidrológico.

A água é extraída dos aquíferos, maioritariamente, através de bombagem, seja através de um poço ou de uma galeria. A exploração de água subterrânea está condicionada a factores quantitativos, qualitativos e económicos (Degremont, 2007):

- i) Quantidade: intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento dos terrenos. Os aquíferos têm diferentes taxas de recarga, alguns recuperam mais lentamente que outros;
- ii) Qualidade: influenciada pela composição das rochas, condições climáticas e de renovação das águas e por episódios de poluição;
- iii) Económico: depende da profundidade do aquífero e das condições de bombagem.

Contudo, o aproveitamento das águas subterrâneas tem acompanhado a evolução tecnológica, sendo que houve e continua a haver um melhoramento das técnicas de construção e dos métodos de bombagem.

## 2.5.2) Composição e potabilização

No que se refere à qualidade também é aceite, no geral, que as águas subterrâneas apresentam vantagens em relação às superficiais, devido à estabilidade química e biológica que apresentam (Degremont, 2007).

As características do terreno têm um efeito determinante na composição química das águas subterrâneas, onde a água se mantém em contacto com o solo mesmo quando não se encontra em escoamento. Água que circule em solos arenosos ou graníticos, normalmente, tem características ácidas e é pobre em conteúdo mineral. Por outro lado, água que circule em solos calcários tem, na maioria dos casos, características que garantem alcalinidade carbonatada e, muitas vezes, são águas com elevada dureza (Degremont, 2007).

Durante muito tempo, as águas subterrâneas foram sinónimo de “água limpa”, que naturalmente satisfazia as necessidades de potabilização, sendo verdade que este tipo de origem é menos sensível a episódios de poluição, a maior parte das águas subterrâneas tem a sua qualidade intrinsecamente ligada à qualidade das águas superficiais, como é o caso dos aquíferos cársicos e aluviais (Degremont, 2007) e não deixam de ser potencialmente vulneráveis a episódios de contaminação.

Quando um aquífero é poluído, a sua recuperação torna-se significativamente mais complicada, pois os poluentes que contaminaram a água vão contaminar o solo, que perde o seu efeito filtrante. De salientar que os aquíferos cársicos estão sujeitos, numa escala significativamente maior que os outros, a fontes de poluição e turbidez, podendo sofrer mudanças de qualidade abruptas (Degremont, 2007).

O Decreto-Lei n.º 236/98 de 28 de Outubro, considera aptas para poderem ser utilizadas como origem de água para consumo humano as águas subterrâneas que apresentam qualidade superior ou igual a categoria A1, correspondente às águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo, de acordo com o esquema de tratamento indicado na Tabela 3, para aquela categoria de águas, com as devidas adaptações. Ainda assim, existe um esquema-tipo para este tipo de ETA (Figura 13).



Figura 13 - Esquema-tipo para tratamento de águas subterrâneas em ETA (Rosa *et al.*, 2009)

As ETA que tratam águas subterrâneas podem também sofrer ligeiras adaptações consoante a qualidade da água a tratar. Em algumas destas ETA pode existir a necessidade de oxidação primária, ou inicial, para remoção de ferro e manganês ou de contaminantes orgânicos, como pesticidas. Esta pré oxidação pode também ter como objectivo o arejamento, que por sua vez, serve para libertação de CO<sub>2</sub> que se encontre em excesso. Também a filtração, correção da dureza e a correção de pH/agressividade (através de percolação em leitos de brita calcária ou pela adição de cal ou cal/CO<sub>2</sub>) são variantes de tratamento que podem ou não estar presentes neste tipo de ETA. O amaciamento, isto é, a correção da dureza da água, quando existe é, habitualmente, feito pelo processo convencional de precipitação química, floculação e decantação (Rosa *et al.*, 2009).

## **2.6) Água salgada**

### **2.6.1) Origem e caracterização**

Na natureza, a energia solar comporta-se como dessalinizador natural durante o ciclo hidrológico. A água do mar recebe a energia proveniente da radiação solar, humidificando o ar. A humidade produzida ascende na atmosfera condensando e criando nuvens, que posteriormente provocam precipitação (Narayan *et al*, 2010).

Aliado ao facto de 98 % de toda a água disponível na superfície terrestre ser salgada, as necessidades de fornecimento de água a populações que habitam em áreas desertificadas, como por exemplo o Norte de África e o Médio Oriente, funcionaram como catalisadores de desenvolvimento e implementação de tecnologias de dessalinização (El-Ghonemy, 2012).

Durante a década de 1980 houve um desenvolvimento significativo do mercado da dessalinização, sendo que este tem sido crescente nos últimos 40 anos. Apesar de ser uma origem aparentemente inesgotável, a água salgada precisa de sofrer uma série de processos de tratamento para poder ser potabilizada (Shatat *et al.*, 2013).

A grande dificuldade com o processo de dessalinização prende-se sobretudo com o custo do produto final, que é significativamente elevado quando comparado com as origens de água doce, nomeadamente devido aos custos de construção e exploração, sobretudo energéticos, requeridos para o seu tratamento. Por outro lado, cada vez mais regiões do mundo exploram o uso da água do mar como uma potencial origem de água potável. Países como a Austrália, Espanha, Namíbia, China ou até mesmo o estado da Califórnia, encontram-se em destaque na evolução do uso da dessalinização no mundo. A tendência na Europa, quanto à dessalinização prende-se, sobretudo, com a Europa do Sul, onde o clima é um factor que influencia de forma significativa as disponibilidades (Shatat *et al.*, 2013).

A dessalinização pode ter vários usos, sendo primordialmente utilizada para abastecimento potável, dados os custos de tratamento associados à mesma. Ainda assim, caso haja escassez de outras origens de água, esta pode também ser utilizada para as substituir, momentaneamente ou como opção definitiva, caso seja a hipótese mais favorável na perspectiva do custo-eficiência (Degremont, 2007).

### **2.6.2) Composição e potabilização**

O conhecimento das propriedades da água do mar é necessário para o desenvolvimento dos processos de tratamento, podendo ser descritas em função da temperatura e da pressão. Por outro lado, a salinidade deve ser conhecida como propriedade independente a ser estudada (Degremont, 2007).

À superfície, a temperatura da água do mar varia consoante a latitude do local. A temperatura média da água do mar encontra-se em torno dos 17°C. Em Portugal, a temperatura do mar varia entre os 19°C e os 24°C (IPMA, 2015).

A salinidade que se encontra em todos os mares e oceanos do planeta é resultado do equilíbrio alcançado entre a evaporação, precipitação e a introdução de água doce através dos rios. Por esta razão, a salinidade dos oceanos e mares é díspar e varia muito consoante a região, sendo que em Portugal a salinidade da água do mar varia entre os 35 e 37 g/L (Degremont, 2007). A Tabela 4 apresenta essas diferenças:

**Tabela 4 - Salinidade nos principais oceanos e mares (adaptado de Degremont, 2007)**

Origem	Salinidade (g/L)
Mar Báltico	17
Mar Negro	22 a 25
Oceano Pacífico e Oceano Atlântico	32 a 38
Mar Mediterrâneo	37 a 40
Mar Vermelho - Golfo Pérsico	40 a 47
Mar Morto	270

Dependendo dos usos, existem outras propriedades da água salgada que devem ser tomadas em conta, face às flutuações que apresentam. Essas propriedades são os sólidos suspensos e a matéria orgânica dissolvida (Tabela 5).

**Tabela 5 - Sólidos suspensos e matéria orgânica em águas marinhas (adaptado de Degremont, 2007)**

		Oceanos	Águas costeiras	Estuários
<b>Sólidos suspensos</b>	Sólidos suspensos (mg/L)	0,2 – 2	2 – 200	20 – 50000
	Turbidez (NTU)	0,2 – 1,5	1,5 – 100	15 - >1000
	FI/SDI (%/min) *	2 – 10	5 – >20	Não quantificável
<b>Matéria orgânica</b>	COT (mg/L) **	0,5 – 2	0,5 – 5	1 – 10
	UV (%/m) ***	0,8 – 2	1 – 15	2 – 30

\* FI/SDI - *Silt Density Index* - potencial de incrustação de sólidos suspensos numa membrana

\*\* COT - Carbono orgânico total

\*\*\* UV - Ultravioleta

Os principais sólidos suspensos encontrados nos oceanos e mares são o fitoplâncton e o zooplâncton, embora nunca cheguem a ultrapassar 1 mg/L de sólidos suspensos, até mesmo nos mares mais produtivos (frios e altamente oxigenados). Nas costas dos continentes, a acção das marés e das ondas provoca uma suspensão de sólidos significativa, composta por areias, lodos e outros eventuais depósitos. Adicionalmente, junto às cidades, esta qualidade piora significativamente devido à poluição produzida pelos centros urbanos, portos, indústrias, entre outros (Degremont, 2007).

A matéria orgânica presente na água salgada resulta de origens naturais e antropogénicas. As origens naturais consistem em ácidos húmicos não biodegradáveis, que correspondem a fase final de decomposição da matéria orgânica vegetal. Nos estuários, a água salgada do mar entra em contacto com a água doce dos rios, formando locais com características químicas muito particulares. As zonas estuarinas estão sujeitas a fortes mudanças na salinidade e na quantidade de sólidos suspensos em curtos espaços de tempo, sendo que este facto é consequência do ciclo de marés. (Degremont, 2007).

O Decreto-Lei n.º 306/2007, de 27 de Agosto, estabelece o regime de qualidade de água para consumo humano, sendo que se aplica também a produção de água em centrais dessalinizadoras, não existindo uma legislação específica para esse tratamento. Ainda assim, a OMS e a EU definem que a salinidade máxima da água, para fins potáveis, que não deve ultrapassar as 1000 mg/L (VMA) de sólidos totais dissolvidos, sendo o seu VMR de 400 mg/L.

### 2.6.3) Impactes da dessalinização

A dessalinização é um processo que procura responder às necessidades das populações, acarretando múltiplas vantagens para as comunidades:

- Se combinada com a prática de consumos regulados de água provenientes de origens de abastecimento tradicionais, a dessalinização pode contribuir para uma gestão mais eficaz dos recursos hídricos (WWAP, 2009).

- A dessalinização desempenha um papel significativo na tentativa de melhorar as produções agrícolas (casos de regadio) em áreas onde o solo ainda é produtivo. Espanha tem sido um exemplo neste área, pois apostou em extensas áreas de regadio e estufas localizadas na costa mediterrânica, que satisfazem os seus consumos através de água produzida em dessalinizadoras (Bourouni *et al.*, 2001).
- As centrais dessalinizadoras podem ainda contribuir para a manutenção de actividades e infra-estruturas relacionadas com o turismo, assegurando o fornecimento de água a populações que habitam em locais onde existe carência de recursos hídricos, em qualidade e/ou quantidade (Bourouni *et al.*, 2001). Esta situação verifica-se, por exemplo, em Espanha, no arquipélago das Canárias, em Chipre, Malta e até mesmo em Portugal, na ilha do Porto Santo, no arquipélago da Madeira.

Ainda assim, a dessalinização não está livre de gerar impactes negativos no meio ambiente e na economia:

- Este processo afecta significativamente a qualidade da água, em resultado da desmineralização à qual é sujeita. Por este motivo, a água fica com características agressivas para as redes de distribuição, podendo assim promover corrosão e suspensão ou dissolução dos metais (Bourouni *et al.*, 2001).
- Nas áreas de implantação das centrais existem descargas de salmoura e utilização de produtos químicos para limpeza das membranas, sendo que não existe legislação específica para gerir estes subprodutos. Os custos de construção e manutenção destas centrais são significativamente elevados, sendo estes sistemas exigentes e compostos por tecnologia de ponta (Bourouni *et al.*, 2001).
- Os custos de produção de água através de uma dessalinizadora são significativamente mais elevados que os custos de produção de água através de origens tradicionais, pelo facto das centrais de dessalinização consumirem consideráveis quantidades de energia. Ainda assim, há uma tendência para as construções mais recentes começarem a ser equipadas com sistemas de produção energética, com base em fontes renováveis, localizadas nas próprias centrais ou na área envolvente, minimizando assim os custos de produção (EEA, 2009).

#### **2.6.4) Processos e tecnologias de dessalinização**

Fundamentalmente, os processos de produção de água para consumo através de dessalinização dividem-se em dois: separação por membranas e por via térmica (El-Ghonemy, 2012).

Os processos de membranas utilizam, como o nome indica, membranas, que são relativamente permeáveis, permitindo às moléculas de água a passagem através desta e, simultaneamente, impedindo a passagem de moléculas de maior dimensão, como os sais. Os processos térmicos são realizados através de uma sequência de destilação e condensação. A água salgada é aquecida recorrendo a uma fonte de calor, que pode ser obtida através de fontes fósseis ou renováveis, e posteriormente arrefecida, condensando (El-Ghonemy, 2012).

Na Tabela 6, apresenta-se uma breve descrição sobre a especificidade de algumas tecnologias de dessalinização em particular.

**Tabela 6 - Tecnologias de dessalinização ((1) - El-Dessouky e Ettoney, 2002; (2) – El-Ghonemy, 2012; (3) – Shatat et al., 2013; (4))**

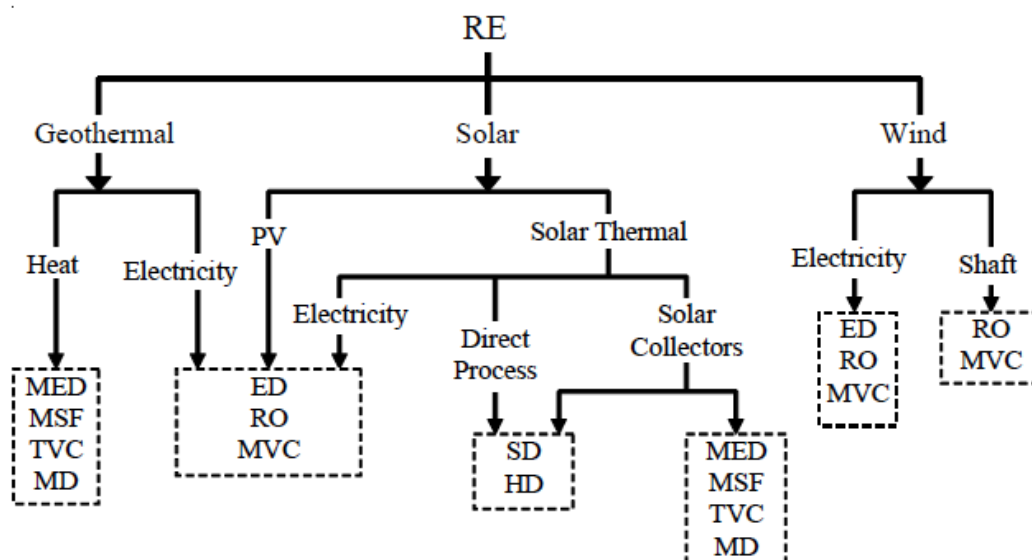
Processos	Tecnologias	Descrição
Térmicos	<i>Solar distillation (SD) ou Solar Evaporation (SE)</i>	A radiação solar é absorvida sob a forma de calor através de superfície que se encontra em contacto com água salgada. A água é aquecida e evapora parcialmente, condensando-se para um compartimento (1).
	<i>Multistage Flash Distillation (MSF)</i>	Consiste numa sequência de estágios ao longo dos quais a temperatura e a pressão vão diminuindo. A água salgada entra em circulação através de tubos aquecidos a vapor, fazendo com que se vaporize. O vapor condensa-se e a água é posteriormente recolhida no exterior. A salmoura remanescente passa por uma série de estágios posteriores, onde o processo ocorre repetidamente, mas a temperaturas sucessivamente mais baixas, até atingir os valores de concentração desejados (1).
	<i>Single-Effect Distillation (SED)</i>	A água salgada à temperatura ambiente entra num condensador, no qual aquece, seguindo posteriormente para um evaporador onde é pulverizada para o topo. O evaporador circula a vapor aquecido e a água pulverizada aquece e evapora. O vapor de água é então transferido para o condensador e, posteriormente, recolhido como água doce. A água que não evapora é recolhida com a salmoura (1)
	<i>Multiple-Effect Distillation (MED); (TVC-MED ER)</i>	Idêntico ao processo SED, com a diferença que a água que não evapora no fim do processo, em vez de ser imediatamente recolhida, é bombada novamente e o processo repete-se. A evaporação por TVC é basicamente um processo MED realizado dentro de um termocompressor e o seu propósito é tirar vantagem da pressão disponível no vapor, apenas quando esta é suficiente (1,2).
	<i>Solar Humidification Dehumidification (HD)</i>	É constituído por três subsistemas: um aquecedor de água, que utiliza energia solar térmica; um evaporador ou humidificador e um condensador ou desumificador. Este processo segue o mesmo princípio que o MED, mas de forma mais eficiente, pois aproveita o calor latente proveniente das fases anteriores (1).
	<i>Freezing</i>	Durante o processo de arrefecimento, a água salgada é arrefecida até congelar, separando-se dos sais que não congelam. Seguidamente o gelo é lavado e aquecido, produzindo água doce (1)
	<i>Carrier Gas Process (CGP)</i>	Processo relativamente recente. O CGP usa o ar à pressão atmosférica como um transportador de gás para evaporar a água utilizando a energia da evaporação diversas vezes (3).
Membranares	<i>Reverse Osmosis (RO)</i>	Consiste na separação de sais presentes na água através de um efeito de pressão superior à pressão osmótica, recorrendo a uma bomba de alta pressão, sobre uma membrana semipermeável que separa a água dos sais, desmineralizando-a (1).
	<i>Electrodialysis (ED)</i>	Consiste na aplicação de uma força electromotriz nos eléctrodos que se encontram em ambos os lados de uma membrana, separando os sais da água. Os iões positivos (sódio) e negativos (cloro) são atraídos pelos eléctrodos negativos e positivos, respectivamente (1).
Em desenvolvimento	Osiose Avançada	Traduz-se na migração de um conjunto de moléculas, por osiose natural, sem necessidade de utilizar energia, criando uma solução mais concentrada a partir da qual se evapora o sal, através de um processo com exigências de energia reduzidas (3)
	<i>Diffusion Driven Desalination (DDD)</i>	Procura estimular as vantagens da eficiência térmica. O funcionamento baseia-se na difusão de moléculas de água em ar seco, permitindo a evaporação da água salgada a temperaturas inferiores. Este processo não exige gastos tão dispendiosos com energia e materiais de construção, sendo que o calor residual pode ser reutilizado para conduzir o processo de dessalinização, tornando-se mais vantajoso que os processos térmicos convencionais (3).

## 2.6.5) Fontes de energia alternativas

O uso de energias renováveis como fontes de energia alternativas, nos processos de dessalinização, aparece como uma opção muito razoável e tecnicamente madura para combater os problemas associados aos gastos energéticos das centrais dessalinizadoras (Mathioulakis *et al.*, 2007).

Existem diversas comunidades que vivem sem origens de água doce e sem rede de energia, pelo que, nestas regiões, a energia fornecida por fontes renováveis a potenciais mecanismos de dessalinização torna-se mais significativa e urgente (Mathioulakis *et al.*, 2007).

A produção de energia renovável e os sistemas de dessalinização são dois processos que podem ser combinados de diferentes formas. A interface entre as energias renováveis e os sistemas de dessalinização é promovida por um subsistema, onde a energia requerida para a central é renovável. Esta energia pode ser adquirida através de processos geotérmicos, eólicos ou solares. Na maioria das vezes, os sistemas são híbridos, acolhendo mais que um tipo de energia renovável ou não renovável, como a junção de energia solar e eólica ou incluindo um gerador no processo (Mathioulakis *et al.*, 2007). A Figura 14, representa as várias combinações possíveis de energias renováveis com tecnologias de dessalinização.



Renewable Energy (RE),  
 Direct Solar Distillation (SD),  
 Humidification–Dehumidification (HD),  
 Membrane Distillation (MD),  
 Photovoltaic (PV),  
 Multiple-Effect-Distillation (MED) (TVC-MED),  
 Multistage Flash Distillation (MSF),  
 Reverse Osmosis (RO);  
 Electrodialysis (ED).

Figura 14 – ER aplicadas à dessalinização (Mathioulakis *et al.*, 2007)

Apesar de promissoras, nem todas as combinações de sistemas de energias renováveis com dessalinização são aplicáveis na prática. A combinação tecnológica ótima deve ser estudada em simultâneo com outros parâmetros, como as condições geográficas, topografia do terreno, infraestruturas disponíveis (incluindo redes de electricidade), dimensão das centrais e a salinidade da água presente (Mathioulakis *et al.*, 2007).

Geralmente, os critérios de escolha incluem a robustez, simplicidade de operação, simplicidade de manutenção, compactação do sistema, fácil transporte para o local e simplicidade de pré-

tratamento, de forma a assegurar a operação adequada do sistema de dessalinização, de acordo com as dificuldades normalmente encontradas nos locais de implantação (Mathioulakis *et al.*, 2007).

A tendência típica na combinação destes processos, normalmente, passa pela combinação de energia termal (termal solar e energia geotérmica) com centrais que utilizem processos de dessalinização termais e, por outro lado, na combinação de energia produzida através de processos electromecânicos, com processos de dessalinização que requeiram energia eléctrica ou mecânica para o seu funcionamento (Mathioulakis *et al.*, 2007).

## 2.7) Água pluvial

### 2.7.1) Origem e Caracterização

As águas pluviais têm origem na precipitação, fazendo parte integrante do ciclo hidrológico. A prática de aproveitamento pluvial é uma técnica antiga, que ao longo dos tempos, caiu em desuso (Oliveira, 2008).

Com o aparecimento de sistemas públicos de abastecimento, este sistema de aproveitamento pluvial foi sendo lentamente abandonado. Contudo, o crescimento populacional e a densidade urbana, aliadas à escassez de água, trouxeram o conceito de novo a público. Com o crescimento das cidades e das infra-estruturas que as suportam, muitos hectares de solo foram transformados em terrenos impermeáveis, impedindo a infiltração de água nos solos e provocando, muitas vezes, escoamentos superficiais significativos, que, conseqüentemente, provocam inundações algo severas. Assim, a utilização de sistemas de aproveitamento de água pluvial voltaram a ser uma realidade, principalmente em locais com vastas áreas impermeabilizadas (Oliveira, 2008).

Os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAAP), são uma realidade presente em alguns países da América do Norte e do Sul, Austrália e Japão, sendo também utilizados, mas em menor escala, em alguns países Europeus. Cidades como Tóquio, no Japão, apresentam dois sistemas principais de captação pluvial: o sistema de reservatórios de água pluvial e sistemas de valas de infiltração de água pluvial. Na Austrália, este tipo de sistemas chega a proporcionar 45 % do consumo total das residências urbanas e 65 % na agricultura, valores extremamente significativos (Tomaz, 2003).

A precipitação anual num determinado local varia acentuadamente de ano para ano. No entanto, o valor médio de precipitação é, normalmente, aproximadamente constante para períodos inferiores a 30 anos. Salienta-se o papel das alterações climáticas nos regimes de precipitação, tornando-os irregulares e variando significativamente os seus valores médios. Localmente, a precipitação varia de forma algo acentuada durante o ano (Oliveira, 2008). Em Portugal, os meses de maior precipitação surgem, normalmente, em Dezembro e Janeiro, sendo os menores valores correspondentes aos meses de Julho e Agosto.

O aproveitamento de águas pluviais é uma opção que se mostra muito atractiva para minimização de efeitos de escassez de água, como em grandes centros urbanos e, ao mesmo tempo, na redução dos custos de produção através de origens tradicionais, que incidem sobre o preço final do produto. Esta condição torna-se relevante para casos de usos de água em actividades industriais, dado que, na maioria das indústrias, existem condições que favorecem a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, nomeadamente em processos com elevados consumos de água e com grandes áreas de cobertura para captação (Tomaz, 2003).

A água proveniente de precipitação, quando apenas alvo de filtração simples, não cumpre os requisitos exigidos para consumo humano, pelo que é classificada como de segunda qualidade. No entanto, esta água pode ser usada para satisfazer um número considerável de utilizações, nomeadamente:

- Rega de jardins e espaços verdes;
- Sanitas e mictórios;
- Lavagem de pavimentos;
- Lavagem de viaturas.

## **2.7.2) Composição e potabilização**

Na generalidade dos casos, a água proveniente de precipitação apresenta uma qualidade elevada, sendo que, ainda assim, esta qualidade está intrinsecamente dependente das condições do local onde é captada, nomeadamente, com a proximidade a rodovias, a presença de vegetação arbórea, as actividades industriais presentes, entre outros (May, 2004).

Dada a sua origem, a água pluvial, normalmente, apresenta uma estabilidade química e biológica superior às outras origens (ressalvam-se certos casos de poluição do ar em que, efectivamente, a água se encontra contaminada mal atinge o solo) (Seinfeld, 1986).

A composição química das águas pluviais é resultado da composição química das gotículas que formam as nuvens, bem como das substâncias que se incorporam nessas mesmas gotas durante os eventos de precipitação. Assim, a água de origem pluvial, retrata, de certa forma, as características das massas de ar envolventes, no que diz respeito ao conteúdo de partículas e gases solúveis na água, através das quais as gotas atravessam durante a precipitação. Como evidência deste facto, pode observar-se a qualidade da água de origem pluvial em relação ao tempo, sendo este tempo referente a um evento de precipitação (Seinfeld, 1986).

Ainda assim, a água pluvial apresenta, na maioria dos casos, pequenos níveis de acidez (pH médio de 5,6), devido à existência de dióxido de carbono na atmosfera. Este CO<sub>2</sub>, ao reagir com água, leva a formação de ácido carbónico (H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>), surgindo através da dissolução do CO<sub>2</sub> nas nuvens (Seinfeld, 1986).

Os usos adequados a este tipo de sistemas podem ser os mais variados. Existe a possibilidade de tratar as águas pluviais até à sua potabilização, embora, na maioria dos casos, os usos dados a esta origem sejam maioritariamente secundários. Caso se proceda a essa potabilização, os parâmetros devem seguir o disposto na lei de cada país em particular, sendo que não existe legislação específica para os seus usos.

Em Portugal, deve obedecer-se ao disposto no Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto, e estar em conformidade com os tratamentos tradicionais. Por outro lado, os usos secundários relativos a este tipo de origem, prendem-se sobretudo com descargas domésticas, torneiras de jardim, lavagem de roupa, pavimentos e automóveis.

## **2.7.3) Impactes dos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais (SAAP)**

Como todos os outros processos de captação, os SAAP acarretam vantagens e desvantagens aquando da sua utilização.

A captação de água pluvial é uma prática muito difundida em alguns países, onde têm sido desenvolvidos novos sistemas deste tipo, possibilitando uma captação de boa qualidade de forma simples e económica. A utilização de água pluvial apresenta diversas vantagens, enumeradas de seguida (May, 2004):

- Redução dos consumos na rede pública e dos custos associados à produção de água através de sistemas tradicionais;
- Prevenção de cheias, em zonas significativamente impermeabilizadas;
- Em captações realizadas em telhados de edifícios ou casas, os investimentos são geralmente recuperáveis, embora o seu período de retorno possa ser extenso;
- Variados usos de água possíveis;
- Ecologicamente, faz sentido captar água em zonas impermeabilizadas. O ciclo “natural”, da deposição e transporte de água nestas zonas, não afecta directamente as necessidades dos ecossistemas e solos adjacentes a estas captações;
- Encoraja a conservação, a sustentabilidade e uma postura positiva perante os problemas ambientais associados a este recurso.

É também importante salientar que, para além de ser uma medida que contribui para a conservação deste recurso, a captação de água pluvial é uma medida que também contribui

para conservar energia, uma vez que são necessários poucos recursos energéticos para o funcionamento destes sistemas de captação.

No entanto, a captação de água pluvial também acarreta algumas desvantagens, sendo estas enumeradas de seguida (May, 2004):

- Custo de investimento significativo;
- A manutenção e a limpeza têm de ser frequentes, de forma a garantir o bom funcionamento deste tipo de sistemas;
- Limitação da capacidade de armazenamento, principalmente em períodos secos;
- Estes sistemas estão completamente dependentes da precipitação que se faz sentir nos locais onde são implantados, sendo que estes sistemas devem comportar-se como complementares aos sistemas tradicionais de abastecimento.

#### **2.7.4) Processos e tecnologias dos Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais**

A implantação deste tipo de sistemas requer estudos de viabilidade técnica e económica, que verifiquem o potencial económico do sistema e determinem a relação custo-benefício do mesmo.

Para captar água pluvial recorrem-se, maioritariamente, a dois métodos (The Texas Manual on Rainwater Harvesting, 2005):

- i. Captação através de escoamento superficial (captação inferior): principalmente em áreas impermeabilizadas, sendo que este escoamento pode até ser utilizado para recarga de aquíferos;
- ii. Captação em coberturas (captação superior): as coberturas representam, neste método, as áreas de captação, pelo que a água da chuva é captada na cobertura e armazenada num reservatório ou desviada para sistemas de recarga artificial. É o método mais barato e eficaz, caso seja implementado correctamente.

As principais componentes deste sistema de captação apresentam-se como (The Texas Manual on Rainwater Harvesting, 2005):

- i. Captação: a superfície que recebe a chuva capta-a directamente. Esta superfície pode ser uma cobertura, um terraço, um pátio ou um terreno aberto, podendo considerar-se que é a área responsável pela recolha de água;
- ii. Transporte: a água, previamente captada, deve ser para um reservatório;
- iii. *Firstflush*: é um dispositivo usado para descarregar a água da primeira chuvada, pois existe a necessidade de “lavar” o sistema para evitar a contaminação da água armazenada a jusante, através de contaminantes atmosféricos e que, eventualmente, se tenham depositado na superfície de captação. Este dispositivo deve encaminhar a primeira chuvada para a rede de águas residual;
- iv. Filtro: Os filtros são utilizados para remover a turbidez, cor e possíveis microrganismos. Após a primeira chuvada, a água captada deve passar pelos filtros, sendo estes, idealmente, compostos por três camadas diferentes.

Para viabilizar os processo de aproveitamento de água pluvial é necessário definir volumes de armazenamento e, ainda, dimensionar reservatórios de regularização. O dimensionamento destes reservatórios segue uma metodologia de cálculo específica, onde são analisados as diferentes necessidades de água (volumes), de acordo com o índice pluviométrico e com a área de captação disponível (Tomaz, 2003).

À escala industrial, o dimensionamento de reservatórios, para este tipo de aproveitamento, está associado à acumulação de água para eventuais períodos de seca, ou seja, concretizam uma regularização de vazão ao longo do ano. Este facto exige a construção de reservatórios com uma capacidade de armazenagem significativa, podendo inviabilizar a sua construção em situações específicas e, ainda, limitar o potencial de aproveitamento de água por limitação da sua disponibilidade (Tomaz, 2003).

## 2.8) Reciclagem e Reutilização de água residual

A reciclagem é um termo geralmente aplicado à transformação de um determinado resíduo numa matéria-prima pronta a ser utilizada, sendo que este termo pode ser também aplicado à água.

Através do ciclo hidrológico, o planeta tem a capacidade de reciclar a água de forma natural. A reciclagem artificial de água, por sua vez, refere-se apenas a projectos nos quais exista o uso de tecnologia que acelere o processo natural de reciclagem.

A reciclagem de água artificial, isto é, realizada pelas comunidades, concretiza-se em estações de tratamento de água residual ou a partir de efluentes finais gerados nas mesmas, para propósitos como regadio (incluindo agricultura), processos industriais, usos sanitários, lavagem de ruas ou até mesmo para recarga de aquíferos. Muitas das vezes, a água é reciclada e reutilizada *in situ*, como por exemplo, quando uma indústria utiliza água reciclada para processos de arrefecimento. Geralmente o termo reciclagem de água surge como sinónimo de reutilização de água residual.

A reciclagem de água pode ser caracterizada como planeada ou não planeada. A reciclagem não planeada surge quando uma comunidade utiliza uma origem superficial, como por exemplo um rio, cujo caudal afluyente é influenciado a montante por descargas de águas residuais, sendo exemplo as cidades que envolvem os Rios Mississippi e Colorado, nos Estados Unidos da América. Cada gota de água que circula nestes rios foi utilizada, tratada e bombeada, para o sistema de abastecimento de água, um número significativo de vezes antes de atingir o destino final que é, neste caso, o oceano (US EPA, 1992).

Embora a reciclagem de água seja maioritariamente utilizada para fins não potáveis, já existe um número de projectos significativos que incluem reciclagem de água para usos potáveis de forma directa e indirecta. Os usos indirectos referem-se a projectos onde a descarga de água reciclada é realizada para uma massa de água natural ou artificial, antes de ser reutilizada. Estes projectos incluem recarga de aquíferos e de reservatórios artificiais. Nos projectos que se destinam à recarga de aquíferos, a água reciclada pode ser injectada ou espalhada no solo com o objectivo de recarga ou para impedir intrusões salinas em zonas costeiras (US EPA, 1992).

Os usos directos referem-se a uma reciclagem de água para potabilização directamente após tratamento. Na Namíbia, existe uma estação de reciclagem de água, na cidade de Windhoek, que utiliza água residual tratada para produção de água potável, sendo que do volume total de água produzida para potabilização corresponde-lhe 30 % de água reciclada (Menge, 2007).

As águas residuais urbanas tratadas (ARUT), podem ser utilizadas de diversas formas como alternativa à descarga em meios hídricos ou no solo. Este tipo de projectos requer a determinação do nível de tratamento adequado, dependente dos usos, bem como a monitorização dos parâmetros-chave ambientais e de saúde pública, que são essenciais para o seu funcionamento.

Ainda assim, existem barreiras que devem ser ultrapassadas para se poderem implantar este tipo de projectos. Estas barreiras prendem-se essencialmente com aspectos de origem sociocultural, económica e ambiental.

As variadíssimas crenças culturais intrínsecas ao Homem, muitas vezes, são suficientes para assumir a impossibilidade de avançar com este tipo de projectos. A opinião pública é um factor-chave neste obstáculo ao avanço da utilização das ARUT. Muitas vezes, os projectos encontram-se bem planeados, nos quais todas as características e medidas de protecção à saúde pública são contempladas com sucesso e, ainda assim, os projectos não avançam meramente por rejeição pública. Torna-se assim essencial a transmissão de informação que seja conveniente às populações que se encontram directamente ligadas a este tipo de

projectos, para que estes sejam bem interpretados e, conseqüentemente, aceites pelo público em geral (Degremont, 2007).

Quanto aos factores económicos, estes são especialmente importantes quando a viabilidade de um novo projecto de ARUT se encontra sob avaliação. Um projecto que seja economicamente viável e apelativo, tem de ser acompanhado por um plano financeiro rigoroso, caso contrário corre-se o risco desse mesmo projecto ser inviabilizado. A análise económica procura assim estabelecer a viabilidade de um projecto de ARUT e compara as diferentes opções possíveis para esse mesmo projecto (Degremont, 2007).

Os custos associados a outros sectores, como a saúde e impactes ambientais, devem também ser incluídos nestas análises, podendo estas ser facilitadas pelos processos de tomada de decisão com múltiplos objectivos. É ainda importante estabelecer a viabilidade financeira de um projecto através da definição de fontes de rendimento, bem como as entidades que asseguraram o suporte desses custos (Degremont, 2007).

A utilização de águas residuais tratadas é praticada preferencialmente para usos que requerem maior procura deste recurso e que sejam compatíveis com a qualidade mais corrente dos efluentes finais de ETAR. A rega agrícola é o grande domínio de aplicação da reutilização de águas residuais, devido ao elevado consumo que apresenta (Degremont, 2007).

Esta necessidade diminui nos países de agricultura mais desenvolvida e aumenta nos restantes, mas a água é reutilizada para diversas outras finalidades, nomeadamente as seguintes, citadas por ordem decrescente de volume utilizado: a rega paisagística (aplicação na qual se destaca a rega de campos de golfe), a reutilização industrial (principalmente como reciclagem de água de arrefecimento), a recarga de aquíferos, determinados usos recreativos e ambientais, usos urbanos que não obrigam à utilização de água potável e até como reforço de origem de água bruta para produção de água para consumo humano (Degremont, 2007).

Em zonas áridas e semi-áridas, os projectos de utilização de ARUT tornam-se relevantes do ponto de vista ambiental. Muitas vezes, as águas residuais são origens de água e nutrientes para a agricultura nestes locais, podendo mesmo ser a única origem de água disponível. O uso de fertilizantes pode ser drasticamente diminuído através da promoção do uso de água residual reciclada, que contém nutrientes na sua composição (WHO, 2006).

### **2.8.1) Tratamento de águas residuais para reutilização**

A reutilização de água surge com a necessidade de suprir necessidades e baixar os custos de produção de água para os diferentes usos. A exigência crescente no que respeita à qualidade dos efluentes a descarregar justificou a definição de estratégias de utilização de água residual para os mais diversos fins.

No mundo, a reutilização de água surge associada a uma série de factores, incluindo (US EPA, 2004):

- Escassez de água e/ou secas, que é mais significativo em regiões áridas e semi-áridas. Nestes casos, a sustentabilidade da produção e dos usos é vital. Por outro lado, a recuperação de água é necessária para garantir a ausência de períodos de extrema seca, de forma a assegurar que as actividades humanas se continuam a desenrolar sem problemas;
- Aumento da procura, nomeadamente para sustentar o crescimento das populações e/ou o crescimento industrial. Mais significativo em zonas áridas e semi-áridas, países em desenvolvimento e em transição;
- Factores socioeconómicos, preocupações de saúde pública, introdução de novos regulamentos, políticas e incentivos económicos revelam-se importantes para a implementação de projectos de reutilização de água. O aumento dos custos de produção em países desenvolvidos é um exemplo que pode promover a implementação de projectos de reutilização de água residual;
- Na generalidade dos países industrializados, a combinação de factores como a necessidade de gestão de águas residuais e a protecção ambiental, representam

factores emergentes para este tipo de projectos. Em zonas onde as descargas são mais restrictas, como é o caso da Europa, Estados Unidos da América e Austrália, a reutilização de águas residuais é uma alternativa muito competitiva para tratamentos mais avançados, tanto ambientalmente como economicamente;

- Nos países em desenvolvimento, a garantia de saúde pública é peça chave. O difícil acesso a origens de água leva a que muitas vezes exista irrigação agrícola com águas residuais não tratadas.

A água reciclada pode satisfazer a maioria da procura, desde que seja adequadamente tratada e garanta a qualidade apropriada para os usos subjacentes. A Tabela 7 mostra, segundo a Agência de Protecção Ambiental dos EUA (US EPA), os processos de tratamento e os usos sugeridos para cada nível de tratamento. Quanto maior for a exposição humana a esta origem, maior será o tratamento requerido para a mesma. Existem diversos problemas que podem surgir caso o tratamento seja insuficiente ou incorrecto, comprometendo a qualidade da água através de organismos patogénicos e/ou outros contaminantes perigosos para a saúde Humana (US EPA, 1991).

**Tabela 7 - Tratamento e usos de água reciclada para fins não potáveis (adaptado de US EPA, 1991)**

<b>Tratamento sugerido de água reciclada e usos adjacentes</b>		
<b>Decantação Primária</b>	<b>Tratamento secundário: Oxidação Biológica e Desinfecção</b>	<b>Tratamento terciário/avançado: Coagulação, Filtração e Desinfecção</b>
Sem usos recomendados	Irrigação superficial de vinhas e pomares	Rega de campos de golfe
	Irrigação não destinada a agricultura	Usos sanitários
	Irrigação de jardins/paisagens restrictas às actividades humanas	Lavagem de veículos e ruas
	Recarga de aquíferos para fins não potáveis	Agricultura
	Pantanaís e habitats selvagens	Usos recreativos não restrictos a actividades humanas
	Processos industriais de arrefecimento	Usos potáveis indirectos: recarga de aquíferos potáveis e/ou recarga de massas de água artificiais

### **2.8.2) Tecnologias de desinfecção em ARUT**

Os sistemas de tratamento de águas residuais são compostos por várias fases. Os sistemas correspondentes à fase biológica ou secundária do tratamento, como por exemplo os sistemas de lamas activadas, retiram a maioria dos compostos orgânicos das águas residuais, para que estas possam ser enviadas a destino final, procurando minimizar impactes sobre os ecossistemas e sobre a saúde pública. Ainda assim, estes efluentes tratados não têm qualidade suficiente para serem reutilizados para a maioria dos usos, sendo portanto necessário proceder a tratamentos mais avançados para este efeito, nomeadamente a uma etapa de desinfecção ou terciária. Os processos de desinfecção associados a águas residuais têm como principal objectivo a remoção de organismos patogénicos.

Apesar de existir uma elevada gama de tecnologias de desinfecção, apenas a cloragem, a radiação ultra violeta e a ozonização se destacam como tecnologias capazes de ser utilizadas a uma escala industrial. Ainda assim, processos como a cloragem têm caído na sua utilização e sido substituídos por sistemas combinados, que incluem a junção de pelo menos dois dos processos de desinfecção acima referidos (US EPA, 2004).

Existe um outro processo emergente, capaz de competir com os sistemas de desinfecção tradicionais, garantindo uma filtração e desinfecção adequada a usos secundários: o sistema Bio-Reactor de Membrana (MBR).

### 2.8.2.1) Cloragem

A cloragem, apesar de já ter tido uma maior utilização do que a que tem actualmente, ainda é o método desinfectante mais utilizado à escala global, destruindo os microorganismos presentes na água através da oxidação do seu material celular (US EPA, 1999).

A cloragem pode ser realizada através de diferentes métodos, sendo este o processo de desinfecção mais económico. Este composto pode ser utilizado na forma gasosa (gás de cloro), líquida (Hipoclorito de sódio) e sólida (Hipoclorito de cálcio). A escolha do desinfectante a utilizar no tratamento está dependente dos seguintes critérios (US EPA, 1999):

- Capacidade para destruir agentes infecciosos em condições normais de operação;
- Dificuldade e perigosidade de manuseamento, transporte e armazenamento;
- Ausência de resíduos tóxicos residuais, mutagénicos ou cancerígenos após a desinfecção;
- Capital disponível para operação e manutenção.

Este processo apresenta vantagens e desvantagens em relação a outros processos de desinfecção, de acordo com o apresentado na Tabela 8.

**Tabela 8 – Vantagens e desvantagens da utilização de cloro como desinfectante (adaptado de US EPA, 1999)**

Vantagens	Desvantagens
Tecnologia conhecida e bastante desenvolvida	O cloro residual, até em pequenas concentrações, é tóxico para a vida aquática, podendo requerer remoção desse mesmo cloro antes de atingir o meio receptor final
Maior custo eficácia que qualquer outro método	Todas as formas de cloro são altamente corrosivas e tóxicas. Assim, o armazenamento, transporte e o manuseamento têm riscos, necessitando deficiente controlo e monitorização
Deixa um residual que promove oxidação durante um espaço de tempo considerável	A oxidação de matéria orgânica cria compostos perigosos, como trihalometanos
Grande espectro de eliminação de organismos patogénicos	A concentração de sólidos dissolvidos aumenta no efluente final
Eficiente na oxidação de certos compostos orgânicos e inorgânicos	Algumas espécies parasitoides mostram resistência a pequenas doses de cloro
Controlo de doses muito flexível	Não se conhecem os efeitos a longo prazo de descargas sucessivas de compostos organoclorados sobre os ecossistemas
Capaz de eliminar certos odores durante a desinfecção	Ineficaz na eliminação de vírus

### 2.8.2.2) Ozonização

O ozono (O<sub>3</sub>) é produzido nas ETAR através da imposição de uma corrente eléctrica de alta voltagem sobre o oxigénio, provocando a colisão das moléculas de O<sub>2</sub> e, conseqüentemente, formando O<sub>3</sub>. O ozono é produzido *in-situ* pois é extremamente instável e decompõe-se em oxigénio num curto espaço de tempo, inviabilizando assim o seu transporte (US EPA, 1999).

O ozono é um oxidante forte e anti viral. Os mecanismos de desinfecção através de ozono incluem (US EPA, 1999):

- Destruição/oxidação da parede celular que verte os compostos celulares para fora das células;

- Reacções com subprodutos de radicais produzidos através da decomposição de ozono;
- Danificando os constituintes dos ácidos nucleicos, nomeadamente purinas e pirimidinas.

A efectividade da oxidação por ozono depende da susceptibilidade dos organismos ao ozono, do tempo de contacto e da concentração de ozono utilizada. Genericamente, o ozono é utilizado nas estações de tratamento médias e grandes, sendo também muitas vezes escolhido devido seu poder de desodorização. Esta tecnologia não é recente, sendo já utilizada no mundo há décadas. A oxidação através de ozono tem capacidade para atingir níveis de desinfecção mais significativos quer que a cloragem, quer que o UV. Ainda assim, os custos associados à instalação e à manutenção não são, muitas vezes, suficientemente competitivos face a outros sistemas de desinfecção. Assim sendo, o ozono é, na maioria das vezes, utilizado primariamente para casos específicos onde outras alternativas não são viáveis (US EPA, 1999).

O ozono apresenta vantagens e desvantagens na sua utilização, que se apresentam na Tabela 9.

**Tabela 9 - Vantagens e desvantagens da utilização de ozono como desinfectante (adaptado de US EPA, 1999)**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Maior eficiência que o cloro na eliminação de vírus e bactérias	Pequenas dosagens podem não ser suficientes para a eliminação de alguns vírus, esporos e cistos
Tempos de contacto curtos, entre 10 a 30 minutos	A ozonização é uma tecnologia mais complexa que a cloragem e a desinfecção ultravioleta, requerendo equipamentos mais complexos e sistemas de contacto mais eficientes
Não deixa nenhum residual tóxico	O ozono é um compostos muito reactivo e corrosivo, requerendo assim materiais resistentes à corrosão
Após ozonização não há crescimento de microrganismos, exceptuando situações onde estes estão protegidos por partículas presentes no efluente	Não é um processo economicamente viável para águas residuais com níveis elevados quer de sólidos suspensos, quer de carência bioquímica de oxigénio, carbono orgânico total ou carência química de oxigénio
É produzido <i>in-situ</i> e, portanto, há menos perigosidade associada ao transporte e manuseamento	É extremamente irritante e potencialmente tóxico. O ozono que não reagiu deve portanto ser destruído para prevenir contacto
A ozonização eleva as concentrações de oxigénio dissolvido no efluente, podendo eventualmente eliminar a necessidade de arejamento a montante do mesmo	Os custos de tratamento e de produção de ozono são relativamente altos

### 2.8.2.3) Radiação Ultravioleta

Um sistema típico de desinfecção por radiação ultravioleta actua através da transferência de energia electromagnética de uma lâmpada de mercúrio para o material genético de um organismo, nomeadamente o ADN e ARN. Quando a radiação ultravioleta penetra a parede celular de um organismo, a capacidade desse organismo para se reproduzir é eliminada (US EPA, 1999).

A eficiência da desinfecção através de radiação UV depende das características da água residual, da intensidade da radiação UV, do tempo de contacto e da configuração do reactor onde está inserido (US EPA, 1999).

O comprimento de onda óptimo para a inactivação eficiente dos organismos deve situar-se entre os 250 e os 270 nanómetros, sendo que a intensidade da radiação diminui com a

distância do efluente à lâmpada. Existem essencialmente duas configurações possíveis para a desinfecção por UV: com contacto e sem contacto.

Este tipo de sistemas são escolhidos através da avaliação de alguns pontos críticos, enunciados de seguida (US EPA, 1999):

- Propriedades hidráulicas do reactor: o ideal é que o efluente que circula no sistema de desinfecção por UV tenha um movimento uniforme e uma mistura radial suficiente para maximizar a exposição a radiação. O caminho que os organismos percorrem dentro do reactor determina a quantidade de radiação necessária para a sua inactivação, sendo que estes reactores devem ser construídos de forma a eliminar curtos circuitos e/ou zonas mortas, que podem resultar num uso ineficiente de energia e tempos de contacto demasiadamente reduzidos;
- Intensidade da radiação UV: a idade das lâmpadas, a cobertura das lâmpadas e a configuração e distribuição das lâmpadas dentro do reactor;
- As características da água residual: incluem o caudal, sólidos suspensos, densidade bacteriana a jusante do tratamento e outros parâmetros físicos e químicos.

Este tipo de desinfecção acarreta vantagens e desvantagens, como todos os outros, sendo estas enunciadas na Tabela 10.

**Tabela 10 - Vantagens e desvantagens da utilização de UV (adaptado de US EPA, 1999)**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Eficiente na inactivação da maioria dos vírus, esporos e cistos	Dosagens insuficientes podem não inactivar alguns organismos
É um processo físico, ao contrário da maioria dos outros processos enunciados (químicos), eliminando assim a necessidade de produção, manuseamento e transporte, bem como a armazenagem de subprodutos tóxicos ou corrosivos	Algumas vezes, os organismos conseguem reparar e reverter os efeitos da radiação UV, através de mecanismos de reparação próprios, como a foto reactivação, ou na ausência de luz ( <i>darkrepair</i> )
Não deixa qualquer residual prejudicial a saúde humana ou nocivo para habitats naturais	Um programa de monitorização é necessário para controlar a saída e entrada de efluente
Não é perigoso para os operadores das estações de tratamento	A turbidez e os sólidos suspensos totais na água residual podem comprometer o tratamento. A desinfecção por UV de baixa pressão não são eficientes para efluentes com teores de SST maiores que 30 mg/L
Tem um tempo de contacto mais curto que os outros desinfectantes, que se situa aproximadamente entre os 20 e os 30 segundos, em lâmpadas de pressão baixa.	A desinfecção UV não é tão custo eficaz como a cloragem, embora seja competitivo contra sistemas de cloragem que contenham, em simultâneo, sistemas de destruição de cloro
Os órgãos de contacto são mais pequenos e portanto requerem menos espaço para a sua operação	

### 2.8.3) Sistemas MBR

Os custos deste sistema, outrora não competitivos, encontram-se em ascensão no mercado de desinfecção em ETAR. Estes, oferecem uma alternativa viável de desinfecção para aplicações de reutilização de águas residuais. A tecnologia do Bioreactor de Membrana (MBR, do inglês *Membrane Bioreactor*) baseia-se na tecnologia de lamas activadas e numa filtração por membranas em simultâneo, onde os microrganismos são parcialmente ou totalmente eliminados através de separação física (Degremont, 2007).

Compostos por membranas, estas encarregam-se de actuar como barreiras físicas, limitando apenas a passagem à água e às substâncias nela dissolvidas (Degremont, 2007).

Este processo acarreta vantagens e desvantagens, que são apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11 - Vantagens e desvantagens dos sistemas MBR (Degremont, 2007)**

<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Efluente de qualidade elevada	Membranas são dispendiosas
Redução do volume de lamas (baixa carga)	Só é realmente competitivo em instalações de grande dimensão
Flexível se necessária expansão do tratamento	
Compactação do sistema elevada	

#### **2.8.4) Impactes das águas residuais urbanas tratadas**

Para além de promover uma nova origem de água, controlada localmente, a reutilização de água residual pode trazer inúmeros benefícios ambientais. Através da promoção desta origem, a reutilização de água residual ajuda a minimizar os impactes nas origens naturais, que podem ser mais sensíveis na sua exploração, bem como concorre para a conservação dos meios receptores. Outros benefícios incluem a redução de descargas de águas residuais, reduzindo e prevenindo eventuais focos de poluição. A água reciclada pode também criar ou melhorar habitats que se encontrem em défice hídrico, rejuvenescendo-os (US EPA, 1992).

Ainda assim, para além dos impactes positivos, existem também impactes negativos associados à reutilização de águas residuais, sendo que estes impactes dependem fundamentalmente do planeamento e da gestão que for praticada. Caso não haja regulação adequada, a rega com águas residuais pode apresentar sérios riscos para a saúde pública, nomeadamente a exposição de comunidades a agentes patogénicos, metais, disruptores endócrinos e até mesmo compostos farmacêuticos (Stagnitti F. *et al.*, 1998).

Existem também uma série de potenciais impactes negativos/condicionantes que decorrem da reutilização de águas residuais. A Tabela 12, evidencia as condicionantes associadas a esta reutilização de águas residuais para diferentes fins.

**Tabela 12 - Condicionantes/impactes associados à reutilização de efluentes urbanos tratados (adaptado de Metcalf & Eddy, Inc. (2003))**

<b>Reutilização de efluentes para os diversos fins</b>	<b>Condicionantes/impactes associados</b>
Irrigação paisagística, inclui: parques públicos, cemitérios, faixas de autoestradas, campus universitários, campos de golfe e zonas verdes no geral	Possível aumento da concentração de sais nos solos e nas culturas; possível perigo de contaminação das comunidades através de agentes patogénicos;
Irrigação de campos para cultivo, inclui: agricultura e viveiros ornamentais;	Possível contaminação das águas superficiais e subterrâneas caso os processos sejam inadequados; comercialização pode ficar comprometida bem como a aceitação pública dos produtos
Recarga de aquíferos, inclui: recarga potável, controlo de intrusões salinas	Possível contaminação de aquíferos utilizados para extracção de água para consumo; produtos químicos orgânicos nos efluentes tratados possivelmente tóxicos; teores de sólidos dissolvidos, nitratos e agentes patogénicos aumentam;
Usos industriais, inclui: refrigeração, alimentação de caldeiras, águas de processamento	Possível corrosão, crescimento biológico e incrustação através dos constituintes dos efluentes nas tubagens e órgãos adjacentes; possíveis problemas com libertação de aerossóis com agentes patogénicos, através da refrigeração;
Usos ambientais, inclui: aumento de caudais de linhas de água, lagos e indústrias pesqueiras	Possibilidade de presença de bactérias e/ou vírus nos efluentes tratados; toxicidade para o meio aquático; eutrofização através de azoto e fósforo nos destinatários finais; possível surgimento de agentes patogénicos através da libertação de aerossóis;

<b>Reutilização de efluentes para os diversos fins</b>	<b>Condicionantes/impactes associados</b>
Usos urbanos não potáveis, inclui: combate a incêndios, descarga de sanitas, sistemas de ar condicionado, lavagem de veículos, ruas, mobiliário, entre outros	Possibilidade de corrosão, incrustação e crescimento biológico de agentes patogénicos; ligações entre redes não potáveis e potáveis é um risco;
Usos urbanos potáveis	Possibilidade dos efluentes tratados conterem vestígios químicos orgânicos com efeitos tóxicos; carece de aceitação pública;

Pesando as vantagens e desvantagens da reutilização de efluentes tratados, o balanço pode considerar-se positivo, traduzindo-se em benefícios ambientais e económicos. Ainda assim, este tipo de projectos requerem competência na sua implementação, caso contrário correm-se sérios riscos, não só ambientais mas, principalmente, de saúde pública.

### **2.8.5) Normas para águas residuais urbanas tratadas em Portugal continental**

Em Portugal, nos últimos anos, as condições climáticas têm sofrido mudanças, nomeadamente nos períodos de seca, que se tornaram mais longos e recorrentes, facto que alguns autores admitem ser uma consequência das mudanças climáticas. Assim, a rega agrícola e urbana, bem como certos processos industriais, têm sido prioridade na aplicação de projectos de ARUT, minimizando a extracção a partir de origens tradicionais, pelo facto de serem processos considerados secundários, onde a sua utilização coloca menos riscos para a saúde pública.

Apesar de não haver legislação específica para o tratamento de águas residuais para reutilização, existe uma norma, a Norma Portuguesa NP 4434:2005, que estabelece requisitos de qualidade para as ARUT, nomeadamente para processos de regadio, escolha de equipamentos e medidas de protecção e monitorização ambiental, bem como a execução das regas. Salienta-se ainda que águas residuais industriais e/ou agrícolas estão excluídas do âmbito da NP 4434:2005.

A necessidade de uma NP relativa a reutilização de águas residuais justifica-se através dos seguintes pontos:

- A reutilização de água deve ser um princípio subjacente à política racional de gestão dos recursos hídricos;
- A reutilização para regadio constitui o domínio de aplicação preferencial para este tipo de projectos;
- Regiões como o Algarve, Alentejo, Ribatejo e Regiões Autónomas, possuem zonas que sofrem de escassez hídrica para regadio durante parte do ano;
- Os efluentes provenientes de ETAR atingem, anualmente, cerca de 600 milhões de metros cúbicos, que na sua maioria não são reutilizados;
- Existem benefícios técnicos, ambientais e sócio económicos agregados a esta reutilização;

O desenvolvimento da reutilização de águas residuais urbanas tratadas deve fazer-se de forma sustentada, ou seja, que não comprometa as vantagens referidas anteriormente. A sustentabilidade destes projectos assenta, principalmente, em documentos que definem critérios de boas práticas, tendo em consideração as especificidades nacionais/regionais relativas ao tipo de efluentes, às culturas e práticas agrícolas, ao tipo de solos e ao clima onde estes projectos se inserem.

## 2.9) Sistemas de abastecimento e saneamento de água

Um sistema completo de água divide-se em múltiplos subsistemas com diferentes funções. Seguidamente, apresentam-se os subsistemas típicos de um sistema de abastecimento e drenagem de águas residuais (Degremont, 2007):

- **Captação:** captação a água bruta de uma origem, seja ela superficial, subterrânea ou marítima, fornecendo o sistema inteiro de acordo com as disponibilidades e necessidades do mesmo;
- **Elevação:** onde se fornece energia para elevar a água em relação ao consumidor final, através de estações de bombagem elevatórias;
- **Adução:** encarrega-se do transporte da água desde a origem até à distribuição;
- **Tratamento:** tratamento da água, até esta se tornar potável. Este subsistema tem de obedecer a determinadas regras, respeitando as leis-vigentes de cada país em particular;
- **Armazenamento:** Armazenamento a água antes de esta ser distribuída, tendo funções de regulação de consumos e de reserva;
- **Distribuição:** Distribuição de água, através de tubagens, desde o subsistema adução até aos consumidores;
- **Drenagem:** recolha e do transporte de águas residuais;
- **Elevação residual:** à semelhança do subsistema de elevação, fornece energia a águas residuais para as elevar;
- **ETAR:** tratamento de águas residuais, de acordo com a lei-vigente de cada país em particular;
- **Emissário:** transporte, entre o final de uma rede e o local de rejeição, das águas residuais.

A Figura 15 mostra um sistema completo de água modernizado, contemplando recirculação para não domésticos, bem como o tratamento de lamas produzidas nas ETAR.

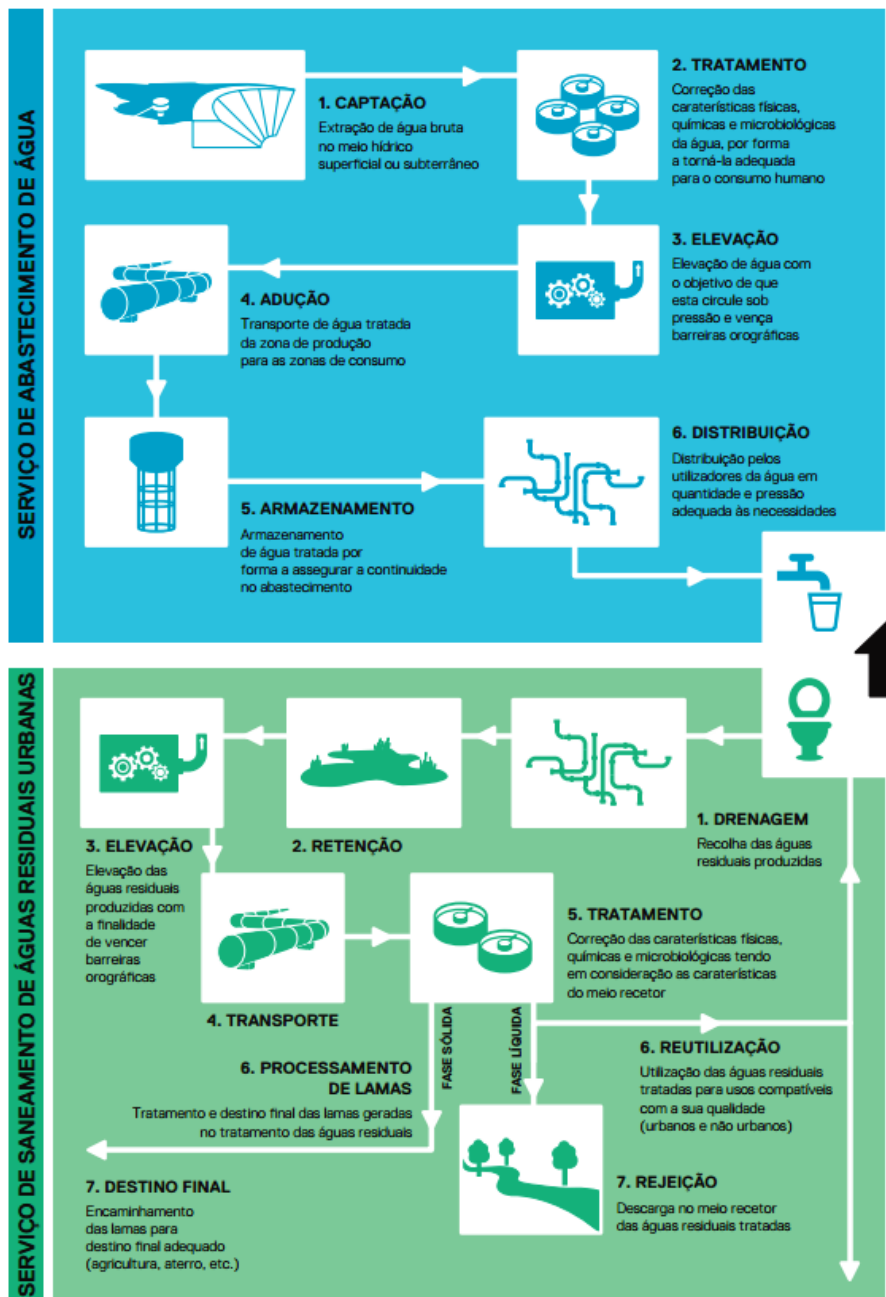


Figura 15 - Sistema de abastecimento e drenagem de águas (ERSAR, 2012).

### 2.9.1) Sistemas duais e sistemas múltiplos de abastecimento

Muitas das actividades que recorrem ao uso de água proveniente de redes públicas poderiam ser realizadas com recurso a origens de água alternativas. Dos principais elementos, sobre os quais se devem concentrar os esforços para inverter a situação actual, destaca-se o sector hoteleiro, em particular o Algarve e as Regiões Autónomas, nomeadamente, as zonas adjacentes a este sector, onde existem campos de golfe, lavagens automáticas de veículos, lavandarias e condomínios (ERSAR, 2012).

Seja qual for o uso secundário dado as ARUT, o objectivo é aquele que leva à sustentabilidade dos recursos hídricos e, particularmente, do empreendimento onde se insere o projecto.

Os sistemas duais caracterizam-se por conterem dois sistemas de abastecimento de água distintos, ou seja, um sistema de abastecimento de água potável e outro sistema de

abastecimento para usos secundário (Tang, 2007). A origem de água, referente ao abastecimento potável, pode ser de origem subterrânea, superficial, pluvial e marítima (Tang, 2007).

Se for dimensionado e construído de origem, este tipo de sistemas apresentam vantagens claras em relação aos sistemas tradicionais de abastecimento, sendo a sua única desvantagem a possibilidade de contaminação da rede potável, a qual se pode evitar, através de determinadas regras de afastamento e protecção de tubagens. As vantagens deste tipo de sistemas encontram-se, maioritariamente, a nível económico e ambiental. Estes sistemas permitem poupar capital na produção de água potável, aproveitando a água residual para utilizações que outrora dependiam da produção de água potável. Assim, o volume de água captado para potabilização torna-se menor, permitindo uma extracção menos significativa das origens tradicionais, o que se traduz em benefícios ambientais e numa melhor sustentabilidade dessas origens (Tang, 2007).

A rede de distribuição para usos secundários será tanto mais cara quanto maior for a extensão e dimensão do percurso onde está inserida. Idealmente, estes devem ser projectados de acordo com a localização da ETAR, sendo que quanto mais próxima esta se situar dos possíveis usos secundários, mais económico será o projecto (Levy, 2006).

Os sistemas que utilizem água do mar para abastecimento potável, agregada à reutilização de água residual, são denominados Sistemas Duais com dessalinização. O subsistema de adução, para os casos de dessalinização é, normalmente, menos oneroso que os tradicionais, pois a maioria dos aglomerados urbanos situam-se nas orlas costeiras (Tang, 2007).

Os sistemas que englobem todas as origens anteriormente referidas, ou seja, dessalinização, captação tradicional e reutilização de água residual, denominam-se Sistemas com Origens Múltiplas (Tang, 2007). Este será o principal sistema a ser estudado nesta dissertação, dadas as características do caso de estudo considerado.

### **3) Caso de estudo**

O caso de estudo escolhido para desenvolvimento e aplicação da metodologia proposta para a prossecução dos objectivos foi a ilha do Porto Santo, no arquipélago da Madeira.

Tendo em conta a sua localização e as características hidrológicas, geológicas, fisiográficas e climáticas que possui, achou-se que Porto Santo seria um caso de estudo adequado, para analisar a questão de disponibilidades *versus* necessidades de água, englobando um sistema de abastecimento de origens múltiplas.

#### **3.1) Metodologia**

Para se definirem os melhores usos consoante as disponibilidades foi desenvolvida uma metodologia de trabalho, de acordo com o apresentado de forma resumida na Figura 16.

Primeiramente, foi realizada uma caracterização das disponibilidades e das necessidades, através de dados disponibilizados, bem como através de algumas estimativas, quando isso se revelou necessário. Seguidamente, foram elaborados uma série de pressupostos de qualidade e quantidade, que foram ao encontro do estipulado por lei e que garantem a eficiência e a salubridade dos sistemas de distribuição e de drenagem.

Após esta caracterização, foi definido o cenário actual base, referente à segunda parte da metodologia, que traduz o comportamento das disponibilidades e necessidades, anuais e mensais, e ainda as falhas e compensações necessárias para a garantia do abastecimento de água na ilha do Porto Santo. Foi ainda realizada uma validação dos dados através de comparações com alguns valores disponibilizados pelas Águas e Resíduos da Madeira. Por último, foram calculados os custos associados ao tratamento de águas residuais e à dessalinização.

A terceira parte da metodologia passou pela elaboração de cenários extremos, isto é, cenários onde se evidenciam contingências pontuais, para perceber como reagiria o sistema a eventuais situações extremas ou de risco.

Foi ainda elaborada uma discussão dos cenários extremos bem como apresentadas soluções para os problemas identificados, tendo em conta as infraestruturas de reserva na ilha e a capacidade da dessalinizadora em suprir as falhas no abastecimento.

Por último, foi elaborada uma lista de eventuais incertezas metodológicas, intrínsecas às estimativas efectuadas, bem como de futuras recomendações para o bom funcionamento do sistema.

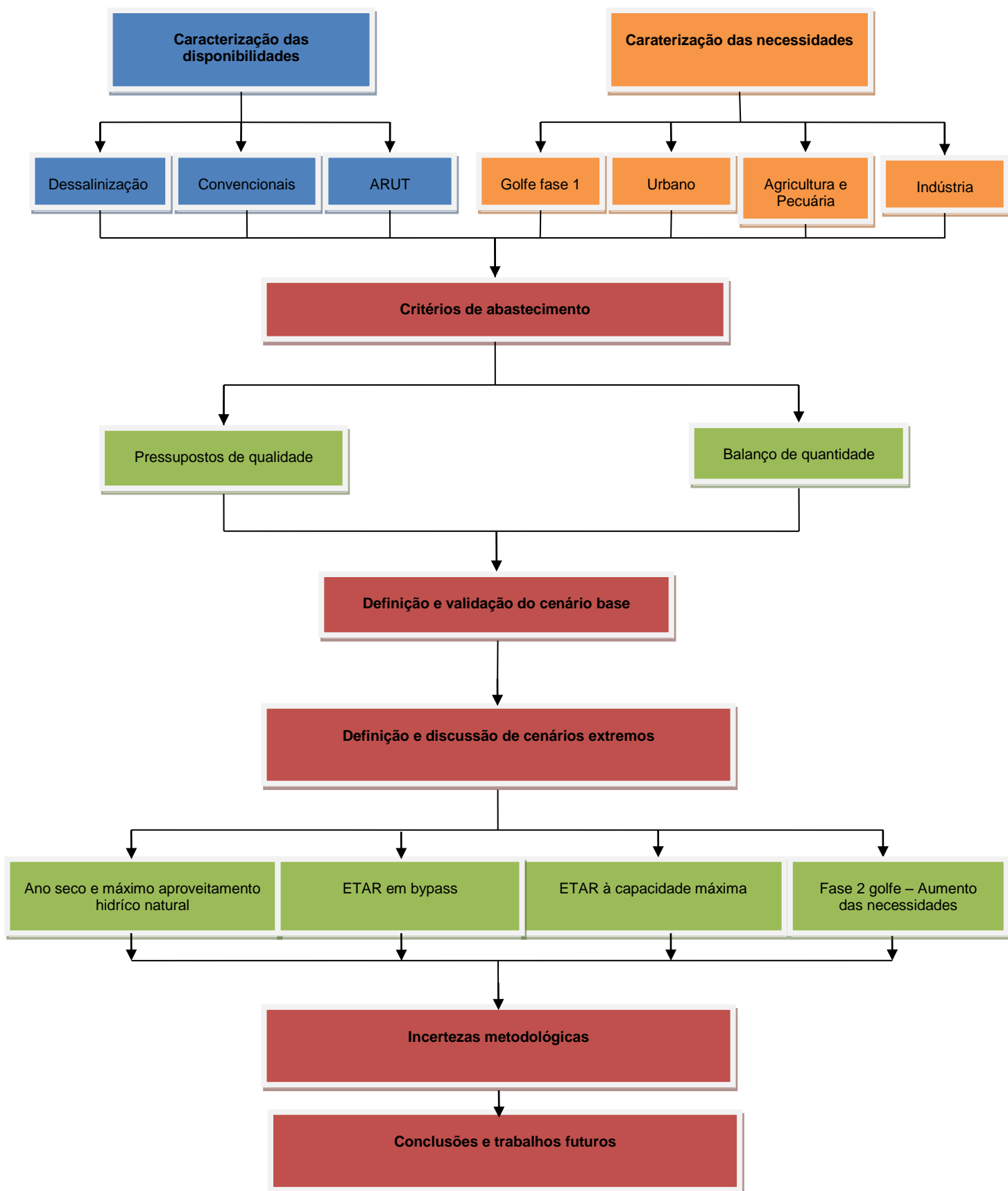


Figura 16 – Representação esquemática da metodologia proposta

### 3.2) Caracterização da ilha do Porto Santo

Sendo a menor das duas ilhas habitadas no arquipélago da Madeira, Porto Santo é uma das regiões ultraperiféricas da União Europeia, situando-se no Atlântico Norte. Esta ilha dista cerca de 900 km do arquipélago dos Açores e de Portugal Continental. Os territórios mais próximos são as ilhas das Canárias, estando a cerca de 500 km de Tenerife, e a costa Africana, da qual dista cerca de 800 km, de acordo com o Plano de Acção para a Energia Sustentável da Ilha do Porto Santo (PAESIPS, 2012).

A área terrestre da ilha é de 42,5 km<sup>2</sup>, apresentando um relevo mais suave que a ilha da Madeira. Cerca de 40 % da ilha situa-se abaixo dos 50 m de altitude e a maior parte, 54 %, situa-se entre os 50 e os 200 m de altitude, correspondendo esta área a cerca de 23 km<sup>2</sup> (PAESI PS, 2012).

Na ilha predomina a aridez, sendo o uso agrícola do solo pouco variado e do tipo extensivo, predominando a vinha no centro da ilha. A ocupação agrícola representa cerca de 10 % da área total, e a floresta exótica 15 % (França e Almeida, 2003).

Na Tabela 13 apresentam-se as principais características físicas da ilha do Porto Santo.

**Tabela 13 - Características físicas da ilha do Porto Santo (França e Almeida, 2003)**

Características	
Altitude média	86 m
Pico mais alto	Pico do Facho (517 m)
Declive médio	26 %
Perímetro	69,5 km
Área	43 km <sup>2</sup>
Solos predominantes	Calcissolos (40 %)
Temperatura média diária	
Máxima (Agosto)	25,9 ° C
Mínima (Fevereiro)	13,5°C
Precipitação anual média ponderada	355 mm
Latitude	33° N

#### 3.2.1) Clima e características edafoclimáticas

Porto Santo tem um clima semiárido do tipo estepário (classificação climática de Koppen-Geiger) (IPMA, s.d), apresentando uma evapotranspiração superior à precipitação anual. A precipitação é escassa e concentrada sobretudo no inverno. Os valores médios de precipitação em Porto Santo encontram-se expressos na Tabela 14.

**Tabela 14 - Precipitação em Porto Santo (IPMA, 2015)**

Dias sem precipitação	Máxima de precipitação diária	Mês com maior precipitação		Mês com menor precipitação	
		Designação	Total (mm)	Designação	Total (mm)
N.º	mm				
244	33	Novembro	82	Junho	0,5

Como se pode verificar através da Tabela 15, as variações de temperatura média são pouco significativas, considerando-se o clima ameno durante o ano inteiro.

**Tabela 15 - Temperatura em Porto Santo (IPMA, 2015)**

Mês mais quente				Mês mais frio			
	Média de temperatura mensal (° C)				Média de temperatura mensal (° C)		
Designação	Média	Mínima	Máxima	Designação	Média	Mínima	Máxima
Agosto	23,1	20,3	25,9	Fevereiro	16	13,5	18,6

### 3.2.2) Economia

O clima ameno e a natureza paisagística da ilha do Porto Santo tornam esta num destino turístico de excelência, sendo este a principal indústria na ilha do Porto Santo. Além do turismo convencional, existe ainda um campo de golfe: o Porto Santo Golfe, que foi anfitrião, em 2009, do *Madeira Open Islands*, como parte do Circuito Europeu. Até ao momento, este campo inclui 18 buracos principais e 9 buracos para iniciados. O complexo de golfe inclui ainda oito cortes de ténis e um centro equestre (PS GOLFE, 2015).

Para além da principal actividade económica ser o turismo (PAESIPS, 2012), podem-se enumerar as seguintes actividades económicas na ilha do Porto Santo:

- Agricultura, produção animal, caça e pesca;
- Indústrias extractivas, transformadoras; produção e distribuição de electricidade, gás, vapor e ar frio, saneamento e gestão de resíduos;
- Construção;
- Comércio por grosso e a retalho, reparação de veículos automóveis e motociclos, transportes e armazenagem, actividades de alojamento e restauração.
- Informação e comunicação;
- Actividades financeiras e de seguros;
- Actividades imobiliárias;
- Administração pública e de defesa, segurança social, educação, saúde e acção social;
- Actividades artísticas e de espetáculos, reparação de bens de uso doméstico e outros serviços.

Sectorialmente, o paradigma de actividades tem vindo mudar. O abandono gradual dos terrenos agrícolas, que resulta da dinâmica de desenvolvimento da ilha nos últimos anos, foi dando lugar a um aumento de actividades no sector secundário e, principalmente, no sector terciário (Drumond, 2009).

Sendo este local significativamente dependente de uma boa gestão dos seus recursos hídricos, o Governo Regional atribuiu à entidade Águas e Resíduos da Madeira (ARM), as competências da gestão dos recursos hídricos na ilha, tendo esta entidade o objectivo de gerir:

- Dessalinização;
- Distribuição em alta e em baixa;
- Irrigação agrícola;
- Drenagem supramunicipal;
- Destino final das águas residuais urbanas.

### 3.2.3) Demografia

Antes de ser proceder ao estudo das disponibilidades e necessidades na ilha do Porto Santo é necessário compreender como se comporta a sua população residente e flutuante. Para tal, foram utilizados dados relativos ao ano de 2013, que se encontram disponíveis na Direcção Regional de Estatística da Madeira, nomeadamente a população flutuante total, a população residente total, as taxas de ocupação na hotelaria e o número de camas em hotéis na ilha do Porto Santo. Seguidamente, na Tabela 16, apresentam-se esses valores.

**Tabela 16 - Dados populacionais segundo DREM 2013**

Mês	Taxa ocupação hoteleira	Nr.º camas em hotéis	População residente	População flutuante
	(DREM 2013) %	(DREM 2013)	(DREM 2013) hab.	(DREM 2013) hab.
Janeiro	8,6	1 663	5 229	339
Fevereiro	9,2			414
Março	9,4			1 260
Abril	15,2			2 632
Maió	39,6			5 302
Junho	63,8			7 949
Julho	75,0			11 025
Agosto	90,5			14 003
Setembro	65,8			9 578
Outubro	33,1			4 864
Novembro	16,3			1 010
Dezembro	11,4			831

Será ainda necessário perceber que tipo de alojamento frequenta a população flutuante, dada a necessidade de atribuir capitações consoante o local de dormida. Para saber a população que frequenta hotéis (1) ou casas de aluguer e campismo (2), foram utilizadas as seguintes equações:

$$\text{Hóspedes em Hóteis} = \frac{\text{Nr.º de camas em hotéis} * \text{Taxa de ocupação hoteleira}}{100} \quad (1)$$

$$\text{Hóspedes em quartos de aluguer} = \text{Pop. flutuante total} - \text{Hóspedes em Hóteis} \quad (2)$$

Segundo as estatísticas disponíveis na DREM, as dormidas em parques de campismo atingem o seu pico de afluência em Agosto, onde surgem cerca de 500 hóspedes. Como se pode verificar na Tabela 16, este valor é inexpressivo face aos restantes estabelecimentos, sendo que em Agosto a afluência total de hóspedes ronda os 14 mil, razão pela qual não se consideraram capitações diferentes para este tipo de alojamento.

A Tabela 17, que se segue, exprime os resultados obtidos através das anteriores equações.

**Tabela 17 - Nr.º de Hóspedes consoante tipo de residência**

Mês	Nr.º total de hóspedes	Nr.º de hóspedes em hotéis	Nr.º de hóspedes em casas de aluguer/parque de campismo
	hab.	hab.	hab.
Janeiro	339	142	197
Fevereiro	414	154	260
Março	1 260	156	1 104
Abril	2 632	252	2 380
Maio	5 302	658	4 644
Junho	7 949	1 061	6 888
Julho	11 025	1 248	9 777
Agosto	14 003	1 505	12 498
Setembro	9 578	1 094	8 484
Outubro	4 864	551	4 313
Novembro	1 010	271	739
Dezembro	831	189	642

Os valores apresentados na Tabela 17, serão utilizados para o cálculo das disponibilidades das ARUT e das necessidades urbanas na ilha do Porto Santo.

### **3.2.4) Reservas estratégicas de armazenamento de água**

Foi necessário elaborar uma análise das reservas estratégicas de água na ilha do Porto Santo, que se consideram chave para a elaboração dos cenários propostos.

Em primeiro lugar, foram avaliadas as reservas estratégicas de águas destinadas a regadio. A Figura 17 refere-se ao açude do Tanque, a principal infraestrutura de armazenamento de água para fins de regadio na ilha do Porto Santo.



**Figura 17 - Açude do Tanque (IGA, 2015)**

Este açude, situado junto ao aeroporto, tem uma capacidade de 130 000 m<sup>3</sup>. O transporte de água a partir deste açude é concretizado através de várias estações elevatórias (ARM, 2015).

A reduzida taxa de renovação da água armazenada neste açude, associado ao seu revestimento natural e à sua morfologia, pode originar alguns problemas de eutrofização e proliferação de mosquitos, especialmente no período de Verão (AREAM, 2001).

Para efeitos de cálculo futuro, será apenas considerada a existência deste açude, não se prevendo qualquer outra capacidade de armazenamento para além da mencionada.

O sistema de regadio é composto por um adutor de rega destinado ao reaproveitamento do escoamento superficial provocado pela precipitação, captado no centro da ilha e direccionado para o açude do Tanque, sendo ainda composto por águas residuais tratadas provenientes da ETAR, de águas subterrâneas captadas junto ao hotel do Porto Santo e de algumas Noras existentes na zona do Tanque (ARM, 2015).

A zona em que o regadio agrícola se encontra mais desenvolvido situa-se à volta da pista do aeroporto. A água utilizada para rega neste local é elevada para o reservatório de distribuição de rega por intermédio de uma EE (Estação Elevatória) situada no Tanque (ARM, 2015).

Por outro lado, existem ainda dez reservatórios dedicados a armazenamento de água potável proveniente da dessalinizadora. Estes reservatórios, os reservatórios do Lombo do Atalho, situam-se nas imediações da dessalinizadora, tendo uma capacidade de armazenamento agregada de 19 000 m<sup>3</sup>. Importa referir que o sistema de distribuição compreende, para além das redes de adução, distribuição e dos dez reservatórios de água potável, um total de oito estações elevatórias (ARM, 2015). Estes reservatórios estão ainda capacitados para bombear água potável para o açude do Tanque, caso haja necessidade.

### 3.3) Disponibilidades de água em Porto Santo

Nesta secção serão estudadas as disponibilidades de água na ilha do Porto Santo.

A escassez hídrica é acentuada neste local e, por essa razão, actualmente o abastecimento terá sempre de ser garantido por um sistema de Origens Múltiplas, entre as quais:

- Dessalinização;
- Águas residuais urbanas tratadas (ARUT);
- Extracção subterrânea e aproveitamento do escoamento superficial;
- Aproveitamento pluvial.

Será ainda necessário precisar os volumes disponíveis a partir de cada origem, bem como os fins a que se destinam.

#### 3.3.1) Disponibilidades de dessalinização

A dessalinização é essencial para a garantia do abastecimento na ilha do Porto Santo. Inúmeros estudos afirmam que Porto Santo não tem capacidade hídrica natural para suportar as necessidades de potabilização, quer em termos quantitativos, quer qualitativos. Assim, a dessalinização surge como única opção para a garantia do abastecimento potável e, de forma indirecta, na garantia do abastecimento de água para regadio, sendo que a água residual tratada e utilizada para estes fins tem origem primária, também, na dessalinizadora.

A central dessalinizadora está localizada no centro da cidade do Porto Santo, junto ao cais (Figura 18). Esta central está estruturada com diferentes espaços e o seu edifício principal é composto por (ARM, 2015):

- Reservatório de água salgada;
- Galerias técnicas e de bombagem primária;
- Salas de pré-tratamento;
- Nave exclusivamente destinada às unidades de dessalinização;
- Sala de quadros eléctricos;
- Sala de comando.



Figura 18 – Dessalinizadora do Porto Santo (IGA, 2015)

Existem ainda outros edifícios anexos compostos pelo posto de transformação, armazéns, oficina e galerias subterrâneas de captação de água salgada, localizadas na praia sob uma camada rochosa.

Esta central está capacitada para produzir um caudal máximo de 6900 m<sup>3</sup>/dia, produzindo em média cerca de 2000 m<sup>3</sup>/dia, através de quatro unidades de dessalinização. As unidades de produção baseiam-se na tecnologia de osmose inversa e são, na sua essência, compostas pelos seguintes elementos (ARM, 2015):

- Bombas primárias que elevam a água salgada até ao sistema de pré-tratamento;
- Pré-tratamento que inclui um sistema de injeção de anti incrustante e ainda unidades de filtração (filtros de cartucho);
- Grupo de electrobombas de alta pressão e sistemas de recuperação de energia;
- Módulos de membranas enroladas em espiral montados em vasos de pressão;
- Equipamentos hidráulicos, de instrumentação e de automação para controlo e monitorização de todo o processo.

Cerca de 55 % a 60 % das águas bombeadas para o processo de dessalinização são devolvidas ao mar. Esta rejeição apresenta, sensivelmente, o dobro da concentração de sais existentes na água salgada bruta (ARM, 2015).

A água produzida nas unidades de osmose inversa (Figura 19) são encaminhadas para um sistema de tratamento final. Este é composto por um conjunto de filtros com brita calcária, onde a água é remineralizada e posteriormente sujeita a uma injeção de hipoclorito de sódio. Após tratamento final, a água é encaminhada para um reservatório com 100 m<sup>3</sup> onde é desinfectada e, seguidamente, elevada para os reservatórios do Lombo do Atalho, através de um sistema de bombagem composto por quatro grupos electrobomba (ARM, 2015).



**Figura 19 - Unidades de osmose inversa (IGA, 2015)**

A central dessalinizadora e os grupos de bombagem apresentam as seguintes características (ARM, 2015):

1. Dessalinizadora
  - Implantação: cota a 2 metros;
  - Grupos: quatro grupos de osmose inversa;
  - Captação máxima: 15 700 m<sup>3</sup>/dia;
  - Produção máxima: 6 900 m<sup>3</sup>/dia;
  - Capacidade de ampliação: 43 % (5 100 m<sup>3</sup>/dia);
  - Potência instalada: 1500 kW.
  
2. Estação Elevatória
  - Implantação: cota a 0 metros;
  - Grupos: quatro grupos electrobomba;
  - Capacidade máxima: 9 000 m<sup>3</sup>/dia;
  - Potência instalada: 104 kW.

Segundo os dados disponibilizados pela ARM, o custo de produção de água na dessalinizadora foi, em 2013, de 1,05 €/m<sup>3</sup>, já incluindo os custos de extracção e tratamento, bem como as necessidades de bombagem até ao reservatório final.

Tendo em conta a produção máxima da dessalinizadora e atribuindo uma capitação média de 200 L/hab.eq.dia e perdas na ordem dos 17 % (ARM), constata-se que a ilha tem, actualmente, capacidade para suprir as necessidades de cerca de 29 000 habitantes equivalentes. Caso ampliada, poderia suprir as necessidades de 51 000 habitantes.

### **3.3.2) Disponibilidades pluviais**

Tendo em conta as características do regime de precipitação na ilha do Porto Santo, as disponibilidades pluviais serão sempre diminutas, sendo esta precipitação indirectamente captada através de escoamento superficial e de exploração de aquíferos.

Ainda assim, existe a possibilidade de calcular a capacidade de aproveitamento pluvial para as zonas impermeabilizadas, nomeadamente o escoamento proveniente da pluviosidade, que se infiltra na rede de drenagem pluvial. Este cálculo não foi realizado mas será discutido na conclusão e trabalhos futuros.

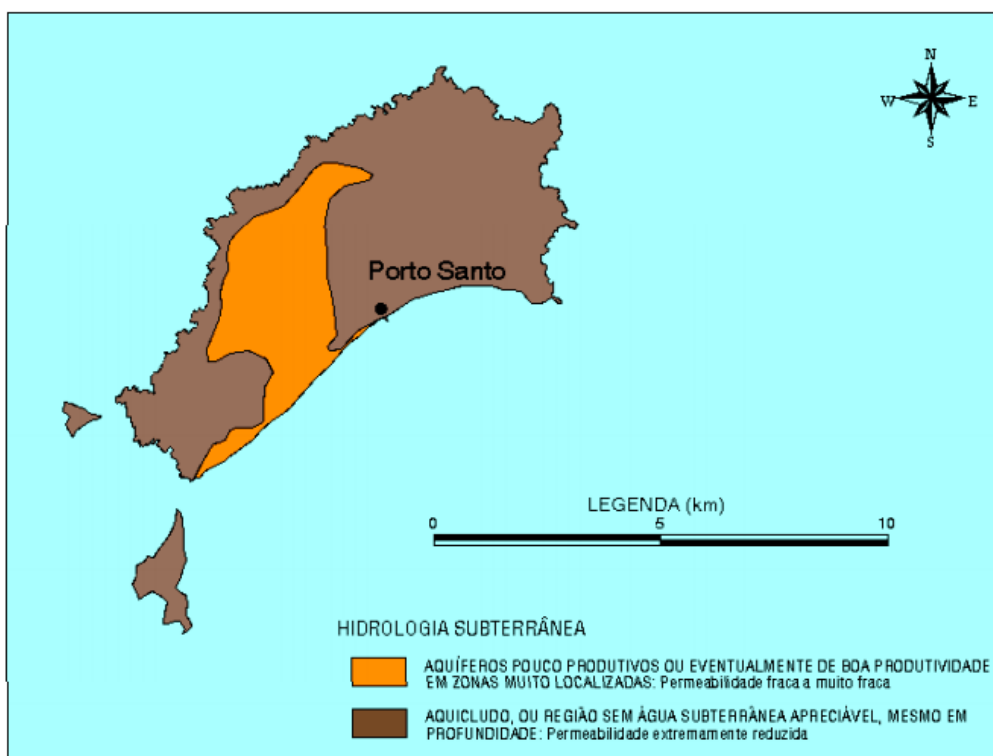
### **3.3.3) Disponibilidades superficiais e subterrâneas**

As potencialidades dos recursos hídricos subterrâneos e superficiais na Ilha do Porto Santo são muito reduzidas, em virtude da sua constituição litológica e geomorfológica, que associadas às condições climáticas desfavoráveis para recarga, não permitem a ocorrência de aquíferos ou cursos de água superficial com grande significado ou potencial de exploração. A pluviosidade na ilha do Porto Santo é extremamente reduzida e muito concentrada, pelo que não existem cursos de água permanentes, sendo que estes se apresentam apenas em regime torrencial (Duarte, 1994).

Na ilha do Porto Santo, a maioria dos materiais constituintes do solo são de natureza argilosa, o que os torna impermeáveis. Apenas as zonas de fracturação não preenchida por argilas e estruturas filoneanas (rocha magmática), quando fracturadas e não alteradas, podem constituir reservatórios de água subterrâneos, embora com capacidades limitadas. Prova disso mesmo é a existência de um número significativo de nascentes, as quais têm caudais quase insignificantes e, muitas das vezes, temporários (Duarte, 1994).

As formações sedimentares, com espessuras irregulares e fracas, não se podem considerar aquíferos, funcionando, no limite, como aquíferos (aquíferos na presença de camadas semipermeáveis) das formações geológicas subjacentes (Degremont, 2007).

Através da análise do comportamento hidrogeológico das formações geológicas existentes no Porto Santo, foram definidas, de acordo com a sua permeabilidade, duas zonas principais, representadas na Figura 20 (Duarte, 1998).



**Figura 20 - Hidrologia subterrânea da ilha do Porto Santo (Duarte, 1998).**

A Figura 20 representa o comportamento hidrogeológico subterrâneo na ilha do Porto Santo. De acordo com o autor, a hidrogeologia subterrânea no Porto Santo apresenta-se fundamentalmente em dois tipos:

- Aquíferos pouco produtivos ou eventualmente de boa produtividade em zonas muito localizadas, com permeabilidade fraca a muito fraca, que englobam as formações sedimentares como os calcarenitos e as áreas de duna e da praia;
- Aquitardos/Aquícludos ou regiões sem água subterrânea apreciável, mesmo em profundidade, com permeabilidade extremamente reduzida, inclui as rochas vulcânicas fracturadas com baixa a reduzida permeabilidade e rochas vulcânicas muito argilosas praticamente impermeáveis.

### 3.3.3.1) Captações

Quanto às captações subterrâneas, as instaladas na zona representada a laranja na Figura 20, constituem as origens de água subterrânea mais produtivas e de melhor qualidade química, tais como a Ribeira do Tanque, Ribeiro Cochino, Ribeiro Salgado, Fonte da Areia, Perregil e Fonte Velha. As captações enumeradas são, essencialmente, constituídas por poços designados por “Noras” (poços de extracção através de força animal) (Figura 21), munidas na sua maioria por galerias de base. Existem ainda outras pequenas galerias executadas para o aproveitamento e melhoria de algumas nascentes (ARM, 2015).



Figura 21 – Nora (<http://kanimambo-carlos.blogspot.pt/2011/09/recantos-dalte.html>)

Os recursos hídricos subterrâneos são explorados através das seguintes captações (Andrade *et al.*, s.d): Poços e Noras, Nascentes e Galerias.

**Poços/Noras** – ao longo das principais linhas de água, apresentando maior probabilidade de existência de um nível freático elevado subjacente e nas áreas correspondentes às planícies de nível de base junto ao litoral Sul, sendo estas captações equipadas com sistemas elevatórios. Estes encontram-se ilustrados na Figura 22.

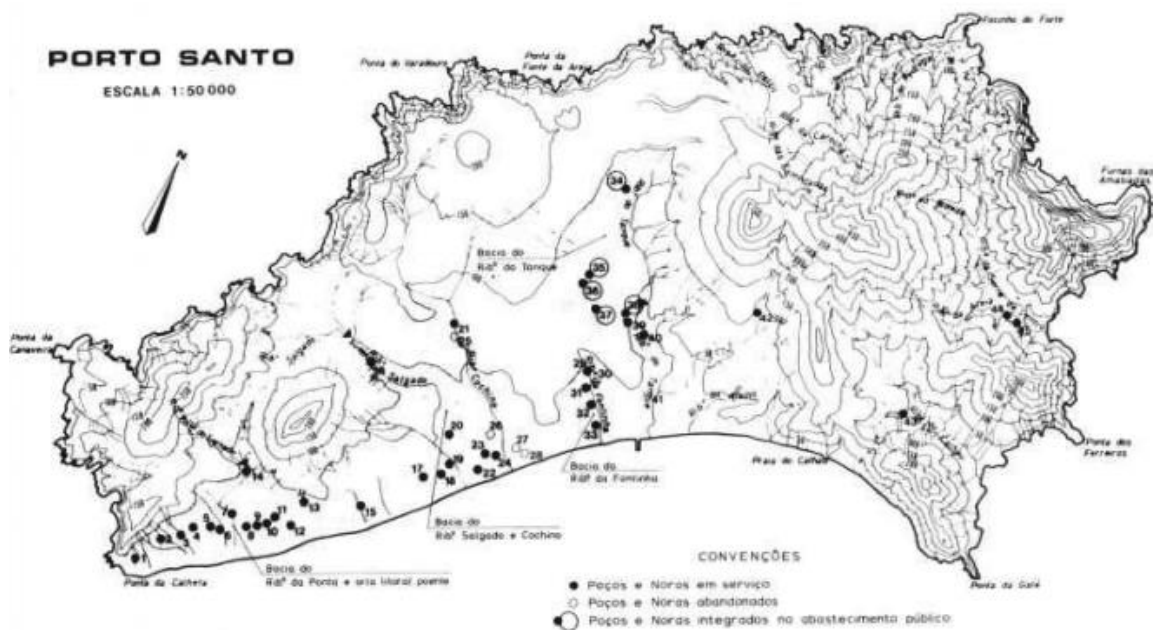


Figura 22 - Poços e Noras na ilha do Porto Santo (Ferreira, 1981).



Tanque, na zona central da ilha; e o Ribeiro da Serra de Dentro e o Ribeiro do Calhau, no maciço NE. Existem valas para recolher o escoamento superficial provocado pela escassa precipitação que cai na ilha, construídas a meia encosta, para conduzirem o escoamento a zonas de culturas ou a pequenas albufeiras de armazenamento de água para rega (ARM, 2015).

### **3.3.3.2) Qualidade da Água Subterrânea**

Para a caracterização da qualidade da água foram efectuadas, pela Mottconsult e Macdonald em 1996, 2000 e 2001, determinações de alguns parâmetros no campo e utilizadas análises de modo a serem estabelecidas correlações entre os iões presentes em locais de captação distintos, sendo estes os únicos indicadores de qualidade referentes às águas subterrâneas até à data.

De um modo geral, estas são águas com uma excessiva mineralização, alcalinas e em que o ião dominante é o  $\text{Cl}^-$  e o catião dominante o  $\text{Na}^+$ , podendo haver algumas variações pontuais em função do tempo de contacto e do tipo de formação geológica subjacente.

De acordo com as análises realizadas, que foram efectuadas em 34 águas subterrâneas provenientes de nascentes, furos e noras na Ilha do Porto Santo, pode-se concluir que estas apresentam, no geral, fraca qualidade para consumo, de acordo com o disposto por lei (Mottconsult e MacDonald, 1996 & boletins de análise de 2000 e 2001, arquivados no IGA).

#### **Cloretos**

A análise dos teores de cloretos revelou que, na sua grande maioria, as águas subterrâneas do Porto Santo são fortemente cloretadas, com valores compreendidos entre 285 e 5 325 mg/L. Nas zonas nordeste e sudeste da ilha, as captações presentes são pouco importantes, pois além da sua baixa produtividade, as águas apresentam elevados teores de cloretos, chegando a atingir valores de 5325 mg/L (Mottconsult e MacDonald, 1996). Os teores de cloretos medidos em todas as águas subterrâneas da região ultrapassam os valores limite para abastecimento público, quer no aconselhado pela OMS, quer no estabelecido pelo Decreto-Lei 236/98, de 1 de Agosto.

De acordo com o atrás apresentado na Figura 20, a área com os melhores aquíferos situa-se na zona central da ilha. Esta corresponde à cobertura das formações sedimentares, sendo aqui onde se concentram as captações mais produtivas. A qualidade química desta origem pode considerar-se como "aceitável", pois os teores de cloretos situam-se entre os 280 e os 800 mg/L (Mottconsult e MacDonald, 1996).

Esta excessiva mineralização da água poderá atribuir-se ao fenómeno de intrusão salina, à existência de aerossóis marinhos (os quais por acção da evaporação existente na ilha tendem a aumentar a sua concentração em sais, nomeadamente cloreto de sódio) e à génese das formações vulcânicas presentes, incorporando na sua constituição uma quantidade de sais significativa (Mottconsult e Macdonald, 1996). O sabor de uma água com cloretos é mais ou menos marcado consoante a existência de iões de cálcio ou de iões de cálcio e magnésio. Neste caso, a presença dominante do ião cálcio em detrimento do ião magnésio acentua o sabor na água (Degremont, 2007).

Em explorações de aquíferos costeiros, a existência de água salgada na formação aquífera subjacente ao fundo do mar provoca uma zona de contacto entre a água doce, menos densa, e a água salgada, mais densa.

O teor excessivo de cloretos na água, para além de tornar o seu sabor desagradável, apresenta outros inconvenientes. O teor elevado em cloretos, torna a água imprópria para certos tipos de agricultura e indústria, para a alimentação de gado, e pode ainda originar corrosão nas tubagens onde a água é transportada (Degremont, 2007). Quanto à saúde pública, quando as concentrações não são muito elevadas, não se considera prejudicial a sua presença, mas, no entanto, se além de se tratar uma água com cloretos esta for também alcalina, como é o caso em Porto Santo, esta ganha propriedades laxantes, podendo ser prejudicial para pessoas com problemas cardiovasculares ou renais (OMS, 2015).

### **Concentração Hidrogeniônica (pH)**

Do ponto de vista físico-químico e em relação ao pH, verificou-se que os correspondentes valores são sempre superiores a 7,0, variando entre 7 e 8,8, um indicador de alcalinidade significativa (Mottconsult e MacDonald, 1996). O valor do pH de uma água destinada a abastecimento doméstico é um dos parâmetros mais importantes, pois influencia o sabor, a eficácia dos tratamentos, como por exemplo da cloração, e ainda a manutenção das tubagens por onde circula a água captada (Degremont, 2007). Estes valores moderadamente altos estão associados aos bicarbonatos, os quais se mostram também como iões dominantes nas águas subterrâneas do Porto Santo (Mottconsult e MacDonald, 1996).

Apesar de ligeiramente elevados, os valores de pH estão, na maioria dos casos, dentro dos limites recomendados, que se situam entre os 6,5 e os 8,5 (Decreto-Lei n.º 236/98 - Anexo I).

Por outro lado, esta alcalinidade pode favorecer a formação de depósitos calcários, por elevação da temperatura ou por evaporação, o que, hidraulicamente, é um inconveniente para o bom funcionamento das tubagens (Degremont, 2007).

### **Condutividade**

Os valores de condutividade são indicativos do estado de mineralização das águas, ou seja, dão a conhecer, em termos comparativos, o seu maior ou menor conteúdo iónico, uma vez que apresentam na generalidade uma composição química semelhante.

Os valores mais baixos são encontrados na Fonte de Areia, Nora Leacock, Nora Júlio Santos e Perregil, com condutividades que variam entre 1 170 e 2 100  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . De todas as pequenas captações, apenas duas apresentam valores abaixo dos 2 500  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , nomeadamente na Fonte de Areia e na Nora Leacock (Mottconsult e MacDonald, 1996).

Os valores mais elevados são referentes à Galeria do Ribeiro Cochino, Galeria da Terra de Maria e Fonte das Esmoitadas, com valores de 11 900 a 7 090  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , sendo que estas captam águas cujos tempos de contacto com rochas vulcânicas são significativos. Quanto às Noras D. Inês, Leacock e Candido Ornelas, localizadas na zona da Ponta (Oeste da ilha), a sua elevada condutividade poderá relacionar-se com a intrusão salina (Mottconsult e MacDonald, 1996).

A maioria dos valores de condutividade não se apresentam de acordo com o estabelecido por lei, sendo que o Valor Máximo Recomendado (VMR), em águas para consumo humano, é de 1 000  $\mu\text{S}/\text{c}$ , de acordo com o descrito no Decreto-Lei n.º 236/98-Anexo I.

### **Total de Sais Dissolvidos (TDS)**

Os dados disponíveis são semelhantes aos inerentes à condutividade. Com efeito, os valores nas medições efectuadas reflectem um comportamento similar ao encontrado nas análises de condutividade (Mottconsult e MacDonald, 1996).

#### **3.3.3.3) Qualidade das Águas Superficiais**

Não existem quaisquer dados referentes à qualidade das águas superficiais que escoam para os principais açudes. Para futuros cálculos e estimativas, considerou-se que as águas do escoamento superficial se encontram com qualidade suficiente para fins de regadio.

Por outro lado, seria interessante proceder a análise da qualidade destas águas. Embora o escoamento superficial seja de regime torrencial, existe a possibilidade de medir a sua qualidade no destino final do mesmo, ou seja, nos açudes que o armazenam.

#### **3.3.3.4) Balanço hídrico das disponibilidades naturais do Porto Santo**

Devido ao regime de precipitação torrencial que Porto Santo apresenta, não existe capacidade para aproveitamento pluvial em larga escala, sendo esta pluviosidade indirectamente captada através do escoamento superficial e da extracção de água subterrânea.

Entre 1963 e 1979, só cerca de 75 chuvadas provocaram escoamento superficial, ou seja, em média, existem cinco chuvadas por ano susceptíveis de originar escoamento superficial significativo. Considerando que cada chuvada tem a duração máxima de 1h nas principais bacias hidrográficas, pode-se admitir que, por ano, o escoamento superficial se concentra apenas em 5 horas (Ferreira, 1981).

Segundo Lobo Ferreira (1981), na sequência do balanço hídrico superficial, constata-se que 90 %, dos 355 mm, referentes à precipitação anual, se perdem por evapotranspiração e que apenas uma pequena parcela, de 10 %, corresponde às outras duas variáveis: escoamento superficial (4 a 5 %) e recarga profunda de aquíferos (4 a 5 %), isto é, estão potencialmente disponíveis para captação cerca de 35,5 mm de precipitação anual.

Em termos absolutos, o potencial escoamento superficial anual e a recarga profunda de aquíferos foram estimados numa altura de 17,75 mm para cada uma das componentes referidas, correspondendo-lhes um volume de 754 375 m<sup>3</sup> por ano, se for considerada a área total da ilha (42,5 km<sup>2</sup>). As equações utilizadas para esse cálculo encontram-se descritas seguidamente.

- Disponibilidade hídrica potencial (3)

*Disponibilidade hídrica potencial (m3)*

$$= \text{Precipitação média anual (mm)} * 0,1 * \text{Área total (m2)} * 1000$$

- Escoamento superficial e recarga de aquíferos (4)

$$\text{Escoamento superficial} = \text{Recarga aquíferos} = \frac{\text{Disponibilidade hídrica potencial}}{2}$$

No entanto, há que considerar a qualidade química das águas subterrâneas, que desaconselha a exploração exaustiva deste recurso, podendo conduzir a uma degradação de algumas zonas aquíferas que ainda não foram totalmente afectadas por uma mineralização excessiva. Por outro lado, há que garantir a salubridade dos sistemas naturais aquíferos. Por estas razões, do valor de recarga aquífera calculada, admitiu-se que apenas 60 % (Ferreira, 1981) poderão constituir volume útil para exploração.

Potencialmente, os recursos hídricos totais (subterrâneos e superficiais) são aproximadamente 35,5 mm, o que corresponde a 1 508 750 m<sup>3</sup>/ano. Tendo em conta um volume prático de exploração de aquíferos de 60 %, tem-se:

- Escoamento superficial: 754 375 m<sup>3</sup>/ano;
- Recarga de aquíferos: 754 375 m<sup>3</sup>/ano \* 0,6 = 452 625 m<sup>3</sup>/ano.

De acordo com os dados disponibilizados pela Águas e Resíduos da Madeira, o caudal das captações subterrâneas é, em média, de 500 m<sup>3</sup>/dia, o que corresponde a 182 500 m<sup>3</sup>/ano, cerca de 40 % do atrás estimado. Comparando este valor com o potencial estimado para a recarga de aquíferos, observa-se uma diferença significativa nestes caudais, o que pode ser justificado pelo abandono de algumas captações cuja qualidade e fiabilidade não eram garantidas, pela exploração de algumas noras apenas por privados, não sendo contabilizado nas estatísticas da ARM, e pelas características físicas da própria ilha, cujo solo e clima não são, de todo, favoráveis ao aproveitamento hídrico natural. Por outro lado, segundo o disponibilizado pela ARM, não existem quaisquer dados sobre o aproveitamento do escoamento superficial na ilha do Porto Santo.

Tendo em conta as diferenças de disponibilidades estimadas e disponibilizadas pela ARM, seria interessante perceber se existe capacidade de melhoramento das infraestruturas que suportam a exploração destes mesmos recursos naturais.

Na sequência da diferença apresentada entre o estimado e o verificado pela ARM, serão, para efeitos de cálculo futuro, considerados dois cenários diferentes. O primeiro, de máximo aproveitamento hídrico, correspondente aos caudais estimados acima. O segundo, que será considerado o cenário base, será referente aos caudais disponibilizados pela ARM. Por não existirem dados para o escoamento superficial, admitiu-se que, para o cenário base, estes são correspondentes a 40 % do estimado.

De acordo com o atrás descrito, pode-se admitir o caudal de máximo aproveitamento subterrâneo e superficial na ilha do Porto Santo como:

1. Cenário teórico da disponibilidade hídrica máxima:
  - Disponibilidade potencial total hídrica: 1 207 000 m<sup>3</sup>/ano;
  - Disponibilidades subterrâneas: 452 625 m<sup>3</sup>/ano;
  - Disponibilidades superficiais: 754 375 m<sup>3</sup>/ano.
  
2. Cenário disponibilizado pela ARM, utilizado como cenário base (considerou-se que o escoamento superficial é, também, apenas referente a 40 % do estimado):
  - Disponibilidade total: 484 250 m<sup>3</sup>/ano;
  - Disponibilidades superficiais: 301 750 m<sup>3</sup>/ano;
  - Disponibilidades subterrâneas: 182 500 m<sup>3</sup>/ano.

Por outro lado, é necessário compreender como se distribuem estes caudais ao longo do ano. Para tal, foi elaborada a Tabela 18, que entra em consideração com as precipitações médias mensais. O raciocínio de suporte ao cálculo efectuado parte da percentagem relativa de precipitação mensal em relação à precipitação total anual.

**Tabela 18 - Volumes mensais estimados para as disponibilidades hídricas naturais**

Mês	P (mm) (IM, Portugal)	Área (km <sup>2</sup> )	% de Ptotal	Valores ARM (m <sup>3</sup> )		Estimativa (m <sup>3</sup> )	
				Disp. Sup.	Disp. Subt.	Disp. Sup.	Disp. Subt.
Janeiro	46,7	42,5	0,1348	40 673	24 599	101 683	61 010
Fevereiro	40,2		0,1113	33 574	20 306	83 935	50 361
Março	35,2		0,1030	31 069	18 790	77 672	46 603
Abril	23,5		0,0650	19 627	11 870	49 067	29 440
Maió	14		0,0387	11 692	7 072	29 231	17 539
Junho	7		0,0194	5 846	3 536	14 616	8 769
Julho	3,2		0,0089	2 673	1 616	6 681	4 009
Agosto	4		0,0111	3 341	2 020	8 352	5 011
Setembro	23,7		0,0656	19 794	11 971	49 484	29 691
Outubro	37,9		0,1104	33 324	20 154	83 309	49 985
Novembro	50		0,1384	41 759	25 256	104 397	62 638
Dezembro	69,9		0,1935	58 379	35 308	145 947	87 568
<b>Total anual</b>	<b>355</b>	<b>42,5</b>	<b>1</b>	<b>301 750</b>	<b>182 500</b>	<b>754 375</b>	<b>452 625</b>

Como se pode verificar através dos valores apresentados na Tabela 18, os volumes disponíveis, referentes às disponibilidades naturais na ilha do Porto Santo, são distribuídos de forma irregular ao longo do ano. No verão, isto é, em Junho, Julho e Agosto, estes valores são significativamente mais baixos que no resto do ano.

Quanto ao cenário das disponibilidades hídricas máximas, interessa referir que está presente a possibilidade de causar impactes negativos nas disponibilidades hídricas naturais e, consequentemente, nos ecossistemas associados. Assim, destacam-se os seguintes pontos:

- Por motivos de precaução, este cenário nunca será viável sem um estudo hidrogeológico detalhado da ilha do Porto Santo;
- Poderão ocorrer uma série de problemas que coloquem em causa a qualidade dos sistemas aquíferos ou até mesmo a sua depleção, nomeadamente através de um rebaixamento dos volumes armazenados que, consequentemente, poderão levar ao fenómeno de intrusão salina;
- Por outro lado, se houverem anos secos consecutivos, extracções tão significativas poderão, também, levar à depleção dos sistemas aquíferos.

### 3.3.4) Disponibilidades das Águas Residuais Urbanas Tratadas do Porto Santo

Na ilha do Porto Santo, onde a escassez de recursos hídricos é acentuada, a opção de reutilização de águas residuais torna-se necessária, não só economicamente, como ambientalmente. Por outro lado, e sendo esta uma zona de turismo por excelência, é necessário manter a qualidade dos meios receptores, nomeadamente da praia, que é a principal atracção turística da ilha.

Assim, foi promovida a construção de uma ETAR, a estação de tratamento de águas residuais da Ponta (Figura 24), equipada com tratamento terciário e com possibilidade de reutilização do efluente para rega, que veio substituir a antiga estação de tratamento de Vale do Touro.



Figura 24 – ETAR da Ponta (IGA, 2015)

A estação de tratamento de águas residuais da Ponta trata a totalidade das águas residuais domésticas produzidas na ilha do Porto Santo e encontra-se situada na encosta poente do Pico Ana Ferreira, junto ao açude da Ponta, tendo entrado em funcionamento em Janeiro de 2005 (ARM, 2015).

A actividade turística presente determina diferentes caudais afluentes à ETAR devido à grande sazonalidade. Por este motivo, a produção de água residual apresenta grandes variações ao

longo do ano, sendo os caudais produzidos no verão significativamente superiores aos produzidos no resto do ano.

A ETAR da Ponta e a sua estação elevatória apresentam as seguintes características (ARM, 2015):

- ETAR da Ponta
- Implantação: Cota entre 40 e 52 m;
- Tipo: Lamas activadas com arejamento prolongado;
- Esgoto bruto: Urbano;
- Capacidade ano 0: 2 000 m<sup>3</sup>/dia;
- Capacidade ano 20: 4 000 m<sup>3</sup>/dia;
- Capacidade de ampliação: 50 % (2 000 m<sup>3</sup>/dia);
- População atendida ano 0: 10 000 hab.eq;
- População atendida ano 20: 20 000 hab.eq;
- Potência: 250 kW.
  
- Estação Elevatória
- Implantação: Cota a 41m;
- Grupos: três grupos electrobomba;
- Capacidade: 11 000 m<sup>3</sup>/dia;
- Potência: 204 kW.

A ETAR da Ponta inclui no seu esquema de tratamento uma gradagem inicial, um processo de lamas activadas de arejamento prolongado, onde está incluído um processo de desnitrificação/nitrificação e decantação secundária, e um tratamento terciário, composto por uma filtração, recorrendo a filtros de areia e desinfecção UV, incluindo ainda um reforço com hipoclorito de sódio. Este efluente está preparado para ser reutilizado para fins de regadio agrícola, para rega do campo de golfe e ainda para utilizações dentro da própria ETAR.

A Estação Elevatória promove a transferência do efluente tratado para o açude do Tanque ou para as lagoas do campo de golfe, em função das necessidades. Existe ainda um reservatório interligado a todos os circuitos de *by-pass* do processo de tratamento, que permite a saída de caudais excedentes para um emissário de emergência, situado na costa Norte da ilha. O sistema elevatório utilizado é o mesmo para ambas as situações (ARM, 2015).

### 3.3.4.1) Características das águas residuais urbanas tratadas

De acordo com os dados disponibilizados pela ARM, relativamente à qualidade de água à saída da ETAR em termos médios anuais, apresentam-se os principais parâmetros referentes ao ano de 2014, na Tabela 19.

**Tabela 19 - Característica das ARUT na ETAR da Ponta**

Parâmetros	Medições médias 2014 (ARM)	Águas para rega		Limites de descarga
		VMR	VMA	VLE
pH	6,98	6,5-8,4	4,5-9,0	6,0 - 9,0
T (°C)	23,6	-	-	Aumento de 3°C (*)
SST (mg/L)	2,98	60	-	60
CBO <sub>5</sub> (mg/L)	4,14	-	-	40
CQO (mg/L)	28,59	-	-	150
Nt (mg/L)	6,53	50	-	50
Pt (mg/L)	4,01	-	-	10
O&G	<2,7	-	-	15

\*Deve ser medido a 50m do emissário final

De acordo com os valores apresentados na Tabela 19, não existem incompatibilidades com a utilização das águas residuais do Porto Santo para fins de regadio e/ou descargas nos emissários finais.

Dadas as características da ETAR, cuja estrutura se encontra munida de um tratamento terciário, nomeadamente filtração e desinfecção, e aplicando os requisitos que se encontram disponíveis no capítulo referente à reutilização de água (Tabela 7, secção 2.8.1), as águas residuais devem apresentar-se com qualidade suficiente para cobrir as seguintes necessidades:

- Rega de campos de golfe;
- Usos sanitários;
- Lavagem de veículos e ruas;
- Agricultura;
- Usos recreativos não restrictos a actividades humanas;
- Usos potáveis indirectos: recarga de aquíferos potáveis e/ou recarga de massas de água artificiais;
- Irrigação de jardins/espacos verdes;
- Rega de pantanais e habitats selvagens;
- Processos industriais de arrefecimento.

#### **3.3.4.2) Caudal de águas residuais urbanas tratadas disponível**

O volume total afluente à ETAR compreende três origens diferentes: doméstica (população flutuante e população residente), aeroporto e indústrias transformadoras.

Como foi atrás referido, a população flutuante regista variações significativas durante todo o ano. Por outro lado, a população residente manteve-se aproximadamente constante durante os últimos anos, embora a sua taxa de crescimento efectiva seja ligeiramente negativa.

As capitações da produção de águas residuais para a população residente e flutuante compreendem as fracções de efluentes dos serviços públicos, do comércio e da restauração. Tendo em conta as temperaturas que se fazem sentir na ilha do Porto Santo, atribui-se uma capitação diferente para dois períodos distintos do ano: uma capitação ligeiramente superior para os meses mais quentes e outra ligeiramente mais baixa para os meses mais frios.

Quanto à população residente esta apresenta-se constante ao longo do ano. Os caudais referentes à população residente foram calculados através da seguinte equação (5):

$$Q (\text{pop. residente}) = \frac{\text{capitação} \cdot \text{população} \cdot \text{f.a.} \cdot \text{pop. servida pela rede}}{1000} \quad (5)$$

Onde:

Q (pop.residente) – m<sup>3</sup>/dia

Capitação – L/hab.dia

A Tabela 20 exprime a produção de águas residuais, única e exclusivamente, referentes à população residente.

**Tabela 20 - Produção de água residual da população residente**

Mês	População residente	Capitação residual	Factor de afluência	População servida pela rede de drenagem	Caudal de água residual residente produzido
	hab. (DREM 2013)	L/hab.dia	%	% (ARM, 2015)	m³/dia
Janeiro	5229	100	80	100	418
Fevereiro		100			418
Março		100			418
Abril		100			418
Maio		120			502
Junho		120			502
Julho		120			502
Agosto		120			502
Setembro		120			502
Outubro		100			418
Novembro		100			418
Dezembro		100			418

Como se pode verificar na Tabela 20, foi considerada uma capitação de 120 L/hab.dia de Maio a Setembro e uma capitação de 100 L/hab.dia de Outubro a Abril, para a população residente.

A rede pública de drenagem abrange toda a área urbana. Segundo os dados disponibilizados pela ARM, 100 % da população, tanto flutuante como residente, é servida pelo sistema de drenagem. Foi também considerado um factor de afluência à rede mais conservador, de 0,8, considerando-se assim que existem perdas na rede na ordem dos 20 %.

Quanto à população flutuante, esta surge principalmente nos meses de veraneio (Junho, Julho e Agosto). O caudal produzido pela população flutuante compreende as águas residuais drenadas da hotelaria, dos parques de campismo e de outros tipos de aglomerados privados destinados ao turismo.

Para cálculo do caudal produzido pela população flutuante, foram utilizadas as seguintes equações (6, 7):

- Hotelaria

$$Q(\text{hotelaria}) = \frac{\text{Hóspedes de Hotelaria} \cdot \text{capitação} \cdot \text{f.a.} \cdot \text{pop. servida pela rede}}{1000} \quad (6)$$

onde:

Q(hotelaria) - m³/dia

Hóspedes em casa hotelaria - hab.

Capitação - L/hab.dia

- Camas de casas de aluguer (camas não oficiais):

$$Q(\text{camas não oficiais}) = \frac{\text{Hóspedes de casas de aluguer} \cdot \text{capitação} \cdot \text{f.a.} \cdot \text{pop. servida pela rede}}{1000} \quad (7)$$

onde:

Q(camas não oficiais) - m³/dia

Hóspedes em casa de aluguer - hab.

Capitação - L/hab.dia

Na Tabela 21 são expressos os caudais afluentes à ETAR, única e exclusivamente, referentes a população flutuante.

**Tabela 21 - Produção de águas residuais da população flutuante**

Mês	Nr.º de hóspedes em hotéis	Nr.º de hóspedes casas de aluguer/campismo	Capitação Hoteleira	Capitação casas de aluguer/campismo	Factor de afluência	População servida pela rede	Caudal de água residual flutuante produzido
	hab.	hab.	L/hab.dia	L/hab.dia	%	% (ARM, 2015)	(m³/dia)
Janeiro	142	197	270	100	80	100	46,5
Fevereiro	154	260	270	100			54,0
Março	156	1104	270	100			122,0
Abril	252	2380	270	100			244,8
Maio	658	4644	300	120			603,7
Junho	1061	6888	300	120			916,0
Julho	1248	9777	300	120			1238,0
Agosto	1505	12498	300	120			1561,1
Setembro	1094	8484	300	120			1077,0
Outubro	551	4313	270	100			464,0
Novembro	271	739	270	100			117,7
Dezembro	189	642	270	100			92,2

Como se pode verificar na Tabela 21, foram atribuídas capitações diferentes para a hotelaria e para as casas de aluguer. Por outro lado, foram também atribuídas capitações diferentes consoante a época do ano.

Quanto à indústria, considerou-se que todas as unidades industriais estão ligadas à rede pública de drenagem. Os caudais apresentados não consideram a produção termoelétrica, a construção civil e as obras públicas, por não gerarem caudais significativos (AREAM, 2001). Assim, é apenas considerada a produção de águas residuais da indústria transformadora, sendo que este caudal representa cerca de 457 m³/ano (AREAM, 2001), o que corresponde a cerca de 1,3 m³/dia, um valor praticamente inexpressivo, face aos caudais de águas residuais domésticas apresentados.

Na ilha da Madeira existem outras origens de produção de águas residuais com características domésticas, nomeadamente o Aeroporto da Madeira, cuja produção foi estimada em 182 500 m³/ano, de acordo com os dados de projecto da ETAR de Santa Cruz, onde estes efluentes são tratados. Através destes dados, estimou-se o caudal produzido no aeroporto do Porto Santo, com base numa relação linear entre o volume de passageiros e o caudal estimado para o aeroporto da Madeira. No período de verão, estimou-se uma produção de 5 295 m³ (Junho, Julho e Agosto) e, para o total dos restantes dias do ano, de 9 033 m³, o que perfaz um total de 14 328 m³ anuais (AREAM, 2001).

Assim, a produção total de águas residuais, que se expressa na Tabela 22, é resultado da soma das produções anteriormente referidas.

**Tabela 22 - Produção total de águas residuais urbanas**

Mês	AR produzidas (população residente + flutuante)	AR aeroporto	AR indústria transformadora	AR totais produzidas
	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia
Janeiro	464,8	33,1	1,3	499,2
Fevereiro	472,4	33,1	1,3	506,7
Março	540,4	33,1	1,3	574,7
Abril	663,2	33,1	1,3	697,5
Maió	1 022,1	33,1	1,3	1 056,4
Junho	1 334,3	57,6	1,3	1 393,1
Julho	1 656,4	57,6	1,3	1 715,2
Agosto	1 979,4	57,6	1,3	2 038,2
Setembro	1 495,3	33,1	1,3	1 529,7
Outubro	882,4	33,1	1,3	916,7
Novembro	536,0	33,1	1,3	570,4
Dezembro	510,5	33,1	1,3	544,9
Média anual	963,1	39,2	1,3	1 003,6

Quanto aos custos de tratamento, segundo o disponibilizado pela ARM, estes correspondem a 1,00 €/m<sup>3</sup>, no qual estão englobadas todas as etapas de tratamento, desde o tratamento preliminar e elevação inicial, tratamento secundário, tratamento terciário, tratamento de lamas e ainda elevação final para o campo de golfe ou para armazenamento no açude do tanque.

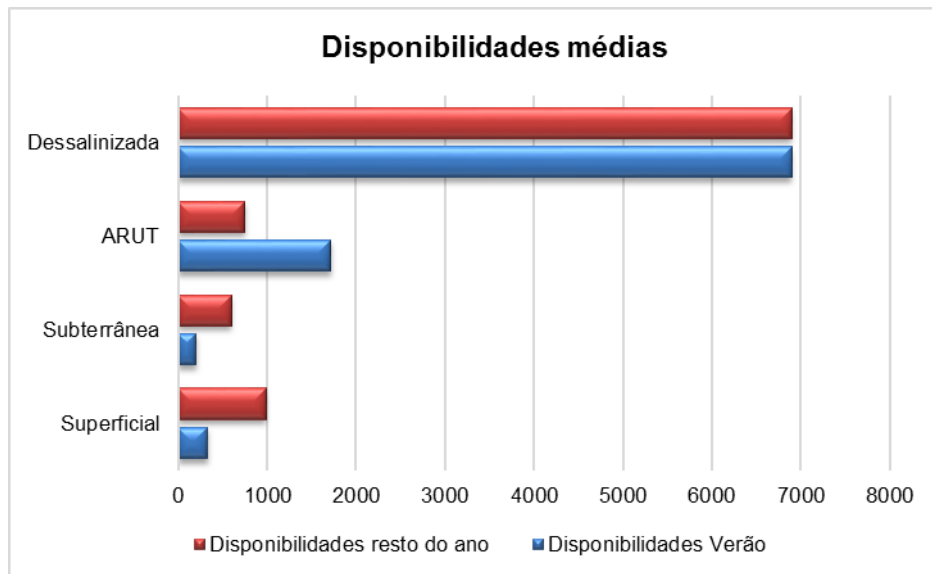
### 3.3.5) Disponibilidades totais

Já estimadas as disponibilidades para cada uma das origens presentes na ilha do Porto Santo, apresentam-se na Tabela 23 os resultados obtidos, os quais serão considerados como relativos ao cenário base.

**Tabela 23 - Disponibilidades médias no Verão e no resto do ano, referentes ao cenário base**

Cenário base	Superficial	Subterrânea	ARUT	Dessalinizada (potência máxima)
	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia
Verão (92 dias)	331	200	1 716	6 900
Resto do ano (273 dias)	992	600	751	6 900

Comparando as disponibilidades presentes na ilha do Porto Santo resultam os dados apresentados na Figura 25.



**Figura 25 - Disponibilidades médias: Verão vs resto do ano (m³/dia)**

Da análise da Figura 25 e da Tabela 23, pode-se afirmar que:

- As origens superficiais e subterrâneas apresentam uma importância menos significativa no Verão e mais significativa no Inverno, o que se pode justificar pelo período onde ocorrem as maiores chuvadas ser de Outubro a Março;
- A produção de ARUT torna-se significativamente maior no período no verão, facto que se justifica através da diferente afluência de população entre os períodos mencionados;
- A dessalinizadora, que se encontra expressa à capacidade máxima, não depende da sazonalidade para o seu funcionamento, pelo que o caudal disponível é constante ao longo do ano.

### 3.4) Necessidades de água no Porto Santo

Nesta secção serão analisadas as necessidades de água na ilha do Porto Santo, das quais se destacam:

- Urbano;
- Agricultura e pecuária;
- Indústria;
- Campo de golfe.

#### 3.4.1) Necessidades urbanas

As necessidades de abastecimento urbano são caracterizadas por três consumidores principais: a população residente, a população flutuante e os consumos no aeroporto.

A metodologia aplicada para esta caracterização segue o mesmo raciocínio aplicado na secção 3.3.4.2, referente à produção de águas residuais.

Em termos de perdas de volume de água fornecidos, resultantes de fugas da rede, das elevadas pressões a que está sujeita, da idade das redes e de uma deficiente conservação, estas atingem 33 %, onde 16 % correspondem a consumos não facturados e 17 % a fugas, nos sistemas de abastecimento do Porto Santo (ARM, 2015).

As capitações de consumo de água para abastecimento, para a população residente e flutuante, compreendem as fracções dos serviços públicos, do comércio e da restauração.

Para calcular as necessidades da população residente, foi utilizada a seguinte equação (8):

$$Q(\text{pop. residente}) = \frac{\text{capitação} \cdot \text{população} \cdot \text{população servida pela rede de drenagem}}{1000 \cdot f.a.} \quad (8)$$

Onde:

Q (caudal pop. residente) - m<sup>3</sup>/dia;

Capitação - L/hab.dia;

A Tabela 24 exprime as necessidades de abastecimento referentes à população residente.

**Tabela 24 - Caudal necessário para abastecimento da população residente**

Mês	População residente	Capitação	Factor de afluência	População servida pela rede	Caudal de abastecimento população residente
	hab. (DREM 2013)	L/hab.dia	% (ARM, 2015)	% (ARM, 2015)	m <sup>3</sup> /dia
Janeiro	5 229	100	83,0	100	630
Fevereiro		100			630
Março		100			630
Abril		100			630
Maio		120			756
Junho		120			756
Julho		120			756
Agosto		120			756
Setembro		120			756
Outubro		100			630
Novembro		100			630
Dezembro		100			630

Como se pode verificar na Tabela 24, foi atribuída uma capitação de 120 L/hab.dia de Maio a Setembro e uma capitação de 100 L/hab.dia de Outubro a Abril, para a população residente.

Quanto à população flutuante, esta apresenta flutuações significativas durante o ano. Para cálculo do caudal necessário para a população flutuante, foram utilizadas as seguintes equações (9 e 10):

➤ Hotelaria

$$Q(\text{hotelaria}) = \frac{\text{Hóspedes de Hotelaria} \cdot \text{capitação} \cdot \text{pop.servida pela rede}}{1000 \cdot f.a.} \quad (9)$$

Onde:

Q (hotelaria) - m<sup>3</sup>/dia;

Capitação - L/hab.dia;

➤ Camas de casas de aluguer (camas não oficiais):

$$Q(\text{camas não oficiais}) = \frac{\text{Hóspedes de casas de aluguer} \cdot \text{capitação} \cdot \text{pop.servida pela rede}}{1000 \cdot f.a.} \quad (10)$$

Onde:

Q (camas não oficiais) - m<sup>3</sup>/dia;

Capitação - L/hab.dia;

O caudal total flutuante foi calculado através da soma dos caudais referentes à hotelaria e às camas não oficiais (casas de aluguer).

Na Tabela 25 são expressos os caudais necessários referentes à população flutuante.

**Tabela 25 - Caudal necessário para abastecimento da população flutuante**

Mês	Nr.º de hóspedes em hotéis	Nr.º de hóspedes casas de aluguer	Capitação Hoteleira	Capitação casas de aluguer	Factor de afluência	População servida pela rede	Caudal de abastecimento população flutuante
	hab.	hab.	L/hab.dia	L/hab.dia	% (ARM, 2015)	% (ARM, 2015)	m³/dia
Janeiro	142	197	270	100	83,0	100,0	70,0
Fevereiro	154	260	270	100			81,4
Março	156	1 104	270	100			183,8
Abril	252	2 380	270	100			368,7
Maió	658	4 644	300	120			909,2
Junho	1 061	6 888	300	120			1 379,4
Julho	1248	9 777	300	120			1 864,5
Agosto	1 505	12 498	300	120			2 351,0
Setembro	1 094	8 484	300	120			1 622,0
Outubro	551	4 313	270	100			698,8
Novembro	271	739	270	100			177,2
Dezembro	189	642	270	100			138,8

Como se pode verificar na Tabela 25, foram atribuídas capitações diferentes consoante o local de dormida da população flutuante. Por outro lado, foram também atribuídas capitações diferentes consoante a altura do ano.

A estimativa das necessidades do aeroporto seguem o mesmo raciocínio que o aplicado na secção 3.3.4.2, referente à produção de águas residuais no aeroporto, importando ainda referir que foi também utilizada uma taxa de recuperação de água residual, referente ao documento do IGA, S.A., “Proc. N.º 3580/2007-6.8.0556”. A percentagem de água distribuída, pelo sistema de distribuição, que retorna ao sistema de drenagem foi estimada, para 2011, em 65 %. Esta taxa foi utilizada para estimar as necessidades no aeroporto através da sua produção de água residual, através da seguinte equação (11):

➤ Caudal Aeroporto

$$Q(\text{Aeroporto}) = \frac{Q(\text{residual Aeroporto})}{0,65} \quad (11)$$

onde:

Caudal (Aeroporto) - m³/dia

Já calculadas as necessidades urbanas individualmente, segue-se a Tabela 26, onde estão expressas as necessidades totais de abastecimento urbano:

**Tabela 26 – Caudal necessário para o abastecimento urbano**

Mês	Necessidades população	Necessidades aeroporto	Necessidades urbanas (população residente, população flutuante e aeroporto)
	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia	m <sup>3</sup> /dia
Janeiro	700,0	50,9	750,9
Fevereiro	711,4	50,9	762,3
Março	813,8	50,9	864,7
Abril	998,7	50,9	1 049,6
Maio	1 665,2	50,9	1 716,2
Junho	2 135,4	88,5	2 224,0
Julho	2 620,5	88,5	2 709,1
Agosto	3 107,0	88,5	3 195,5
Setembro	2 378,0	50,9	2 428,9
Outubro	1 328,8	50,9	1 379,8
Novembro	807,2	50,9	858,1
Dezembro	768,8	50,9	819,7
Média anual	1 503	60	1 563

Como se pode verificar na Tabela 26, as necessidades urbanas encontram-se distribuídas de diferentes formas, consoante o mês considerado. Estas, são superiores no período de verão e inferiores nos restantes meses do ano, de acordo com o que seria expectável, nomeadamente tendo em atenção as características específicas da ilha de Porto Santo em termos de destino turístico.

### 3.4.2) Necessidades da indústria

O mercado em Porto Santo é reduzido e, por essa razão, não permite mais do que pequenas actividades de reparação, para além das actividades ligadas à construção civil.

Em 2001, a população residente empregada na indústria era de 8,4 %, quando em 1991, era de 18,7 % (Drumond, 2009), o que traduz o nível de industrialização do concelho, que pelo seu isolamento, pela reduzida dimensão do mercado e pela pobreza de recursos do solo, não oferece perspectivas promissoras ao desenvolvimento industrial.

De forma a organizar todas as empresas de carácter industrial, desde oficinas de automóveis, oficinas de serralharia, oficinas de alumínio, armazéns de actividades diversas e o próprio parque da Câmara Municipal, foi criado o Parque Empresarial do Porto Santo, com o principal objectivo de concentrar essas actividades num local próprio. Ainda existem algumas actividades fora do Parque Empresarial, como em Farrobo, onde estão localizadas seis empresas (Drumond, 2009).

Nos últimos anos, a principal indústria, e que se desenvolveu em maior escala, foi a indústria de extracção de inertes, consequência do incremento de obras privadas e públicas a partir do ano de 2000 (Drumond, 2009).

Os principais consumos de água surgem das indústrias transformadoras presentes na ilha. Dentro destas, destacam-se as seguintes indústrias (AREAM, 2001):

- Indústrias alimentares;
- Fabricação de produtos metálicos, excepto máquinas e equipamentos;
- Indústrias da madeira e da cortiça e suas obras, excepto mobiliário; fabricação de obras de cestaria e de espartaria;

- Fabrico de outros produtos minerais não metálicos;
- Fabricação de outro equipamento de transporte;
- Reparação, manutenção e instalação de máquinas e equipamentos;
- Indústria do couro e dos produtos do couro;
- Indústrias metalúrgicas de base.

Na ausência de dados que quantifiquem os caudais de água necessários para as diversas indústrias presentes na ilha, utilizou-se uma estimativa do AREAM para a produção de águas residuais da indústria, na qual não são contabilizadas outras industriais para além da transformadora, por não gerarem caudais significativos. Por outro lado, a indústria apresenta consumos constantes ao longo do ano, não variando com a sazonalidade.

Interessa referir que foi também utilizada uma taxa de recuperação de água residual, referente ao documento do IGA, S.A., “Proc. N.º 3580/2007-6.8.0556”. A percentagem de água distribuída que retorna ao sistema de drenagem foi estimada, para 2011, em 65 %. Esta taxa foi utilizada para estimar as necessidades através da produção de água residual industrial segundo o AREAM, através da seguinte equação (12):

- Caudal Industrial

$$Q(\text{Industrial}) = \frac{Q(\text{residual industrial})}{0,65} \quad (12)$$

Onde:

Q (Industrial) - m<sup>3</sup>/dia

Na Tabela 27 são expressas as necessidades de abastecimento industrial:

**Tabela 27 – Necessidades industriais**

<b>Necessidades Industriais</b>
<b>m<sup>3</sup>/dia</b>
2,1

### 3.4.3) Necessidades do campo de golfe

O campo de golfe da ilha do Porto Santo representa um investimento de 27 milhões de €, sendo uma obra do Governo Regional, realizada através da Sociedade de Desenvolvimento do Porto Santo. A primeira fase da obra apresenta um campo de 18 buracos de par 72 e um campo de 9 buracos de *Pitch and Put* (Porto Santo Golfe, 2014), apresentando-se ilustrado na Figura 26.



**Figura 26 - Fase 1 do campo de golfe do Porto Santo (Portugal Golfe, s.d)**

Construído ao longo da encosta nascente do Pico Ana Ferreira (Oeste da ilha), estende-se até à capela de São Pedro, englobando um conjunto de oito lagos ligados entre si, que actuam como reservatórios de água para rega (Porto Santo Golfe, 2014).

A primeira fase do campo estende-se ao longo de um total de 6434 m de comprimento e cerca de 100 m de largura (Porto Santo Golfe, 2014). A área total referente ao campo de golfe é, portanto, de 0,64 km<sup>2</sup>.

A segunda fase do campo de golfe do Porto Santo, que deveria ter sido concluída em 2008, iria dispor de mais um campo de 18 buracos, semelhante ao campo já existente, encontrando-se ilustrado na Figura 27.



**Figura 27 - Fase 2 do campo de golfe do Porto Santo (Portugal Golfe, s.d)**

Ainda que a segunda fase não tenha avançado, será interessante perceber se Porto Santo tem capacidade hídrica para suportar a sua eventual construção. Assim, será criado, na terceira parte da metodologia, um cenário que simule o aumento de área do campo de golfe e serão discutidos os respectivos impactos do mesmo. Para tal, foi considerado que este empreendimento aumentará os consumos no campo de golfe para o dobro.

Para estimar as necessidades de água dos campos de golfe, realizou-se uma estimativa mensal, onde foram consideradas percentagens relativas de consumos de água no campo de golfe da Quinta do Perú. Embora o Clima incidente nestes dois campos de golfe seja diferente, por falta de dados relativos ao campo de golfe do Porto Santo, esta foi a alternativa encontrada para estimar os consumos em causa. A Tabela 28 apresenta os dados disponibilizados pela ARM relativas ao campo de golfe do Porto Santo.

**Tabela 28 – Necessidades de água para rega do campo de golfe de Porto Santo**

	<b>Caudal necessário</b>
	<b>m<sup>3</sup>/dia (ARM, 2015)</b>
Verão (92 dias)	2 400
Resto do ano (273 dias)	1 100
Média (365 dias)	1 428

Através das percentagens relativas aos consumos no campo de golfe da Quinta do Perú, chegaram-se às seguintes necessidades para o golfe do Porto Santo, apresentadas na Tabela 29.

**Tabela 29 - Estimativa necessidades de água para rega do campo de golfe de Porto Santo**

<b>Mês</b>	<b>Necessidades rega Golfe Quinta do Perú (Quinta do Perú)</b>	<b>Necessidades rega golfe P.S.</b>	<b>Necessidades rega incluindo Fase 2 golfe P.S.</b>
	<b>%</b>	<b>m<sup>3</sup></b>	<b>m<sup>3</sup></b>
Janeiro	4	20 844	41 688
Fevereiro	5	26 055	52 110
Março	5	26 055	52 110
Abril	5	26 055	52 110
Maio	10	52 110	104 220
Junho	15	78 165	156 330
Julho	15	78 165	156 330
Agosto	15	78 165	156 330
Setembro	8	41 688	83 376
Outubro	8	41 688	83 376
Novembro	5	26 055	52 110
Dezembro	5	26 055	52 110
média (m <sup>3</sup> /dia)	-	1 428	2 855
Total	100	521 100	1 042 200

### 3.4.4) Necessidades da agricultura e pecuária

A fraca precipitação, característica de Porto Santo, é um aspecto prejudicial para a prática de agricultura. No entanto, as temperaturas são amenas, com verões não muito quentes e invernos pouco rigorosos, sendo a oscilação térmica reduzida, os ventos fracos a moderados, a humidade elevada e o relevo pouco acidentado (Drumond, 2009).

A falta de água é o maior problema que a agricultura em Porto Santo enfrenta neste momento, associada também ao desinteresse dos mais jovens por esta área (Drumond, 2009).

A agricultura em Porto Santo é desenvolvida em 134 explorações, numa superfície de 326 hectares na sua totalidade. Dentro da área agrícola existem dois tipos de culturas: temporárias e permanentes, segundo o disponibilizado na Direcção Regional de Estatística da Madeira (DREM, 2008).

Quanto às principais culturas temporárias, estas são, principalmente, cultura de cereais para grão (80 %), culturas hortícolas (14,1 %) e culturas forrageiras (5,9 %) (DREM, 2008).

Quanto às culturas permanentes, a vinha corresponde a 98,5 % da área total, representando os frutos frescos apenas 1,5 % dessa área (DREM, 2008).

Destaca-se a influência do meio sobre as culturas de vinhas. Porto Santo tem excelentes condições para a produção de vinho de mesa de qualidade. No entanto, existe um factor limitativo já mencionado, que é a escassez de água para rega. (Drumond, 2009).

Quanto à pecuária, a sua expressão é diminuta (Drumond, 2009). Assim, não foram consideradas as necessidades para de água para esta actividade.

Não conhecendo as necessidades agrícolas da região, utilizou-se o valor disposto na Direcção Regional de Estatística da Madeira (DREM, 2008), que avalia as necessidades anuais médias em 214 000 m<sup>3</sup>/ano, para a rega agrícola na ilha de Porto Santo.

Assim, tendo em conta a diferença de necessidade consoante a altura do ano, estimaram-se as necessidades agrícolas mensais, expressas na Tabela 30, através das percentagens relativas também à rega do campo de golfe, de acordo com o apresentado na Tabela 29.

**Tabela 30 - Necessidades de água para a agricultura em Porto Santo**

Mês	Necessidades rega Quinta do Perú	Necessidades agrícolas P.S.
	%	m <sup>3</sup>
Janeiro	4	8 600
Fevereiro	5	10 750
Março	5	10 750
Abril	5	10 750
Mai	10	21 500
Junho	15	32 250
Julho	15	32 250
Agosto	15	32 250
Setembro	8	17 200
Outubro	8	17 200
Novembro	5	10 750
Dezembro	5	10 750
média (m <sup>3</sup> /dia)	-	589
total	100	214 000

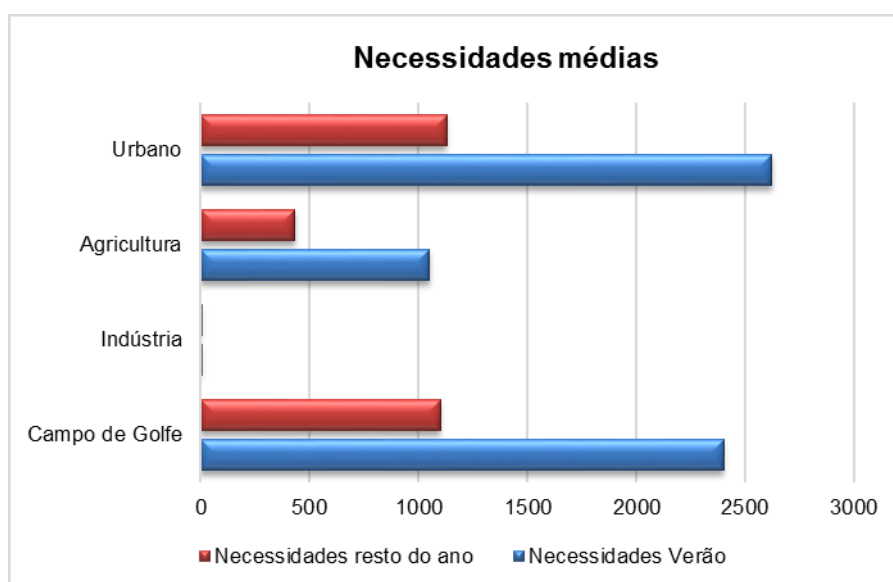
### 3.4.5) Necessidades totais

Já estimadas as necessidades de água na ilha do Porto Santo, estas apresentam-se agrupadas na Tabela 31, sendo estas referentes ao cenário base:

**Tabela 31 – Necessidades médias**

Cenário base	<b>Golfe</b>	<b>Indústria</b>	<b>Agricultura</b>	<b>Urbano</b>
	<b>m³/dia</b>	<b>m³/dia</b>	<b>m³/dia</b>	<b>m³/dia</b>
Verão (92 dias)	2400	2,1	1051	2621
Resto do ano (273 dias)	1100	2,1	433	1130

Para comparar as necessidades nos diferentes períodos, apresenta-se a Figura 28.



**Figura 28 - Necessidades médias - verão versus resto do ano (m³/dia)**

Comparando as diferentes necessidades, pode afirmar-se que:

- A indústria, cujas necessidades não dependem da sazonalidade, tem um consumo constante e muito reduzido, face às outras necessidades apresentadas;
- As necessidades agrícolas e de rega do campo de golfe praticamente duplicam no período de verão face ao resto do ano;
- Devido à significativa diferença de afluência populacional apresentada na ilha, as necessidades urbanas apresentam-se significativamente superiores no período de verão em relação ao resto do ano.

### **3.5) Determinação do cenário de abastecimento base**

Já estudadas as necessidades e disponibilidades de água na ilha do Porto Santo, procedeu-se à segunda parte da aplicação prática da metodologia de trabalho, de forma a conhecer a melhor estratégia a adoptar para abastecimento de água.

Tendo em conta as escassas disponibilidades de água que a ilha apresenta, o cenário que será delineado passará por um sistema de origens múltiplas, englobando um conjunto de disponibilidades diferentes.

Ainda assim, e antes de se proceder à escolha do melhor cenário de abastecimento, é necessário caracterizar determinados pressupostos que não podem ser ignorados, nomeadamente referentes a necessidades em que sejam necessárias disponibilidades específicas de acordo com a sua qualidade.

De acordo com a qualidade e quantidade das origens, foi construída uma série de tabelas que justificam determinadas utilizações em detrimento de outras.

Na Tabela 32, foi realizada uma avaliação da qualidade das origens de acordo com o disposto nas normas para abastecimento. Seguidamente, foi dada uma pontuação em que é atribuída a cada uso a sequência lógica de abastecimento, sem ter em conta a quantidade necessária para esse mesmo uso, expressa na Tabela 33. Considerou-se que a qualidade das várias disponibilidades não se altera durante o ano.

As tabelas 34, 35, 36 e 37, exprimem o balanço hídrico de acordo com as opções que se mostraram favoráveis nas tabelas 34 e 35. Estas tabelas englobam um balanço anual e mensal das necessidades e disponibilidades de água. Nestas tabelas consideram-se duas categorias de abastecimento: abastecimento potável urbano (tipo 1) e abastecimento para rega e outros usos (tipo 2).

Por último, foi realizada uma validação do cenário base, através dos únicos dados disponíveis na ARM, relativos aos caudais enviados para regadio do campo de golfe na ilha do Porto Santo.

Seguidamente, apresenta-se a Tabela 32, referente aos pressupostos de qualidade, e à relação que cada disponibilidade poderá ter com cada necessidade.

**Tabela 32 - Pressupostos de qualidade**

	Urbano		Golfe		Indústria***		Agricultura	
	Qualidade	Comentário	Qualidade	Comentário	Qualidade	Comentário	Qualidade	Comentário
<b>Subterrânea</b>	Insuficiente	A concentração de cloretos na maioria das captações é demasiado elevada, ultrapassando os teores limite para abastecimento*; a condutividade eléctrica ultrapassa os limites para abastecimento**	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso
<b>Superficial</b>	Insuficiente	Não existindo dados que permitam aferir a qualidade das águas de escoamento superficial, pode apenas afirmar-se que, do ponto de vista quantitativo, não existe fiabilidade de abastecimento, pois o escoamento encontra-se apenas em regime torrencial e apresenta volumes pouco significativos	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso
<b>Dessalinizada</b>	Suficiente	A dessalinizadora está equipada para tratar a água de acordo com a qualidade necessária para abastecimento público	Suficiente	Apresenta um “excesso” de tratamento pelo que o seu uso deve ser apenas compensatório	Suficiente	Apresenta um “excesso” de tratamento pelo que o seu uso deve ser apenas compensatório	Suficiente	Apresenta um “excesso” de tratamento pelo que o seu uso deve ser apenas compensatório
<b>ARUT</b>	Insuficiente	Qualidade de tratamento muito insuficiente	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso	Suficiente	Não apresenta problemas para este tipo de uso	Suficiente	Não apresenta problemas par este tipo de uso

\* Os teores limite para abastecimento público são, no máximo, de 200 mg/L, em condições normais, e 600 mg/L, em condições extremas (OMS);

\*\* A condutividade eléctrica das águas para abastecimento público não deve ser superior a 1000  $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ ;

\*\*\* Considera-se apenas indústria transformadora.

Através da análise da Tabela 32, podem retirar-se uma série de ilacções, que serão discutidas seguidamente.

Quanto às águas superficiais, subterrâneas e residuais urbanas tratadas no Porto Santo estas apresentam, na sua grande maioria, resultados desfavoráveis do ponto de vista qualitativo, não se prevendo uma possível satisfação das necessidades de abastecimento potável através das mesmas. Assim, a sua utilização fica única e exclusivamente destinada a usos não potáveis.

O abastecimento público deve, única e exclusivamente, ser efectuado através da água produzida na dessalinizadora.

A dessalinizadora deve ser utilizada para outros usos (não potáveis) apenas quando necessário, ou seja, quando existe um défice de abastecimento para outros usos.

De acordo com a qualidade evidenciada nas águas subterrâneas e superficiais, não se evidenciam incompatibilidades com a rega agrícola e processos industriais de arrefecimento (indústria transformadora).

Sendo a indústria que maior consumo representa a indústria transformadora, esta pode utilizar também as origens superficiais, subterrâneas e urbanas tratadas, de inferior qualidade, na produção eléctrica, segundo o disposto no Decreto-Lei 236/98 de 1 de Agosto.

Por outro lado, as indústrias que se enumeram de seguida, necessitam de utilizar água que garanta uma qualidade igual à de abastecimento público: indústrias alimentares para fins de fabrico, de tratamento ou de conservação de produtos ou de substâncias destinadas a serem consumidas pelo Homem, e que seja susceptível de afectar a salubridade do produto alimentar final; a água utilizada para a produção de gelo; a água acondicionada em embalagens, recipientes ou autotanques que, em circunstâncias excepcionais, poderá ser posta à disposição do consumidor para consumo humano directo; a água embalada disponibilizada em circuitos comerciais.

De acordo com os pressupostos enumerados, desenvolveu-se a Tabela 33, que coloca as opções prioritárias para cada necessidade consoante a qualidade das disponibilidades.

**Tabela 33 - Opções prioritárias para as diferentes disponibilidades, tendo em conta a qualidade das origens**

	<b>Agricultura</b>	<b>Indústria*</b>	<b>Urbano</b>	<b>Golfe</b>
<b>Superficial</b>	1	1	-	1
<b>Subterrânea</b>	1	1	-	1
<b>Dessalinizada</b>	2	2	1	2
<b>ARUT</b>	1	1	-	1

1 - representa a prioridade mais alta;

\* Caso seja indústria transformadora. As indústrias indicadas nos pressupostos acima descritos devem utilizar água dessalinizada;

\*\* Se necessário, o factor de decisão para abastecimento da Agricultura, Indústria e Golfe, passará pelo distanciamento entre as disponibilidades e necessidades.

É importante referir que tanto para a agricultura, rega de golfe como para a indústria transformadora, não existe prioridade de abastecimento das disponibilidades do tipo 2, pelo que se considerou que todas têm prioridades iguais em termos qualitativos. Assim, a escolha da prioridade recairá sobre a distância entre as disponibilidades e a necessidades.

Analisando a Tabela 33 e tendo em conta que os pressupostos de qualidade são garantidos, faz sentido encurtar as disponibilidades para apenas dois tipos: tipo 1: água potável, proveniente da dessalinizadora, e tipo 2: água para rega e outros usos, proveniente das origens superficiais, subterrâneas e ARUT.

Nas tabelas 34 e 35, apresentam-se as necessidades médias diárias de cada um dos usos, bem como as disponibilidades médias diárias de água na ilha do Porto Santo:

**Tabela 34 - Necessidades de abastecimento de água médias e pressupostos de qualidade**

<b>Necessidades</b>							
<b>Urbano (Tipo 1)</b>		<b>Agricultura (Tipo 2)</b>		<b>Indústria (Tipo 2)</b>		<b>Golfe (Tipo 2)</b>	
Necessidades médias (m <sup>3</sup> /dia)	Pressupostos qualidade	Necessidades médias (m <sup>3</sup> /dia)	Pressupostos qualidade	Necessidade médias (m <sup>3</sup> /dia)	Pressupostos de qualidade	Necessidades médias (m <sup>3</sup> /dia)	Pressupostos de qualidade
1 569	O abastecimento só pode ser garantido por dessalinização	589	O abastecimento pode ser garantido por qualquer origem, preferencialmente por esta ordem: 1º: Superficial/Subterrânea /ARUT 2º: Dessalinizada	2,1	O abastecimento pode ser garantido por qualquer origem, preferencialmente por esta ordem: 1º: Superficial/Subterrânea/ARUT; 2º: Dessalinizada	1 428	O abastecimento pode ser garantido por qualquer origem, preferencialmente por esta ordem: 1º: Superficial/Subterrânea/ARUT; 2º: Dessalinizada

**Tabela 35 – Disponibilidades médias de água**

<b>Disponibilidades</b>			
<b>Dessalinizada (Tipo 1)</b>	<b>Superficial (Tipo 2)</b>	<b>ARUT (Tipo 2)</b>	<b>Subterrânea (Tipo 2)</b>
Disponibilidade média anual (m <sup>3</sup> /dia)	Disponibilidade média anual (m <sup>3</sup> /dia)	disponibilidade média anual (m <sup>3</sup> /dia)	Disponibilidade média anual (m <sup>3</sup> /dia)
6 900	827	1 007	500

Agrupando as necessidades e as disponibilidades por tipo, é apresentado o balanço médio hídrico diário na Tabela 36.

**Tabela 36 – Necessidade média diária versus disponibilidade média diária**

	<b>Necessidades médias (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Disponibilidades médias (m<sup>3</sup>/dia)</b>	<b>Balanço (m<sup>3</sup>/dia)</b>
<b>Tipo 1</b>	1 569	6 900	+5 331
<b>Tipo 2</b>	2 019	2 334	+315

Da análise da Tabela 36, verifica-se que as disponibilidades são suficientes para garantir as necessidades na ilha do Porto Santo. Contudo, esta análise é insuficiente para perceber como reage o sistema às variações no balanço de disponibilidades e necessidades que se fazem sentir ao longo do ano. Por essa razão, foi necessário realizar um balanço hídrico mensal, que traduz melhor as reacções dos sistemas às variações sazonais. Para tal, foi elaborada a Tabela 37, que exprime o balanço hídrico mensal na ilha do Porto Santo.

**Tabela 37 - Balanço hídrico: disponibilidades versus necessidades, cenário base**

		Necessidades (m³)						Disponibilidades (m³)						Diferença Disponibilidade/Necessidade (m³)	
Mês	Nr.º dias	Urbano	Agrícola	Industrial	Golfe	Total tipo 1	Total tipo 2	Dessalinizada	Subterrânea	Superficial	ARUT	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	23 279	8 600	62,0	20 844	23 279	29 506	213 900	24 599	40 673	15 475	213 900	80 748	190 621	51 242
Fevereiro	28	21 344	10 750	56,0	26 055	21 344	36 861	193 200	20 306	33 574	14 189	193 200	68 069	171 856	31 208
Março	31	26 805	10 750	62,0	26 055	26 805	36 867	213 900	18 790	31 069	17 817	213 900	67 676	187 095	30 809
Abril	30	31 489	10 750	60,0	26 055	31 489	36 865	207 000	11 870	19 627	20 926	207 000	52 423	175 511	15 558
Mai	31	53 201	21 500	62,0	52 110	53 201	73 672	213 900	7 072	11 692	32 750	213 900	51 514	160 699	-22 158
Junho	30	66 720	32 250	60,0	78 165	66 720	110 475	207 000	3 536	5 846	41 794	207 000	51 176	140 280	-59 299
Julho	31	83 981	32 250	62,0	78 165	83 981	110 477	213 900	1 616	2 673	53 172	213 900	57 461	129 919	-53 016
Agosto	31	99 062	32 250	62,0	78 165	99 062	110 477	213 900	2 020	3 341	63 185	213 900	68 546	114 838	-41 931
Setembro	30	72 868	17 200	60,0	41 688	72 868	58 948	207 000	11 971	19 794	45 892	207 000	77 657	134 132	18 709
Outubro	31	42 772	17 200	62,0	41 688	42 772	58 950	213 900	20 154	33 324	28 419	213 900	81 897	171 128	22 947
Novembro	30	25 743	10 750	60,0	26 055	25 743	36 865	207 000	25 256	41 759	17 111	207 000	84 126	181 257	47 261
Dezembro	31	25 411	10 750	62,0	26 055	25 411	36 867	213 900	35 308	58 379	16 891	213 900	110 578	188 489	73 711
Anual	365	572 675	215 000	730,0	521 100	572 675	736 830	2 518 500	182 500	301 750	367 621	2 518 500	851 871	-	-

A Tabela 37 representa o cenário base actual para o balanço hídrico global na ilha do Porto Santo.

Analisando os resultados obtidos, verificam-se as seguintes características:

- No período entre Setembro e Abril, inclusive, a diferença entre disponibilidades e necessidades, referentes às disponibilidades do tipo 2, são positivas, não se prevendo necessidade de dessalinização compensatória;
- No período entre Maio e Agosto, inclusive, a diferença de disponibilidades e necessidades, referentes às disponibilidades do tipo 2, são negativas. Por esta razão, o abastecimento do tipo 2 encontra-se comprometido, sendo necessário compensação com água dessalinizada e/ou utilização de volumes armazenados estrategicamente nos principais açudes;
- A dessalinizadora, à capacidade máxima, tem possibilidade de abastecer todas as necessidades na ilha do Porto Santo (tipo 1 e tipo 2) mesmo que não haja reutilização de águas residuais;
- O campo de golfe é responsável pela utilização da maior percentagem de disponibilidades do tipo 2, seguido da agricultura;
- Apesar de não gerarem volumes significativos, as disponibilidades hídricas naturais são essenciais para que haja garantia de abastecimento do tipo 2;
- Os meses de Junho e Julho apresentam as falhas mais significativas de disponibilidades do tipo 2;
- Comparando os volumes remanescentes disponíveis na dessalinizadora (diferença disponibilidade/necessidade do tipo 1), verifica-se que existe capacidade da dessalinizadora para cobrir as falhas do tipo 2 evidenciadas;
- Comparando os volumes produzidos na ETAR com as necessidades do campo de golfe, verifica-se que estas não são suficientes para cobrir todas as necessidades do campo (exceptuando o mês de Setembro), sendo necessário recorrer às origens hídricas naturais e/ou a dessalinização compensatória.

É importante ainda referir que, através dos reservatórios existentes na ilha do Porto Santo, existe capacidade para armazenar volumes remanescentes de meses em que o balanço hídrico seja positivo, de forma a suportar eventuais falhas de abastecimento em meses onde o balanço hídrico seja negativo. Assim, a secção que se segue exprime essa mesma capacidade para armazenar volumes estrategicamente, sendo que se considerou que existem 130 000 m<sup>3</sup> de armazenamento disponível, referentes ao limite do açude do tanque, para disponibilidades do tipo 2. No entanto, existem dois processos naturais que podem comprometer esta reserva estratégica: a evaporação e a eutrofização. Ambas foram consideradas no capítulo seguinte.

### **3.5.1) Armazenamento no açude do Tanque**

Tendo em conta o principal açude responsável pelo armazenamento de disponibilidades do tipo 2, o açude do Tanque, teria sido necessário proceder ao cálculo da evaporação mensal a partir do mesmo, para perceber a capacidade de armazenar volumes remanescentes de meses onde o balanço hídrico é positivo. No entanto, face à falta de dados de base, à inexistência de medições de campo e à inexistência de uma estação meteorológica (apenas existe uma estação udométrica) na ilha do Porto Santo, existe uma limitação prática para o cálculo da evaporação sentida na massa de água presente neste açude.

Por outro lado, o açude pode estar sujeito a fenómenos pontuais de eutrofização, que se desconhecem.

A solução encontrada para prever a reacção do sistema ao armazenamento de volumes, passou por definir três cenários diferentes de acumulação, referenciados de seguida:

1. Sem acumulação no açude do tanque: este cenário admite que o açude não tem qualquer capacidade para armazenar volumes remanescentes. Este cenário exprime, essencialmente, uma situação onde os volumes armazenados perdessem a qualidade e/ou quantidade através de fenómenos de eutrofização e evaporação, onde surgiria a necessidade de esvaziar o açude do tanque sistematicamente antes das reservas poderem ser utilizadas;

2. Com acumulação a 100 %: melhor cenário possível, admite a possibilidade de acumular 100 % dos volumes remanescentes de meses onde o balanço seja positivo, minimizando assim as necessidades de dessalinização compensatória para o abastecimento do tipo 2;
3. Com acumulação a 50 %: cenário intermédio, admite que apenas será possível armazenar 50 % dos volumes remanescentes de meses onde o balanço seja positivo (todos os meses se perde 50 % do volume armazenado), minimizando, ainda assim, as necessidades de dessalinização compensatória para abastecimento do tipo 2.

Interessa referir que se considerou que o açude do Tanque, em Janeiro, se encontra completamente vazio, ou seja, não se considerou que houvesse armazenamento interanual.

De seguida apresenta-se a Tabela 38, que espelha as três situações anteriormente referidas:

**Tabela 38 - Cenários de acumulação no açude do Tanque**

Mês	Balanço com acumulação do tipo 2 a 100 % (2)	Balanço sem acumulação tipo 2 (1)	Balanço com acumulação do tipo 2 a 50 % (3)
	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )
Janeiro	51 242	0	25 621
Fevereiro	82 450	0	28 414
Março	113 259	0	29 612
Abril	128 817	0	22 585
Maió	106 659	-22 158	-10 865
Junho	47 360	-59 299	-59 299
Julho	-5 656	-53 016	-53 016
Agosto	-41 931	-41 931	-41 931
Setembro	18 709	0	9 355
Outubro	41 656	0	16 151
Novembro	88 917	0	31 706
Dezembro	130 000	0	52 708
<b>Necessidade dessalinização compensatória</b>	<b>-47 587</b>	<b>-176 404</b>	<b>-165 111</b>

Analisando a Tabela 38, verifica-se que:

- Para o cenário mais optimista (cenário 2), a dessalinizadora terá de fornecer cerca de 48 000 m<sup>3</sup> de água potável às necessidades do tipo 2, nomeadamente nos meses de Julho e Agosto;
- Para o cenário intermédio (cenário 3), a dessalinizadora terá de fornecer um total de cerca de 165 000 m<sup>3</sup> de água potável às necessidades do tipo 2, nomeadamente de Maio a Agosto;
- Para o cenário mais conservador (cenário 1), a dessalinizadora terá de fornecer a totalidade das falhas do tipo 2, ou seja, um volume de cerca de 176 000 m<sup>3</sup> de água potável, nomeadamente entre Maio e Agosto.

O cenário escolhido, para validação do cenário base de abastecimento, foi o cenário intermédio (cenário 3), sendo que este cenário expressará melhor a capacidade de armazenamento e, conseqüentemente, as necessidades de dessalinização compensatória mais aproximadas da realidade no Porto Santo.

### 3.5.2) Validação do cenário base

Através de uma série de dados disponibilizados pela ARM, foi realizada a validação do modelo relativo ao cenário base. A ARM apenas têm acesso a dados relativos aos caudais fornecidos ao golfe, desconhecendo os caudais referentes à agricultura e indústria, tanto fornecidos como necessários. Importa referir que, em 2014, segundo o disponibilizado pela ARM, não foi fornecida água dessalinizada ao golfe por quebra do acordo contratual. A validação do cenário base foi, assim, realizada através da comparação entre os dados disponibilizados pelas ARM e as estimativas realizadas para o cenário base, relativamente ao abastecimento do campo de golfe.

Como já foi referido, a ETAR da Ponta não produz água residual tratada suficiente para suprir a totalidade das necessidades do campo de golfe em qualquer mês do ano, à excepção de Setembro, sendo que as diferenças têm de ser compensadas pelas disponibilidades hídricas naturais e/ou dessalinização compensatória.

Por outro lado, considerou-se que a totalidade das ARUT produzidas na ETAR da Ponta servem única e exclusivamente o abastecimento do campo de golfe. Apesar das opções prioritárias para disponibilidades do tipo 2, discutidas no início da secção 3.5, não revelarem qualquer prioridade relativamente à utilização das ARUT em termos qualitativos. Neste caso, o factor de decisão prendeu-se com as distâncias entre a ETAR e o campo de golfe e a ETAR e o açude do Tanque, como mostra a Figura 29.

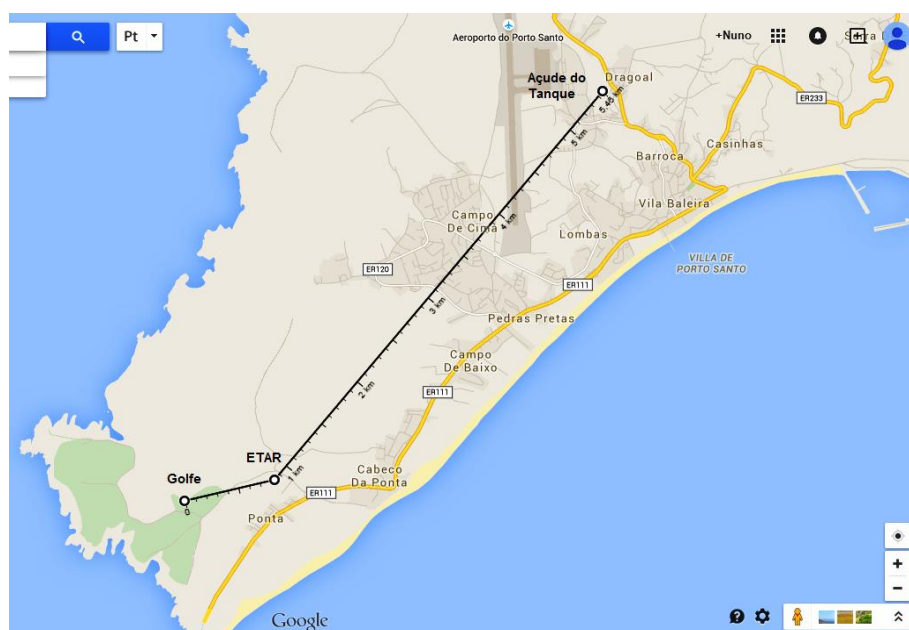


Figura 29 – Distâncias entre ETAR e campo de golfe/açude do Tanque (Google Maps)

Tendo em conta que a grande maioria das áreas agrícolas se situam em redor do aeroporto e do açude do Tanque, atribuiu-se prioridade na distribuição das reservas hídricas naturais à agricultura, seguindo o mesmo raciocínio aplicado à prioridade das ARUT.

Como se pode verificar na Figura 29, a ETAR da Ponta dista cerca de 1 km do campo de golfe e a cerca de 4,5 km do açude do Tanque, pelo que se justifica assim a utilização da totalidade das ARUT no abastecimento do campo de golfe.

As estimativas de abastecimento para o campo de golfe de Porto Santo, consoante a origem de água, encontram-se expressas na Tabela 39.

**Tabela 39 – Estimativas para abastecimento do campo de golfe, cenário base**

Mês	Águas residuais	Subterrânea e Superficial	Dessalinizada	Soma fornecimento
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Janeiro	15 475	5 369	0	20 844
Fevereiro	14 189	11 866	0	26 055
Março	17 817	8 238	0	26 055
Abril	20 926	5 129	0	26 055
Mai	32 750	8 495	10 865	52 110
Junho	41 794	0	36 371	78 165
Julho	53 172	0	24 993	78 165
Agosto	63 185	0	14 980	78 165
Setembro	41 688	0	0	41 688
Outubro	28 419	13 269	0	41 688
Novembro	17 111	8 944	0	26 055
Dezembro	16 891	9 164	0	26 055
Soma anual	363 417	70 473	87 210	521 100
Média diária	996	193	239	1 428

Destaca-se o peso das disponibilidades hídricas naturais para garantir o abastecimento entre Outubro a Maio, inclusive. Nos restantes meses é necessário dessalinizar as restantes necessidades, garantindo assim o abastecimento do campo de golfe.

Seguidamente, na Tabela 40, apresentam-se os dados disponibilizados pela ARM, bem como a comparação dos valores estimados com os valores disponibilizados.

**Tabela 40 - Validação do modelo: dados disponibilizados versus estimativas (para abastecimento do campo de golfe)**

Ano	Soma de água potável fornecida pela dessalinizadora	Soma de água rega fornecida através das disponibilidades hídricas naturais	Soma de água reciclada fornecida pela ETAR	Soma fornecimento
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
2009 (ARM)	124 266	45 954	383 571	553 791
2010 (ARM)	103 024	86 575	275 563	465 162
2011 (ARM)	61 827	154 070	322 235	538 132
2012 (ARM)	148 016	19 477	273 580	441 073
2013 (ARM)	61 244	75 275	292 212	428 731
2014 (ARM)	0	10 131	265 717	275 848
<b>Média (ARM)</b>	<b>99 675</b>	<b>76 270</b>	<b>309 432</b>	<b>485 378</b>
<b>Estimativas</b>	<b>87 210</b>	<b>70 473</b>	<b>363 417</b>	<b>521 100</b>

Analisando a Tabela 40, pode afirmar-se que:

- Quanto às águas residuais produzidas na ETAR, as estimativas encontram-se enquadradas com os dados disponibilizados pela ARM;

- Quanto à água potável fornecida pela dessalinizadora ao campo de golfe, as estimativas encontram-se enquadradas com os dados disponibilizados pela ARM;
- Quanto à água proveniente das reservas hídricas naturais, as estimativas estão enquadradas com os dados disponibilizados pela ARM;
- A soma dos fornecimentos, estimados para o campo de golfe, encontram-se enquadradas com os valores disponibilizados pela ARM.

De acordo com o descrito acima, os valores disponibilizados e estimados encontram-se enquadrados, pelo que se pode considerar que o modelo e as aproximações do mesmo como válidas.

### 3.5.3) Custos de tratamento residual e abastecimento potável

Tendo em conta os dados disponibilizados pela ARM, para os custos associados ao tratamento residual e abastecimento potável, chegaram-se aos resultados apresentados na Tabela 41.

**Tabela 41 - Custos de tratamento de águas residuais e de dessalinização**

Mês	Tratamento de águas residuais	Dessalinização
	€ (1 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	15 475	24 443
Fevereiro	14 189	22 411
Março	17 817	28 146
Abril	20 926	33 063
Maio	32 750	67 269
Junho	41 794	132 320
Julho	53 172	143 847
Agosto	63 185	148 042
Setembro	45 892	76 511
Outubro	28 419	44 911
Novembro	17 111	27 030
Dezembro	16 891	26 682
<b>Total</b>	<b>367 621</b>	<b>774 675</b>

Analisando a Tabela 41, constata-se que, para o cenário base, serão necessários cerca de 368 000 € anuais para tratamento e bombagem das águas residuais urbanas tratadas. Quanto aos custos de dessalinização, serão necessários cerca de 775 000 € anuais para tratamento e bombagem de água potável.

Por outro lado, nem toda a água dessalinizada de compensação tem como destino o campo de golfe do Porto Santo. Assim, foi elaborada a Tabela 42 que exprime os custos de dessalinização para o campo de golfe, para o segundo maior consumidor do tipo 2, a agricultura, e ainda para as necessidades urbanas de potabilização.

**Tabela 42 - Custos de dessalinização por utilizador**

<b>Mês</b>	<b>Dessalinização campo de golfe</b>	<b>Dessalinização agricultura</b>	<b>Dessalinização urbana</b>
	<b>€ (1,05 €/m3)</b>	<b>€ (1,05 €/m3)</b>	<b>€ (1,05 €/m3)</b>
Janeiro	0	0	24 443
Fevereiro	0	0	22 411
Março	0	0	28 146
Abril	0	0	33 063
Maio	11 409	0	55 861
Junho	38 190	24 074	70 056
Julho	26 243	29 424	88 180
Agosto	15 729	28 298	104 015
Setembro	0	0	76 511
Outubro	0	0	44 911
Novembro	0	0	27 030
Dezembro	0	0	26 682
<b>Total</b>	<b>91 570</b>	<b>81 797</b>	<b>601 308</b>

Como se pode verificar na Tabela 42, os custos de dessalinização para o campo de golfe rondam os 92 000 € anuais, os custos de dessalinização para a agricultura rondam os 82 000 € anuais e os custos de potabilização urbana rondam os 600 000 € anuais.

### 3.6) Determinação de cenários limite

De acordo com os pressupostos de qualidade e quantidade evidenciados na secção 3.5, procedeu-se à definição de cenários extremos, isto é, cenários que evidenciem as lacunas do sistema de abastecimento e que, eventualmente, possam prever a reacção do sistema a algumas contingências.

Estes cenários entram em conta com as infraestruturas já construídas na ilha, nomeadamente os açudes que se destinam a armazenamento de água, considerando-se que a ilha tem capacidade para armazenar 130 000 m<sup>3</sup> de disponibilidades do tipo 2 (capacidade limite do açude do tanque) e 19 000 m<sup>3</sup> de disponibilidades do tipo 1.

As necessidades agrícolas e industriais mantêm-se constantes em todos os cenários, assim como a disponibilidade máxima da dessalinizadora.

Os cenários escolhidos apresentam-se na Tabela 43.

**Tabela 43 - Cenários limite**

Cenários limite					
Ano seco (1)	ETAR falha durante 3 semanas em Agosto, em ano médio (2)	Aproveitamento máximo teórico das disponibilidades naturais (3)	ETAR à capacidade máxima (4)	Fase 2 do campo de golfe (5)	Fase 2 do campo de golfe com ETAR à capacidade máxima (6)

#### 3.6.1) Cenário 1: Ano seco

Este cenário surge com a necessidade de perceber como reage o sistema de abastecimento a uma precipitação mais baixa que o habitual. Para a sua elaboração, utilizaram-se os dados que estão disponíveis no SNIRH (Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos), referentes à ilha do Porto Santo. Para o intervalo temporal entre 1983 a 1999, referente ao ano hidrológico (de Outubro de um ano a Setembro do ano seguinte). Estes valores encontram-se disponíveis para consulta na secção de anexos, Anexo 3.

Através dos dados apresentados no Anexo 3, procedeu-se à contagem do número de anos da amostra (N), à média de precipitação e ao desvio padrão da mesma (DP). Os valores encontrados estão expressos na Tabela 44.

**Tabela 44 - Número de anos, média e desvio padrão da série de precipitação disponível para Porto Santo**

<b>N</b>	17
<b>Média</b>	292,2
<b>DP</b>	119,9

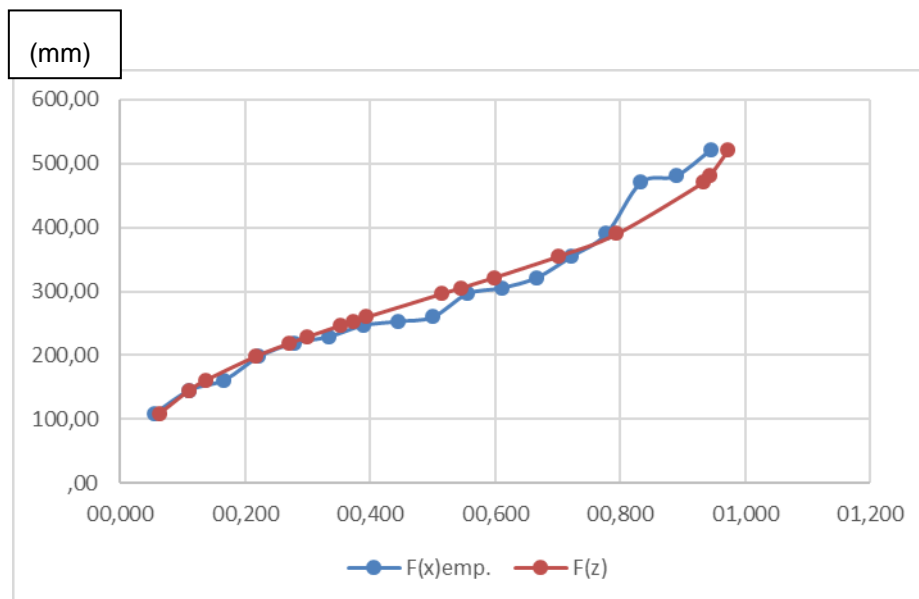
Antes de proceder ao cálculo dos valores inerentes a ano seco, foi necessário validar a série de precipitação. Para tal, foi aplicado o teste de *Kolmogorov-Smirnov*.

Na Tabela 45 apresentam-se os resultados obtidos.

**Tabela 45 - Análise estatística**

n	P (mm)	P. ordenado (mm)	F(x) empírico	z	F(z)	D1	D2
1	198,2	109,4	0,0556	-1,5249	0,0636	0,0048	0,0636
2	521,6	145,5	0,1111	-1,2237	0,1105	0,0071	0,0517
3	471,1	161,5	0,1667	-1,0903	0,1378	0,0387	0,0202
4	322,0	198,2	0,2222	-0,7841	0,2165	0,0188	0,0400
5	246,9	219,2	0,2778	-0,6089	0,2713	0,0228	0,0360
6	355,2	229,1	0,3333	-0,5263	0,2993	0,0536	0,0052
7	260,1	246,9	0,3889	-0,3778	0,3528	0,0590	0,0002
8	305,8	253,2	0,4444	-0,3253	0,3725	0,0981	0,0393
9	481,3	260,1	0,5000	-0,2677	0,3945	0,1349	0,0761
10	229,1	296,5	0,5556	0,0360	0,5143	0,0739	0,0151
11	253,2	305,8	0,6111	0,1136	0,5452	0,1019	0,0430
12	296,5	322,0	0,6667	0,2487	0,5982	0,1077	0,0489
13	145,5	355,2	0,7222	0,5257	0,7004	0,0643	0,0054
14	109,4	390,6	0,7778	0,8210	0,7942	0,0294	0,0295
15	390,6	471,1	0,8333	1,4925	0,9322	0,0499	0,1087
16	219,2	481,3	0,8889	1,5776	0,9427	0,0015	0,0603
17	161,5	521,6	0,9444	1,9138	0,9722	0,0278	0,0310

Comparando F(x) empírico com F(z), obteve-se a Figura 30.



**Figura 30 - F(x) empírico versus F(z)**

Através da análise da Figura 30, os valores parecem ajustar-se, embora ainda se tenha de proceder à validação da série de precipitação.

Na sequência da validação da série de precipitação, chegaram-se aos resultados apresentados na Tabela 46.

**Tabela 46 – Validação pelo método de Kolmogorov-Smirnov**

Teste Kolmogorov-Smirnov	
Dmax calculado	0,135
Dmax tabelado	0,253

Sendo D máximo tabelado superior ao D máximo calculado, não se rejeita a hipótese da função de distribuição normal descrever, de forma adequada, o comportamento da série de valores de precipitação total anual disponível.

Através das tabelas anteriores, procedeu-se ao cálculo das precipitações referentes aos anos característicos (muito seco, seco, médio, húmido e muito húmido), através das seguintes equações (13 e 14) (Lições de Hidrologia, 2006).

$$z = \text{Inverso Normal } [F(x) \text{ teórico}] \quad (13)$$

$$P(\text{mm}) = z * \text{desvio padrão} + \text{média} \quad (14)$$

Através das anteriores equações chegaram-se aos resultados apresentados na Tabela 47.

**Tabela 47 – Anos característicos para o regime de precipitação em Porto Santo**

	F(x) teórico	z	P (mm)
Ano muito seco	0.05	-1.6449	95.0
<b>Ano seco</b>	<b>0.20</b>	<b>-0.8416</b>	<b>191.3</b>
Ano médio	0.50	0.0000	292.2
Ano húmido	0.80	0.8416	393.1
Ano muito húmido	0.95	1.6449	489.4

Através do descrito na secção referente às disponibilidades subterrâneas e superficiais (secção 3.3.3.4), procedeu-se ao cálculo destas disponibilidades através da mesma metodologia. Interessa referir que os caudais, relativos ao aproveitamento superficial e subterrâneo, para o ano seco, foram considerados apenas como 40 % do estimado (40 % dos 191,3 mm). A razão pela qual foi realizada esta aproximação prende-se com os valores obtidos para escoamento superficial e recarga de aquíferos que, para ano seco, caso não fossem afectados por esta percentagem, seriam superiores aos valores considerados no cenário base.

Tendo em conta que 90 % da precipitação (191,3 mm) se perde por evapotranspiração do solo e das plantas, que apenas 10 % são referentes a escoamento superficial e recarga de aquíferos e que existe um limite de extracção de 60 % para a recarga de aquíferos, chegaram-se as seguintes disponibilidades:

- Disponibilidades totais hídricas: 259 740 m<sup>3</sup>/ano;
- Escoamento superficial: 162 338 m<sup>3</sup>/ano;
- Recarga de aquíferos: 97 403 m<sup>3</sup>/ano.

Ainda assim, é necessário compreender como se distribuem estes caudais durante os diferentes meses do ano. Na Tabela 48 é apresentada a distribuição de caudais referentes a cada mês.

**Tabela 48 - Distribuição de volumes das disponibilidades hídricas naturais para o ano seco**

Mês	Ano Seco			
	P (mm) (IM, IPortugal)	% (P)	Escoamento superficial (m <sup>3</sup> )	Recarga de aquíferos (m <sup>3</sup> )
Janeiro	46,7	0,1348	21 918	13 151
Fevereiro	40,2	0,1113	18 092	10 855
Março	35,2	0,1030	16 742	10 045
Abril	23,5	0,0650	10 576	6 346
Maio	14	0,0387	6 301	3 780
Junho	7	0,0194	3 150	1 890
Julho	3,2	0,0089	1 440	864
Agosto	4	0,0111	1 800	1 080
Setembro	23,7	0,0656	10 666	6 400
Outubro	37,9	0,1104	17 957	10 774
Novembro	50	0,1384	22 503	13 502
Dezembro	69,9	0,1935	31 459	18 875
<b>total</b>	<b>355</b>	<b>1</b>	<b>162 338</b>	<b>97 403</b>

Interessa ainda referir que, para os caudais referentes às restantes disponibilidades e necessidades, consideraram-se os mesmos valores que se encontram no cenário base, não havendo por isso alterações. Seguidamente apresenta-se a Tabela 49, referente ao balanço hídrico relativo ao ano seco:

**Tabela 49 - Balanço hídrico cenário 1**

Mês	Nr.º dias	Necessidades (m³)		Disponibilidades (m³)				Diferença Disponibilidade/Necessidade (m³)	
		Total tipo 1	Total tipo 2	Subterrânea	Superficial	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	23 279	29 506	13 151	21 918	213 900	50 544	190 621	21 038
Fevereiro	28	21 344	36 861	10 855	18 092	193 200	43 136	171 856	6 275
Março	31	26 805	36 867	10 045	16 742	213 900	44 604	187 095	7 737
Abril	30	31 489	36 865	6 346	10 576	207 000	37 848	175 511	983
Maiο	31	53 201	73 672	3 780	6 301	213 900	42 831	160 699	-30 841
Junho	30	66 720	110 475	1 890	3 150	207 000	46 834	140 280	-63 641
Julho	31	83 981	110 477	864	1 440	213 900	55 476	129 919	-55 001
Agosto	31	99 062	110 477	1 080	1 800	213 900	66 066	114 838	-44 411
Setembro	30	72 868	58 948	6 400	10 666	207 000	62 958	134 132	4 010
Outubro	31	42 772	58 950	10 774	17 957	213 900	57 151	171 128	-1 799
Novembro	30	25 743	36 865	13 502	22 503	207 000	53 115	181 257	16 250
Dezembro	31	25 411	36 867	18 875	31 459	213 900	67 225	188 489	30 358

Analisando os resultados obtidos na Tabela 49, verificam-se as seguintes características para este cenário:

- À partida, as disponibilidades são suficientes para garantir as necessidades na ilha durante o período entre Novembro e Abril, bem como em Setembro. Por outro lado, e no período entre Maio e Agosto, bem como no mês de Outubro, a diferença de disponibilidades e necessidades, referentes ao abastecimento do tipo 2, são negativas, sendo necessário compensação com água dessalinizada e/ou utilização de volumes armazenados estrategicamente nos principais açudes;
- A dessalinizadora, expressa à capacidade máxima, é capaz de suprir as falhas de abastecimento do tipo 2, como se pode verificar comparando o balanço do tipo 1 com o do tipo 2;

- Mais uma vez, as disponibilidades superficiais e subterrâneas apresentam-se essenciais para o bom funcionamento do sistema, sendo estes resultados prova disso mesmo, onde um eventual ano seco se traduz numa necessidade de dessalinização superior ao normal e/ou numa necessidade de utilização das reservas estratégicas;

Tendo em conta o que foi descrito anteriormente, será necessário perceber a capacidade de acumulação de volumes remanescentes de meses onde o balanço hídrico é positivo. Para tal, foi utilizada a mesma metodologia referente ao cenário base, isto é, foram considerados três cenários diferentes de acumulação. Seguidamente, na Tabela 50, apresentam-se esses cenários de acumulação:

**Tabela 50 - Cenários de acumulação no açude do Tanque**

Mês	Balanço com acumulação do tipo 2 a 100 % (2)	Balanço sem acumulação tipo 2 (1)	Balanço com acumulação do tipo 2 a 50 % (3)
	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )
Janeiro	21 038	0	10 519
Fevereiro	27 313	0	8 397
Março	35 050	0	8 067
Abril	36 034	0	4 525
Maió	5 193	-30 841	-28 578
Junho	-58 448	-63 641	-63 641
Julho	-55 001	-55 001	-55 001
Agosto	-44 411	-44 411	-44 411
Setembro	4 010	0	2 005
Outubro	2 211	-1 799	-797
Novembro	16 250	0	8 125
Dezembro	46 609	0	19 242
<b>Necessidade de dessalinização compensatória</b>	<b>-157 860</b>	<b>-195 693</b>	<b>-192 428</b>

Como se pode verificar, a reserva de água no açude do Tanque, em caso de ano seco, não apresenta variações significativas para os três cenários de acumulação considerados. Ainda assim, foi escolhido o balanço com acumulação de 50 % para cálculo dos custos associados.

Comparando estes valores com os apresentados na secção 3.5.1, referente ao cenário base, constata-se uma diferença significativa na necessidade de dessalinização compensatória, o que se traduzirá em maiores custos associados a esta necessidade extraordinária.

Dadas as características deste cenário, os custos de tratamento de água residual mantêm-se constantes e iguais ao cenário base. Seguidamente, na Tabela 51, apresentam-se os custos mensais e anuais de dessalinização.

**Tabela 51 – Custos de dessalinização**

Mês	Dessalinização (ano seco)	Dessalinização de compensação (ano seco)	Dessalinização de compensação (base)
	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	24 443	0	0
Fevereiro	22 411	0	0
Março	28 146	0	0
Abril	33 063	0	0
Maio	85 868	30 007	11 409
Junho	136 878	66 823	62 264
Julho	145 931	57 751	55 667
Agosto	150 647	46 632	44 027
Setembro	76 511	0	0
Outubro	45 748	837	0
Novembro	27 030	0	0
Dezembro	26 682	0	0
<b>Total</b>	<b>803 358</b>	<b>202 049</b>	<b>173 367</b>

Como se pode verificar, comparando os custos de dessalinização deste cenário com o cenário base, acresce aos custos de dessalinização cerca de 30 000 € anuais, em caso de ano seco.

### 3.6.2) Cenário 2: ETAR falha durante 3 semanas, em Agosto

Um dos incidentes com maior frequência que pode ocorrer numa ETAR relaciona-se com descargas poluentes de efluentes não sujeitos a tratamento, tecnicamente apelidada por operação de *bypass*, podendo esta ser utilizada em toda a linha de tratamento. A ocorrência de descargas de efluentes antes do processo de tratamento estar completo pode ser consequência das mais variadas situações. Na Tabela 52, apresentam-se as diferentes situações passíveis de originar uma operação de *bypass*:

**Tabela 52 – Situações típicas de *bypass* numa ETAR (Degremont, 2007)**

Operação de <i>bypass</i>	Falhas de equipamentos
	Envelhecimento de infraestruturas
	Falta de manutenção dos equipamentos instalados na ETAR
	Obstrução da rede de tratamento
	Falhas no fornecimento de energia eléctrica
	Volumes de caudal de dimensionamento ultrapassados
	Perturbações na linha de tratamento

As situações de ocorrência de operações de *bypass* não estão excluídas da obrigação, por parte dos operadores, de elaboração de medidas de prevenção e de reparação previstas no regime de responsabilidade ambiental. As maior consequência das operações de *bypass* é a contaminação das zonas de descarga.

No Porto Santo, uma eventual operação de *bypass* tem um peso acrescido, dada a necessidade de reaproveitamento das águas residuais para regadio.

Sendo esta ilha um local algo remoto, escolheu-se um período de *bypass* de 3 semanas, um valor que se considerou conservador, tendo em conta o tempo necessário para resolver um eventual problema.

Por outro lado, escolheu-se o mês de Agosto, pois este é o mês de maior afluência de população, pelo que a produção de água residual durante este mês é mais significativa que nos restantes meses. Assim, esta seria a altura do ano onde uma eventual falha na ETAR se tornaria mais significativa e com maiores repercussões para o bom funcionamento do sistema de abastecimento no Porto Santo.

Interessa ainda referir que, para os caudais referentes às restantes disponibilidades e necessidades, consideraram-se os mesmos valores que se encontram no cenário base, não havendo por isso alterações.

Seguidamente apresenta-se a Tabela 53, referente ao balanço hídrico para o cenário idealizado:

**Tabela 53 – Balanço hídrico cenário nr.º 2**

		Necessidades (m <sup>3</sup> )		Disponibilidades (m <sup>3</sup> )			Diferença Disponibilidade/Necessidade (m <sup>3</sup> )	
Mês	Nr.º dias	Total tipo 1	Total tipo 2	ARUT	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	23 279	29 506	15 475	213 900	80 748	190 621	51 242
Fevereiro	28	21 344	36 861	14 189	193 200	68 069	171 856	31 208
Março	31	26 805	36 867	17 817	213 900	67 676	187 095	30 809
Abril	30	31 489	36 865	20 926	207 000	52 423	175 511	15 558
Maio	31	53 201	73 672	32 750	213 900	51 514	160 699	-22 158
Junho	30	66 720	110 475	41 794	207 000	51 176	140 280	-59 299
Julho	31	83 981	110 477	53 172	213 900	57 461	129 919	-53 016
Agosto	31	99 062	110 477	15 796	213 900	21 157	114 838	-89 320
Setembro	30	72 868	58 948	45 892	207 000	77 657	134 132	18 709
Outubro	31	42 772	58 950	28 419	213 900	81 897	171 128	22 947
Novembro	30	25 743	36 865	17 111	207 000	84 126	181 257	47 261
Dezembro	31	25 411	36 867	16 891	213 900	110 578	188 489	73 711

Como se pode verificar na Tabela 54, o balanço hídrico correspondente a este cenário acarreta consigo os mesmos problemas que os verificados para o cenário base, nomeadamente referentes ao período entre Maio e Julho, onde, eventualmente, existiram problemas de abastecimento para as disponibilidades do tipo 2.

Quanto ao mês de Agosto, a falha na ETAR é significativa para a produção de água residual tratada, embora, como se pode verificar pelo balanço hídrico do tipo 1, a dessalinizadora tenha capacidade para suprir esta falha na sua totalidade.

Foi ainda necessário calcular a capacidade de acumulação de água no açude do Tanque, para se proceder ao cálculo dos custos de dessalinização compensatória. A metodologia aplicada para este cálculo foi a mesma que a aplicada no ano base, englobando três cenários de acumulação diferentes. Seguidamente, na Tabela 54, apresentam-se os três diferentes cenários de acumulação:

**Tabela 54 – Cenários de acumulação no açude do Tanque**

Mês	Balanco com acumulação do tipo 2 a 100 % (2)	Balanco sem acumulação tipo 2 (1)	Balanco com acumulação do tipo 2 a 50 % (3)
	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )
Janeiro	51 242	0	25 621
Fevereiro	82 450	0	28 414
Março	113 259	0	29 612
Abril	128 817	0	22 585
Maior	106 659	-22 158	-10 865
Junho	47 360	-59 299	-64 732
Julho	-5 656	-53 016	-53 016
Agosto	-89 320	-89 320	-89 320
Setembro	18 709	0	9 355
Outubro	41 656	0	16 151
Novembro	88 917	0	31 706
Dezembro	130 000	0	52 708
<b>Necessidade de dessalinização compensatória</b>	<b>-94 976</b>	<b>-223 793</b>	<b>-217 933</b>

Como se pode verificar na Tabela 54, a necessidade de dessalinização varia significativamente consoante a capacidade de acumulação de disponibilidades do tipo 2. Os custos associados à dessalinização extra serão calculados a partir do balanço com acumulação a 50 %.

Seguidamente, na Tabela 55, apresentam-se os custos de dessalinização para o cenário em análise.

**Tabela 55 - Custos de dessalinização**

Mês	Dessalinização ( <i>bypass</i> )	Dessalinização de compensação ( <i>bypass</i> )	Dessalinização de compensação (base)
	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	24 443	0	0
Fevereiro	22 411	0	0
Março	28 146	0	0
Abril	33 063	0	0
Maio	67 269	11 409	11 409
Junho	138 024	67 968	62 264
Julho	143 847	55 667	55 667
Agosto	197 800	93 785	44 027
Setembro	76 511	0	0
Outubro	44 911	0	0
Novembro	27 030	0	0
Dezembro	26 682	0	0
<b>Total</b>	<b>830 138</b>	<b>228 830</b>	<b>173 367</b>

Como se pode verificar através dos resultados apresentados na Tabela 55, a diferença de custos de dessalinização compensatória, em relação ao cenário base, prendem-se única e exclusivamente com a falha na ETAR em Agosto, onde o défice evidenciado tem de ser suprido através de dessalinização. Em termos monetários, a diferença de custos associados a esta dessalinização extraordinária rondam os 50 000 €.

### 3.6.3) Cenário 3: Aproveitamento máximo teórico das disponibilidades naturais

Tendo em conta as disponibilidades estimadas, tanto para os recursos subterrâneos como superficiais, seria interessante perceber, caso exista a possibilidade de melhoria das infraestruturas necessárias para o efeito, como reagiria o sistema de distribuição a um aumento das disponibilidades hídricas naturais na ilha do Porto Santo.

Para proceder à definição deste cenário, considerou-se que, potencialmente, os recursos hídricos totais (subterrâneos e superficiais) são de aproximadamente 35,5 mm, o que corresponde à disponibilidade hídrica teórica máxima. Para cálculo das disponibilidades hídricas naturais, foi utilizado o mesmo raciocínio que o aplicado relativamente ao ano base. Os resultados apresentam-se de seguida:

- Disponibilidade potencial total hídrica: 1 207 000 m<sup>3</sup>/ano;
- Disponibilidades superficiais: 754 375 m<sup>3</sup>/ano;
- Disponibilidades subterrâneas: 452 625 m<sup>3</sup>/ano.

Para as restantes necessidades e disponibilidades, consideraram-se os mesmos caudais que no cenário base.

Seguidamente, apresenta-se a Tabela 56, referente ao balanço hídrico para o cenário em análise.

**Tabela 56 - Balanço hídrico cenário 3**

		Necessidades (m³)		Disponibilidades (m³)				Diferença Disponibilidade/Necessidade (m³)	
Mês	Nr.º dias	Total tipo 1	Total tipo 2	Subterrânea	Superficial	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	23 279	29 506	61 010	101 683	213 900	178 168	190 621	148 662
Fevereiro	28	21 344	36 861	50 361	83 935	193 200	148 485	171 856	111 624
Março	31	26 805	36 867	46 603	77 672	213 900	142 092	187 095	105 225
Abril	30	31 489	36 865	29 440	49 067	207 000	99 433	175 511	625 68
Maió	31	53 201	73 672	17 539	29 231	213 900	79 520	160 699	5 848
Junho	30	66 720	110 475	8 769	14 616	207 000	65 179	140 280	-45 296
Julho	31	83 981	110 477	4 009	6 681	213 900	63 862	129 919	-46 615
Agosto	31	99 062	110 477	5 011	8 352	213 900	76 548	114 838	-33 929
Setembro	30	72 868	58 948	29 691	49 484	207 000	125 067	134 132	66 119
Outubro	31	42 772	58 950	49 985	83 309	213 900	161 713	171 128	102 763
Novembro	30	25 743	36 865	62 638	104 397	207 000	184 147	181 257	147 282
Dezembro	31	25 411	36 867	87 568	145 947	213 900	250 407	188 489	213 540

Como se pode verificar na Tabela 56, o balanço hídrico correspondente a este cenário é significativamente diferente do cenário base. Observando os meses onde anteriormente havia a possibilidade de surgirem problemas, ou seja, de Maio a Outubro inclusive, pode-se constatar que:

- Para este cenário, apenas surgem problemas de abastecimento do tipo 2 de Junho a Agosto;
- A dessalinizadora encontra-se capacitada para cobrir, em caso de necessidade, as falhas evidenciadas;
- Os caudais remanescentes dos restantes meses do ano são significativamente superiores aos do cenário base.

Aplicando a mesma metodologia que nos anteriores cenários para o cálculo da capacidade de acumulação dos caudais remanescentes, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 57.

**Tabela 57 - Cenários de acumulação no açude do Tanque**

Mês	Balanço com acumulação do tipo 2 a 100 % (2)	Balanço sem acumulação tipo 2 (1)	Balanço com acumulação do tipo 2 a 50 % (3)
	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )
Janeiro	130 000	0	74 331
Fevereiro	130 000	0	92 978
Março	130 000	0	99 101
Abril	130 000	0	80 835
Mai	130 000	0	43 341
Junho	84 704	-45 296	-23 626
Julho	38 089	-46 615	-46 615
Agosto	4 160	-33 929	-33 929
Setembro	70 279	0	33 059
Outubro	102 763	0	67 911
Novembro	130 000	0	107 597
Dezembro	130 000	0	130 000
Necessidade dessalinização compensatória	0	-125 840	-104 169

Observando a os resultados apresentados na Tabela 57, constata-se que, caso seja possível armazenar os volumes disponíveis na sua totalidade, não haveria qualquer necessidade de dessalinização compensatória. Caso só se consigam armazenar 50 % dos volumes remanescentes, ainda é necessário realizar dessalinização nos meses de Junho, Julho e Agosto. Para cálculo dos custos associados à dessalinização será utilizado o balanço com acumulação de disponibilidades do tipo 2 a 50 %. A Tabela 58, resume os custos associados a este cenário.

**Tabela 58 - Custos de dessalinização**

Mês	Dessalinização (disponibilidades hídricas máximas)	Dessalinização de compensação (disponibilidades hídricas máximas)	Dessalinização de compensação (base)
	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	24 443	0	0
Fevereiro	22 411	0	0
Março	28 146	0	0
Abril	33 063	0	0
Maio	55 861	0	11 409
Junho	94 863	24 807	62 264
Julho	137 126	48 946	55 667
Agosto	139 640	35 625	44 027
Setembro	76 511	0	0
Outubro	44 911	0	0
Novembro	27 030	0	0
Dezembro	26 682	0	0
<b>Total</b>	<b>710 686</b>	<b>109 378</b>	<b>173 367</b>

Observando a Tabela 58, verifica-se que a compensação realizada pela dessalinizadora e o custo associado a esta produção baixam significativamente, quando comparados com o cenário base. Os custos de dessalinização compensatória correspondem a cerca de 110 000 € anuais, diminuindo em cerca de 60 000 € o custo de dessalinização compensatória relativamente ao cenário base.

#### **3.6.4) Cenário 4: ETAR à capacidade máxima**

O sistema de abastecimento e drenagem no Porto Santo têm uma capacidade máxima, já referida em secções anteriores. Este cenário foi idealizado para essa capacidade máxima, ou seja, simula um aumento de população na região, o que se traduz num aumento na actividade da dessalinizadora bem como na produção de águas residuais.

Neste cenário, admitiu-se que a ETAR, durante o período de Verão, trabalha à sua capacidade máxima, de 4 000 m<sup>3</sup>/dia, e que, durante o resto do ano, trabalha a uma capacidade de 3 000 m<sup>3</sup>/dia. Estes caudais representam uma população de 25 000 habitantes equivalentes no Verão e de 19 000 habitantes equivalentes durante o resto do ano.

Admitiu-se ainda que a taxa de recuperação de águas residuais, para cálculo das necessidades compensatórias de dessalinização, se encontra nos 65 %.

Admitiu-se também que os consumos do campo de golfe, da agricultura e da indústria, bem como as disponibilidades hídricas naturais, se mantêm iguais aos valores apresentados no cenário base.

Seguidamente apresentam-se, na Tabela 59, os resultados obtidos do balanço hídrico para este cenário.

**Tabela 59 - Balanço hídrico cenário 4**

		Necessidades (m <sup>3</sup> )			Disponibilidades (m <sup>3</sup> )			Diferença Disponibilidade/Necessidade (m <sup>3</sup> )	
Mês	Nr.º dias	Urbano	Total tipo 1	Total tipo 2	ARUT	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	125 550	125 550	29 506	93 000	213 900	158 273	88 350	128 767
Fevereiro	28	113 400	113 400	36 861	84 000	193 200	137 880	79 800	101 019
Março	31	125 550	125 550	36 867	93 000	213 900	142 859	88 350	105 992
Abril	30	121 500	121 500	36 865	90 000	207 000	121 497	85 500	84 632
Mai	31	125 550	125 550	73 672	93 000	213 900	111 764	88 350	38 092
Junho	30	162 000	162 000	110 475	120 000	207 000	129 382	45 000	18 907
Julho	31	167 400	167 400	110 477	124 000	213 900	128 289	46 500	17 812
Agosto	31	167 400	167 400	110 477	124 000	213 900	129 361	46 500	18 884
Setembro	30	121 500	121 500	58 948	90 000	207 000	121 765	85 500	62 817
Outubro	31	125 550	125 550	58 950	93 000	213 900	146 478	88 350	87 528
Novembro	30	121 500	121 500	36 865	90 000	207 000	157 015	85 500	120 150
Dezembro	31	125 550	125 550	36 867	93 000	213 900	186 687	88 350	149 820

Observando os resultados da Tabela 59, pode afirmar-se que:

- Para o cenário em análise, não existem problemas de abastecimento, nem do tipo 1 nem do tipo 2;
- Os resultados expressos, que representam a estação de tratamento de águas residuais a funcionar à capacidade máxima, apresentam-se francamente positivos, o que leva a crer que estas infraestruturas foram desenhadas exactamente com este propósito, ou seja, este seria o cenário ideal para o abastecimento de água ser sustentável na ilha do Porto Santo;
- Focando apenas os valores referentes à produção de ARUT e às necessidades do tipo 2, conclui-se que a ETAR tem capacidade para suprir todas as necessidades do tipo 2. Este facto poderia ser positivo para o ecossistema natural de Porto Santo, pois neste caso, já não seriam necessárias extracções das disponibilidades hídricas naturais, o que poderia trazer um maior equilíbrio ao ecossistema envolvente e uma minimização dos problemas de intrusão salina.
- Não será preciso calcular a capacidade de armazenamento para o açude do tanque, dado que não existe necessidade de dessalinização compensatória, no que a este cenário diz respeito.

Não havendo necessidade de calcular a capacidade de armazenamento para este cenário, apresentam-se seguidamente, na Tabela 60, os custos de dessalinização referentes a este cenário.

**Tabela 60 - Custos cenário 4**

Mês	Tratamento de água residual	Dessalinização
	€ (1,0 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	158 273	131 828
Fevereiro	137 880	119 070
Março	142 859	131 828
Abril	121 497	127 575
Maio	111 764	131 828
Junho	129 382	170 100
Julho	128 289	175 770
Agosto	129 361	175 770
Setembro	121 765	127 575
Outubro	146 478	131 828
Novembro	157 015	127 575
Dezembro	186 687	131 828
<b>Total</b>	<b>1 671 250</b>	<b>1 682 573</b>

Analisando a Tabela 60, verifica-se um custo de tratamento anual das águas residuais a rondar os 1 670 000 € anuais e um custo de dessalinização anual de cerca de 1 683 000 €.

Apesar destes custos serem significativamente superiores aos custos estimados para o cenário base, os valores são incomparáveis, pois este cenário simula um aumento de população residente e flutuante. As necessidades de dessalinização referem-se única e exclusivamente ao abastecimento urbano, não havendo qualquer compensação da dessalinizadora para necessidades do tipo 2. Por outro lado, e independentemente dos custos associados, a ETAR é obrigada por Lei a tratar a totalidade das águas residuais que lhe afluem.

Dados o excesso de disponibilidade do tipo 2, seria interessante perceber se existe capacidade para eliminar parte do tratamento terciário na ETAR, isto é, não submeter todos os efluentes que afluem à ETAR a tratamento terciário, mas apenas os volumes que supram as necessidades do tipo 2. Esta possível eliminação de parte do tratamento terciário poderia baixar os custos apresentados na Tabela 60. Por outro lado, estes volumes remanescentes poderiam ser utilizados noutras necessidades secundárias, como por exemplo na rega de jardins públicos, lavagens de rua entre outros, aliviando o trabalho da dessalinizadora e os custos de exploração da mesma.

### **3.6.5) Cenário 5: Fase 2 do campo de golfe**

Como referido na secção 3.4.3, referente às necessidades do campo de golfe do Porto Santo, existe um projecto para aumentar o campo de golfe em mais 18 buracos, sensivelmente para o dobro da área que actualmente o campo possui.

Tendo em conta a escassa disponibilidade hídrica apresentada no cenário base, onde já existe necessidade de dessalinização compensatória tanto para o golfe como para a agricultura, este cenário simula o aumento das necessidades do campo de golfe para o dobro, verificando a reacção do sistema de distribuição a este aumento.

Por outro lado, será criado um cenário adicional, que passará por simular a fase 2 do campo de golfe com a ETAR a funcionar à sua capacidade máxima, isto é, simula a fase 2 do campo de golfe e um aumento de população que, conseqüentemente, aumentará a produção de águas residuais e as necessidades de dessalinização urbanas, o que no fundo corresponde à consideração em conjunto dos cenários 4 e 5.

Interessa referir que as restantes disponibilidades e necessidades se mantêm iguais às apresentadas no cenário base, para o cenário 5 actualmente em análise. Seguidamente, na Tabela 61, apresenta-se o balanço hídrico para este cenário.

**Tabela 61 - Balanço hídrico cenário 5**

		Necessidades (m <sup>3</sup> )			Disponibilidades (m <sup>3</sup> )		Diferença Disponibilidade/Necessidade (m <sup>3</sup> )	
Mês	Nr.º dias	Golfe	Total tipo 1	Total tipo 2	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	41 688	23 279	50 350	213 900	80 748	190 621	30 398
Fevereiro	28	52 110	21 344	62 916	193 200	68 069	171 856	5 153
Março	31	52 110	26 805	62 922	213 900	67 676	187 095	4 754
Abril	30	52 110	31 489	62 920	207 000	52 423	175 511	-10 497
Mai	31	104 220	53 201	125 782	213 900	51 514	160 699	-74 268
Junho	30	156 330	66 720	188 640	207 000	51 176	140 280	-137 464
Julho	31	156 330	83 981	188 642	213 900	57 461	129 919	-131 181
Agosto	31	156 330	99 062	188 642	213 900	68 546	114 838	-120 096
Setembro	30	83 376	72 868	100 636	207 000	77 657	134 132	-22 979
Outubro	31	83 376	42 772	100 638	213 900	81 897	171 128	-18 741
Novembro	30	52 110	25 743	62 920	207 000	84 126	181 257	21 206
Dezembro	31	52 110	25 411	62 922	213 900	110 578	188 489	47 656

Analisando os resultados apresentados na Tabela 61, verificam-se as seguintes características do sistema:

- No período entre Novembro e Março, inclusive, a diferença de disponibilidades e necessidades, referentes às disponibilidades do tipo 2, são positivas, não se prevendo necessidade de dessalinização compensatória neste período.
- A dessalinizadora, à capacidade máxima, não tem a possibilidade de abastecer todas as necessidades na ilha do Porto Santo (tipo 1 e tipo 2) caso não haja reutilização de águas residuais;
- Os meses de Junho e Julho apresentam as falhas mais significativas de disponibilidades do tipo 2;
- A dessalinização compensatória, embora ainda seja necessário calcular a acumulação de volumes remanescentes do tipo 2, adivinha-se significativa;

- Comparando os volumes remanescentes disponíveis na dessalinizadora (diferença disponibilidade/necessidade do tipo 1), verifica-se que a dessalinizadora não tem capacidade para suprir as restantes necessidades do tipo 2, nomeadamente nos meses de Julho e Agosto. Por outro lado, no mês de Junho, a capacidade da dessalinizadora é suficiente para suprir a diferença encontrada, embora a diferença seja ligeiramente positiva, pelo que se encontra no limiar da falha.

Como se pode verificar, o cenário apresentado incorre num risco significativo de uma falha grave de abastecimento. A dessalinizadora, mesmo a trabalhar à capacidade máxima, poderá não ser suficiente para suprir os défices evidenciados.

Ainda assim, como referido no início da análise dos cenários extremos (secção 3.6), existe a possibilidade de armazenar disponibilidades do tipo 1 (água dessalinizada), numa reserva de 19 000 m<sup>3</sup>.

Seguidamente, na Tabela 62, e aplicando a mesma metodologia que nos cenários anteriores, apresentam-se os cenários de acumulação no açude do Tanque.

**Tabela 62 - Cenários de acumulação no açude do Tanque**

Mês	Balanço com acumulação do tipo 2 a 100 % (2)	Balanço sem acumulação tipo 2 (1)	Balanço com acumulação do tipo 2 a 50 % (3)
	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )
Janeiro	30 398	0	15 199
Fevereiro	35 551	0	10 176
Março	40 305	0	7 465
Abril	29 808	-10 497	-6 764
Maior	-44 460	-74 268	-74 268
Junho	-137 464	-137 464	-137 464
Julho	-131 181	-131 181	-131 181
Agosto	-120 096	-120 096	-120 096
Setembro	-22 979	-22 979	-22 979
Outubro	-18 741	-18 741	-18 741
Novembro	21 206	0	10 603
Dezembro	68 862	0	29 130
<b>Necessidade dessalinização compensatória</b>	<b>-474 921</b>	<b>-515 226</b>	<b>-511 493</b>

Como se pode verificar na Tabela 62, mesmo que haja 100 % de acumulação dos volumes remanescentes do tipo 2, os valores de dessalinização compensatória são significativamente mais elevados que os valores apresentados para o cenário base. Foi escolhido o cenário de acumulação a 50 % para o cálculo dos custos de dessalinização.

Por outro lado, será ainda necessário calcular a capacidade de suprir estes défices através da dessalinizadora. Os resultados encontram-se expressos seguidamente, na Tabela 63.

**Tabela 63 - Capacidade da dessalinizadora em suprir compensações**

Mês	Balanco inicial dessalinizadora	Capacidade acumulação tipo 1	Necessidade dessalinização compensatória para tipo 2	Balanco intermédio dessalinizadora	Acumulação do tipo 1
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Janeiro	190 621	19 000	0	190 621	19 000
Fevereiro	171 856		0	171 856	19 000
Março	187 095		0	187 095	19 000
Abril	175 511		-6 764	168 747	19 000
Maió	160 699		-74 268	86 431	19 000
Junho	140 280		-137 464	2 816	19 000
Julho	129 919		-131 181	-1 262	17 738
Agosto	114 838		-120 096	-5 257	12 480
Setembro	134 132		-22 979	111 153	19 000
Outubro	171 128		-18 741	152 387	19 000
Novembro	181 257		0	181 257	19 000
Dezembro	188 489		0	188 489	19 000

Como se pode verificar na Tabela 63, o balanço intermédio da dessalinizadora, isto é, a capacidade para suprir consumos do tipo 2, encontra-se limitada nos meses de Julho e Agosto. Ainda assim, e tendo em conta a capacidade de acumulação do tipo 1 (19 000 m<sup>3</sup>), esta reserva tem capacidade para suprir o défice apresentado, como se pode verificar na acumulação do tipo 1.

Seguidamente, na Tabela 64, apresentam-se os custos associados à dessalinização para este cenário.

**Tabela 64 - Custos de dessalinização**

Mês	Dessalinização (Fase 2 golfe)	Dessalinização de compensação (Fase 2 golfe)	Dessalinização de compensação (base)	Dessalinização de compensação (Apenas golfe) (Fase 2 golfe)
	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	24 443	0	0	0
Fevereiro	22 411	0	0	0
Março	28 146	0	0	0
Abril	40 166	7 102	0	7 102
Maió	133 842	77 981	11 409	75 044
Junho	214 393	144 337	62 264	120 263
Julho	225 921	137 740	55 667	108 316
Agosto	230 115	126 100	44 027	97 802
Setembro	100 639	24 128	0	24 128
Outubro	64 589	19 678	0	19 678
Novembro	27 030	0	0	0
Dezembro	26 682	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1 138 376</b>	<b>537 068</b>	<b>173 367</b>	<b>452 333</b>

Como se pode verificar na Tabela 64, e comparando a dessalinização compensatória do cenário da fase 2 do golfe com o cenário base, constata-se uma diferença de custos muito significativa, à qual lhe acresce cerca de 360 000 € anuais. Quanto aos custos apenas referentes à dessalinização compensatória do campo de golfe, estes rondam os 452 000 € anuais.

### **3.6.6) Cenário 6: Fase 2 do campo de golfe e ETAR à capacidade máxima**

Este cenário representa uma conjugação entre o cenário 4 e o cenário 5. O seu objectivo é perceber como reage o sistema de distribuição ao aumento dos volumes para rega associados à fase 2 do campo de golfe, bem como o aumento de produção de água residual e de água dessalinizada.

Assim, admitiu-se que a ETAR, durante o período de Verão, trabalha à sua capacidade máxima, de 4000 m<sup>3</sup>/dia, e que, durante o resto do ano, trabalha a uma capacidade de 3 000 m<sup>3</sup>/dia. Estes caudais representam uma população de 25 000 habitantes equivalentes no Verão e de 19 000 habitantes equivalentes durante o resto do ano.

Admitiu-se ainda que a taxa de recuperação de águas residuais, para cálculo das necessidades de dessalinização, se encontra nos 65 %.

Por outro lado, admitiu-se que as necessidades do campo de golfe dobram em todos os meses do ano, como evidenciado no cenário 5. As restantes disponibilidades e necessidades encontram-se iguais às apresentadas no cenário base.

Seguidamente, apresenta-se o correspondente balanço hídrico, na Tabela 65, para este cenário.

**Tabela 65 - Balanço hídrico cenário 6**

Mês	Nr.º dias	Necessidades (m³)				Disponibilidades (m³)			Diferença Disponibilidade/Necessidade (m³)	
		Urbano	Golfe	Total tipo 1	Total tipo 2	ARUT	Total tipo 1	Total tipo 2	Tipo 1	Tipo 2
Janeiro	31	125 550	41 688	125 550	50 350	93 000	213 900	158 273	88 350	107 923
Fevereiro	28	113 400	52 110	113 400	62 916	84 000	193 200	137 880	79 800	74 964
Março	31	125 550	52 110	125 550	62 922	93 000	213 900	142 859	88 350	79 937
Abril	30	121 500	52 110	121 500	62 920	90 000	207 000	121 497	85 500	58 577
Maió	31	125 550	104 220	125 550	125 782	93 000	213 900	111 764	88 350	-14 018
Junho	30	162 000	156 330	162 000	188 640	120 000	207 000	129 382	45 000	-59 258
Julho	31	167 400	156 330	167 400	188 642	124 000	213 900	128 289	46 500	-60 353
Agosto	31	167 400	156 330	167 400	188 642	124 000	213 900	129 361	46 500	-59 281
Setembro	30	121 500	83 376	121 500	100 636	90 000	207 000	121 765	85 500	21 129
Outubro	31	125 550	83 376	125 550	100 638	93 000	213 900	146 478	88 350	45 840
Novembro	30	121 500	52 110	121 500	62 920	90 000	207 000	157 015	85 500	94 095
Dezembro	31	125 550	52 110	125 550	62 922	93 000	213 900	186 687	88 350	123 765

Observando-se os resultados apresentados na Tabela 65, pode afirmar-se que:

- De Setembro a Abril, inclusive, as disponibilidades de água são suficientes para garantir as necessidades evidenciadas, pelo que não será preciso utilizar dessalinização compensatória;
- De Maio a Agosto, inclusive, as disponibilidades não são suficientes para garantir as necessidades do tipo 2, pelo que se terá que se utilizar dessalinização compensatória e/ou acumular volumes remanescentes de meses anteriores;
- Nos meses de Junho, Julho e Agosto, caso seja necessário dessalinização compensatória, e como se pode verificar nas diferenças de disponibilidades e necessidades do tipo 1, a dessalinizadora não é capaz de suprir estas diferenças, pois a sua capacidade máxima é ultrapassada;

- Comparando a produção de águas residuais tratadas na ETAR com as necessidades do campo de golfe, constata-se que estas não são suficientes para suprir os consumos entre Maio e Agosto, sendo por isso necessário recorrer às origens hídricas naturais, à dessalinização compensatória e/ou a volumes remanescentes armazenados de meses anteriores.

Assim, para proceder ao cálculo dos custos associados à dessalinização compensatória, foi necessário calcular a capacidade de acumulação de volumes remanescentes no açude do Tanque. Seguindo a mesma metodologia aplicada aos cenários anteriores, chegou-se aos resultados que se apresentam na Tabela 66.

**Tabela 66 - Cenários de acumulação no açude do Tanque**

Mês	Balanço com acumulação do tipo 2 a 100 % (2)	Balanço sem acumulação tipo 2 (1)	Balanço com acumulação do tipo 2 a 50 % (3)
	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )	m <sup>3</sup> (limitado a 130 000 m <sup>3</sup> )
Janeiro	107 923	0	53 961
Fevereiro	130 000	0	64 463
Março	130 000	0	72 200
Abril	130 000	0	65 388
Maio	115 982	-14 018	18 676
Junho	56 724	-59 258	-49 920
Julho	-3 629	-60 353	-60 353
Agosto	-59 281	-59 281	-59 281
Setembro	21 129	0	10 565
Outubro	66 969	0	28 202
Novembro	130 000	0	61 149
Dezembro	130 000	0	92 457
<b>Necessidade dessalinização compensatória</b>	<b>-62 910</b>	<b>-192 910</b>	<b>-169 554</b>

Como se pode verificar na Tabela 66, as acumulações estimadas para os três cenários evidenciados são significativamente diferentes. Escolheu-se a acumulação a 50 % para calcular os custos associados à dessalinização compensatória.

Por outro lado, ainda é necessário calcular a capacidade da dessalinizadora em suprir as falhas apresentadas na Tabela 66, sendo os correspondentes valores apresentados na Tabela 67. Quanto aos custos de tratamento de águas residuais na ETAR, estes apresentam-se iguais ao cenário 5. Por essa razão, não são apresentados esses custos nesta secção.

**Tabela 67 - Capacidade da dessalinizadora em suprir compensações**

Mês	Balanco inicial dessalinizadora	Capacidade acumulação tipo 1	Necessidade dessalinização compensatória para tipo 2	Balanco intermédio dessalinizadora	Acumulação do tipo 1
	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>	m <sup>3</sup>
Janeiro	88 350	19 000	0	88 350	19000
Fevereiro	79 800		0	79 800	19000
Março	88 350		0	88 350	19 000
Abril	85 500		0	85 500	19 000
Maió	88 350		0	88 350	19 000
Junho	45 000		-49 920	-4 920	14 080
Julho	46 500		-60 353	-13 853	227
Agosto	46 500		-59 281	-12 781	-12 554
Setembro	85 500		0	85 500	19 000
Outubro	88 350		0	88 350	19 000
Novembro	85 500		0	85 500	19 000
Dezembro	88 350		0	88 350	19 000

Como se pode verificar na Tabela 67, o balanço intermédio da dessalinizadora, isto é, a capacidade para suprir consumos do tipo 2, encontra-se limitada nos meses de Junho, Julho e Agosto. Ainda assim, e tendo em conta a capacidade de acumulação do tipo 1 (19 000 m<sup>3</sup>), a dessalinizadora tem capacidade para suprir o défice anteriormente referido, nos meses de Junho e Julho, como se pode verificar na acumulação do tipo 1. Todavia, no mês de Agosto, já não existe capacidade de acumulação capaz de suprir o défice apresentado e, por essa razão, o abastecimento encontra-se comprometido.

Na Tabela 68, apresentam-se os custos associados à dessalinização para este cenário.

**Tabela 68 - Custos de dessalinização**

Mês	Dessalinização (Fase 2 golfe e ETAR)	Dessalinização de compensação (Fase 2 golfe e ETAR)	Dessalinização de compensação (Fase 2 golfe)	Dessalinização de compensação (Apenas golfe) (Fase 2 golfe e ETAR)
	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )	€ (1,05 €/m <sup>3</sup> )
Janeiro	131 828	0	0	0
Fevereiro	131 828	0	0	0
Março	119 070	0	0	0
Abril	131 828	0	7 102	0
Maió	127 575	0	77 981	0
Junho	131 828	52 416	144 337	38 147
Julho	222 516	63 371	137 740	33 947
Agosto	239 141	62 245	126 100	33 947
Setembro	238 015	0	24 128	0
Outubro	127 575	0	19 678	0
Novembro	131 828	0	0	0
Dezembro	127 575	0	0	0
<b>Total</b>	<b>1 860 604</b>	<b>178 031</b>	<b>537 068</b>	<b>106 040</b>

Como se pode verificar na Tabela 68, e relacionando os custos de dessalinização compensatória deste cenário e do cenário 5 (Fase 2 golfe), verifica-se que existe uma diminuição significativa dos custos de dessalinização. Para este cenário, os custos associados à dessalinização total necessária rondam os 1 840 000 € anuais, um valor extremamente alto mas justificado pelo aumento de população simulado para este cenário. Quando aos custos compensatórios de dessalinização, estes rondam os 160 000 € anuais que, quando comparados aos custos do cenário 5, apresentam uma diferença, muito significativa, de 360 000 €. Observando só os custos compensatórios de dessalinização referentes ao campo de golfe, estes rondam os 110 000 € anuais, um valor próximo do valor calculado para o cenário base.

### **3.6.7) Comparação dos custos entre os diferentes cenários**

Para finalizar a análise dos vários cenários definidos, será realizada uma comparação entre os custos associados à dessalinização total, dessalinização compensatória e utilização de águas residuais tratadas. Será também realizada uma comparação entre os custos associados aos três principais consumidores de água dessalinizada: urbano, campo de golfe e agricultura.

Seguidamente, na Tabela 69, apresentam-se os custos envolvidos nos vários cenários apresentados.

Tabela 69 - Custos de exploração anuais para os vários cenários

Cenários	Tratamento de águas residuais (0)	Dessalinização Urbana (1)	Dessalinização Golfe (2)	Dessalinização Agricultura (3)	Dessalinização compensatória (2+3)	Eficiência em relação ao cenário base (Dessalinização compensatória)	Dessalinização total (1+2+3)	Total (0+1+2+3)
	€	€	€	€	€	%	€	€
Base	367 621	601 308	91 570	81 797	173 367	0	774 675	1 142 297
Cenário 1	367 621	601 308	101 326	100 723	202 049	-17	803 358	1 170 979
Cenário 2	367 621	601 308	129 920	98 910	228 830	-32	830 138	1 197 759
Cenário 3	367 621	601 308	41 972	67 406	109 378	37	710 686	1 078 308
Cenário 4	1 671 250	1 682 573	0	0	0	100	1 682 573	3 353 823
Cenário 5	367 621	601 308	452 333	84 735	537 068	-210	1 138 376	1 505 997
Cenário 6	1 671 250	1 682 573	106 040	71 992	178 031	-3	1 860 604	3 531 854

Observando os resultados apresentados na Tabela 69, pode-se afirmar que os custos associados ao tratamento de águas residuais são constantes nos vários cenários apresentados, embora superiores para os cenários onde se admite que a ETAR se encontra a funcionar à capacidade máxima (cenários 4 e 6). A Figura 31 apresenta os custos de exploração totais anuais referentes ao tratamento de águas residuais e à dessalinização.

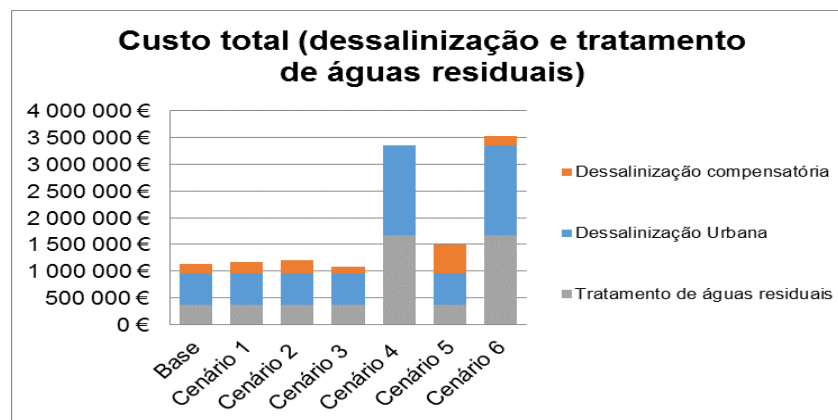
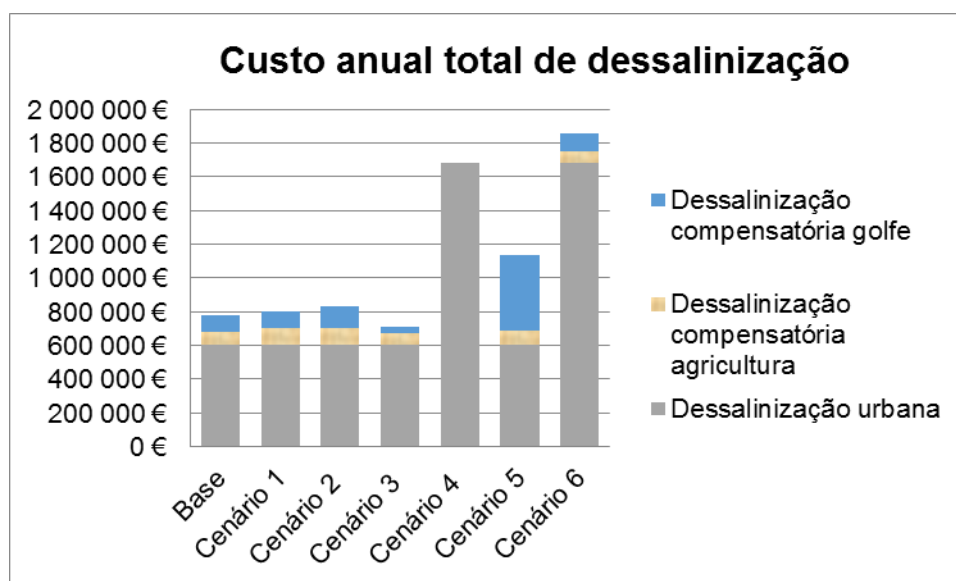


Figura 31 – Custos exploração totais anuais

Analisando a Figura 31, referente aos custos totais de exploração, estes apresentam-se semelhantes em todos os cenários que não simulam potenciais aumentos de população, à excepção do cenário 5, sendo os resultados igualmente semelhantes entre os dois cenários que contemplam aumentos de população. Esta semelhança de custos pode justificar-se tendo em conta que os custos de dessalinização urbana e de tratamento de águas residuais, apresentados na Tabela 69, apresentam-se como semelhantes e bastante superiores aos custos de dessalinização compensatória, tendo estes últimos, portanto, um peso nos custos totais menos acentuado. Ainda assim, as diferenças nos custos entre os cenários que não simulam aumentos de população, ainda que ligeiras, prendem-se apenas com os custos de dessalinização compensatória.

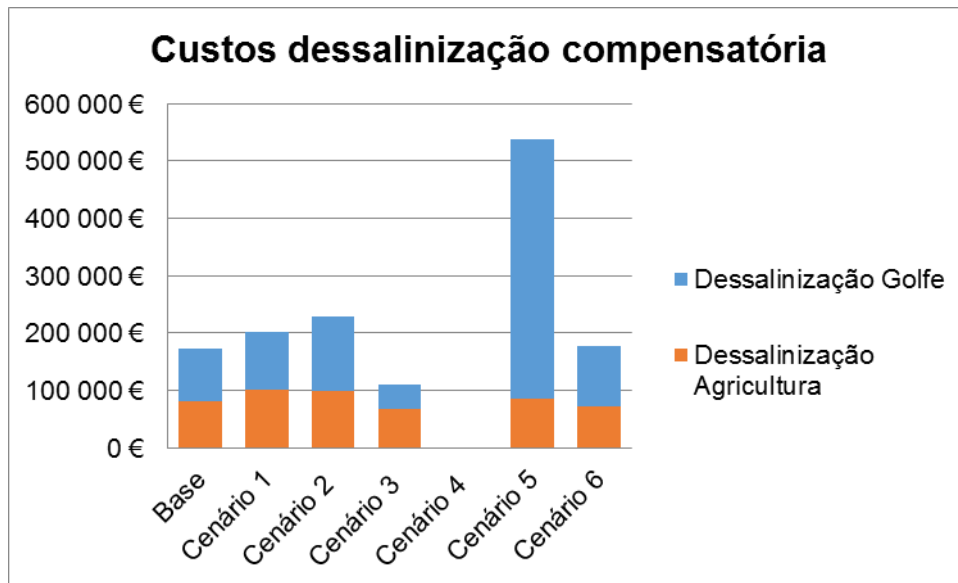
Seguidamente, na Figura 32, apresentam-se os custos de dessalinização para os vários cenários apresentados.



**Figura 32 - Custo anual total de dessalinização**

Analisando os resultados apresentados na Figura 32, constata-se que os custos de dessalinização total variam consoante a necessidade de dessalinização compensatória, sendo que os custos de dessalinização exclusivamente urbanos são constantes para os vários cenários, embora superiores para cenários que contemplam aumento de população.

Por outro lado, a dessalinização compensatória para a agricultura mostra-se idêntica para os cenários apresentados. Seguidamente, na Figura 33, apresentam-se os custos de dessalinização compensatória.



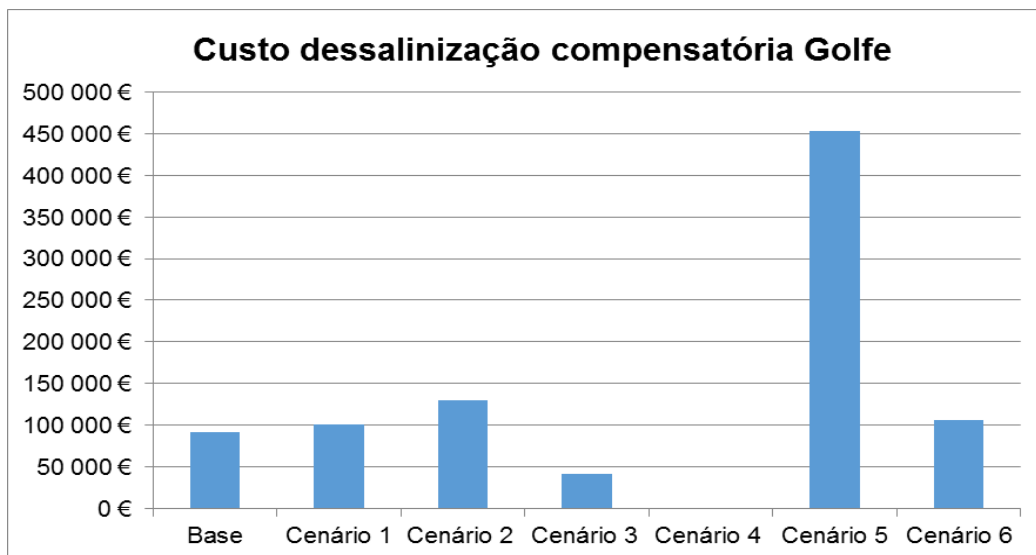
**Figura 33 – Custo de dessalinização compensatória**

Considera-se que a dessalinização compensatória é o factor chave de avaliação para os diferentes cenários, sendo o principal indicador de ineficiência no sistema de abastecimento. Analisando a Figura 33, constata-se que, dentro dos cenários que não simulam aumento de população (cenários base, 1, 2, 3 e 5), o cenário que contempla a segunda fase do campo de golfe (cenário 5), apresenta-se como o mais significativo para os custos de dessalinização compensatória, seguido do cenário referente ao *bypass* na ETAR (cenário 2), por sua vez seguido pelo cenário referente a ano seco (cenário 1). O cenário 4, referente à capacidade máxima da ETAR, apresenta um custo de dessalinização compensatória nulo, indicando assim uma eficiência elevada.

Por outro lado, o cenário 5, que simula a construção da segunda fase do campo de golfe, apresenta custos muito significativos de dessalinização compensatória, considerando-se, por isso, difícil a sua implementação, a não ser que a situação actual em termos de procura se altere.

O cenário 6, que simula a construção da segunda fase do campo de golfe e o funcionamento da ETAR à sua capacidade máxima, apresenta custos de dessalinização compensatória semelhantes aos primeiros três cenários (base, 1 e 2).

Seguidamente, na Figura 34, apresentam-se os custos de dessalinização compensatória referentes apenas ao campo de golfe.



**Figura 34 - Custo de dessalinização compensatória anual para o campo de golfe**

Através da análise da Figura 34 e da Tabela 69, pode afirmar-se que a dessalinização compensatória para o campo de golfe se apresenta dependente da produção de ARUT na ETAR. Quanto menor for a produção de águas residuais, e tendo em conta que as disponibilidades hídricas são constantes para todos os cenários (excluindo os cenários 1 e 3) e que a prioridade do seu abastecimento é a agricultura, maior serão as necessidades de compensar com água dessalinizada o campo de golfe.

### 3.7) Incertezas metodológicas

Ao longo da aplicação da metodologia deste trabalho à ilha do Porto Santo foram surgindo dúvidas e incertezas que podem, de certa forma, comprometer os resultados obtidos. Por isso, são nesta secção evidenciadas as principais incertezas identificadas na abordagem metodológica que suportou o desenvolvimento do presente trabalho.

Quanto às disponibilidades hídricas naturais do Porto Santo, isto é, o escoamento superficial e a recarga de aquíferos, os dados de base utilizados para cálculo dos caudais disponíveis e para análise da sua qualidade são algo antigos, podendo não corresponder à actualidade. O mesmo se pode dizer quanto à bibliografia que descreve a hidrogeologia do Porto Santo, sendo facto que os solos mudam constantemente ao longo dos anos.

Quanto às estimativas referentes ao escoamento superficial, desconhece-se a sua qualidade, que ainda assim foi considerada viável para regadio, e desconhecem-se com rigor os caudais disponíveis, não havendo dados que permitam aferir a quantidade disponível nem compará-la com as estimativas apresentadas nesta dissertação.

Quanto às disponibilidades subterrâneas, a sua qualidade é diminuta, havendo inclusive certas explorações subterrâneas cuja qualidade se encontra severamente afectada por elevados níveis de cloretos. Assim, desconhece-se a capacidade de utilização da totalidade das disponibilidades subterrâneas no Porto Santo.

Quanto aos cálculos relativos à produção de águas residuais na ETAR, as capitações utilizadas carecem de confirmação, apesar de irem de encontro aos valores disponibilizados pelas ARM. Por outro lado, a factor de afluência à rede, isto é, as perdas associadas ao transporte, tratamento e consequente bombagem até destino final, da água residual, não são conhecidas, havendo portanto alguma incerteza relativa a este resultado.

Quanto às necessidades de potabilização urbanas, mais uma vez, as capitações utilizadas carecem de confirmação.

Quanto às necessidades industriais, foi apenas considerada uma necessidade relativa à indústria transformadora, desconhecendo-se os volumes necessários para as restantes indústrias.

Quanto às necessidades mensais agrícolas e do campo de golfe, estas foram estimadas a partir dos consumos observados no campo de golfe na Quinta do Perú. Assim, existe uma incerteza relativa a esta estimativa, dado que o clima nestes dois locais é significativamente diferente.

Quanto ao açude do Tanque, desconhece-se a capacidade real de acumulação de água no mesmo, apesar da validação do cenário base se encontrar de acordo com o estimado.

Relativamente ao cálculo das disponibilidades hídricas naturais relativas ao cenário do ano seco, desconhece-se a fiabilidade dos valores apresentados, devido à série relativamente curta que esteve na base das estimativas realizadas, bem como às incertezas relativas ao coeficiente de escoamento.

Por ultimo, desconhece-se o aumento real das necessidades do campo de golfe relativas aos cenários que simulam a segunda fase (ampliação) do campo de golfe.

#### 4) Conclusões e perspectivas para trabalhos futuros

Esta dissertação procurou fazer um levantamento das disponibilidades de água e dos vários métodos e tecnologias que existem para o seu aproveitamento. Por outro lado, procurou fazer um levantamento das necessidades de água e de como estas se comportam consoante as disponibilidades.

Os métodos e tecnologias tradicionais de produção de água potável encontram-se largamente difundidos por todo o mundo. É facto que a água, neste momento, é um recurso que mostra índices de escassez face às pressões a que se encontra sujeita e ao aumento da procura, sendo que as melhores previsões para contrariar a depleção das suas origens não são, de todo, favoráveis.

Como forma de combater o problema associado à escassez de água, tem vindo a estudar-se, por todo o mundo, origens de água e tecnologias de captação que promovam alternativas viáveis aos processos convencionais, tais como a dessalinização e a reutilização de águas residuais e pluviais, garantindo os padrões de qualidade e quantidade de água necessários e, eventualmente, reservas para situações de emergência.

Para se contrariar a escassez crescente e a depleção deste recurso e das suas origens, devem ser realizadas uma série de mudanças sociais e tecnológicas, passando estas por uma maior eficiência dos sistemas de distribuição, isto é, pela minimização das perdas, na busca de tecnologias mais eficientes de extracção e produção, e por uma mudança de paradigma, nomeadamente na percepção que as comunidades têm relativamente a este recurso.

A dessalinização e o reaproveitamento de águas residuais tratadas surgem como mudanças tecnológicas na abordagem à utilização de recursos hídricos, sendo a primeira maioritariamente compensatória, isto é, utilizada quando existe um défice hídrico incapaz de ser combatido através de reservas naturais, e a segunda traduz-se num aumento de eficiência no processo de distribuição, considerando-se a água residual como um recurso potencial com capacidade para ser reutilizado, em vez de um subproduto de tratamento. Assim, a água residual tratada pode servir como disponibilidade para necessidades onde outrora era utilizada água potável, havendo portanto um excesso de tratamento para os fins aos quais se destinavam estes volumes.

A diversificação dos sistemas de distribuição surge com a necessidade de uma melhor gestão dos recursos hídricos. Sistemas mais modernos e eficientes englobam um conjunto de disponibilidades e origens de água diferentes, bem como uma aplicação destes recursos de forma mais racional. Os sistemas mais complexos são os de origens múltiplas, que englobam dessalinização, recirculação residual e origens naturais para suprir as necessidades de água. A boa gestão das várias disponibilidades hídricas é cada vez mais necessária, sendo que só uma gestão integrada dos recursos hídricos poderá fazer face à diminuição das disponibilidades deste recurso.

Como caso de estudo, foi escolhida a ilha do Porto Santo, pelas características hidrogeológicas que possui e por ter à sua disposição um sistema de distribuição que engloba um conjunto de disponibilidades hídricas diferentes, tratando-se portanto de um sistema de origens múltiplas. Porto Santo é uma ilha situada no arquipélago da Madeira, cujas características litológicas, geomorfológicas e climáticas são desfavoráveis à recarga natural dos recursos hídricos endógenos. Sendo esta uma região que centra a sua economia no turismo, este comporta-se de forma desigual durante o ano, onde a afluência turística no verão é bastante superior à do resto do ano. Para fazer face às necessidades hídricas urbanas e de regadio, a solução passou por criar uma gestão integrada dos recursos hídricos disponíveis, criando um circuito de dessalinização e recirculação de águas residuais bem como um aproveitamento das reservas naturais disponíveis. Só assim, Porto Santo consegue dar resposta às necessidades de água dos mais diversos utilizadores.

Os sistemas de drenagem e distribuição no Porto Santo apresentam perdas na ordem dos 17 % e 20 %, respectivamente. Estes deverão ser os principais factores a trabalhar para aumentar a eficiência nos sistemas de distribuição. Assim, sugere-se:

- Elaboração de estudos piloto para investigação das perdas de água verificadas tanto no sistema de distribuição como no sistema de drenagem;
- Avaliação das parcelas mais importantes dos volumes de água não contabilizada e das suas origens e causas, no sentido de aumentar a possibilidade de sucesso de um programa de redução de perdas;
- Elaboração de um programa de redução de perdas.

Quanto às necessidades na ilha do Porto Santo, destacam-se as inerentes à potabilização urbana, as necessidades de rega agrícola e do campo de golfe e as necessidades industriais. Tendo em conta a qualidade e fiabilidade das disponibilidades, o campo de golfe, a indústria transformadora e a agricultura, utilizam os volumes disponíveis da ETAR e das reservas hídricas naturais. Assim, a dessalinização deveria surgir dedicada ao abastecimento urbano, por ser a única disponibilidade com qualidade suficiente para garantir este abastecimento.

Por essa razão, as necessidades de água no Porto Santo foram agrupadas em dois tipos. O tipo 1, referente às necessidades de potabilização, e o tipo 2, referente a necessidades que não carecem de um tratamento tão exigente, nomeadamente necessidades de regadio e de alguns tipos de indústrias. Assim, o factor de decisão da melhor disponibilidade para as diferentes necessidades, apenas referente ao tipo 2, recaiu sobre a distância à origem, sendo que a água residual é prioritária ao campo de golfe e as reservas naturais à agricultura. Os consumos industriais, referentes a indústria transformadora, são pouco significativos no balanço global das necessidades e disponibilidades. O campo de golfe surge como o maior consumidor das disponibilidades do tipo 2, seguido da agricultura e, por último, da indústria.

Quanto às disponibilidades, faz-se referência às disponibilidades pluviais, que se podem considerar pouco significativas. Para o seu aproveitamento directo, o qual seria sempre diminuto, seria necessário conhecer os usos do solo em Porto Santo, caracterizando as zonas afectas à rede de drenagem pluvial. É um facto que existe uma parcela de terreno artificializado significativa, desconhecendo-se o seu nível de impermeabilização. Seria interessante perceber a capacidade de armazenar a água que aflui à rede de drenagem pluvial. Contudo, a restante precipitação é captada, indirectamente, através das disponibilidades superficiais e subterrâneas.

Assim, destacam-se as disponibilidades hídricas naturais, isto é, o escoamento superficial (em regime torrencial) e a recarga de aquíferos, a água proveniente de dessalinização e a água residual urbana tratada. A solução encontrada para suprir as necessidades urbanas de potabilização foi a dessalinização, ainda que esta seja também responsável por suprir défices de outras necessidades.

As disponibilidades hídricas naturais na ilha do Porto Santo são reduzidas e concentradas em determinadas alturas do ano. A qualidade e quantidade da água proveniente de aquíferos mostrou-se insuficiente para abastecimento público, embora seja suficiente, em termos qualitativos, para fins de regadio. Quanto ao escoamento superficial, que se verifica apenas em regime torrencial, não existem dados que avaliem a sua qualidade nem a sua quantidade. Contudo, considerou-se que este escoamento têm qualidade suficiente para fins de regadio. Para uma análise mais detalhada e melhoramento da qualidade e quantidade destas disponibilidades, sugere-se:

- Implantação de um sistema de monitorização regular, para testar a qualidade das origens subterrâneas e superficiais;
- Implementação de medidas que minimizem os efeitos da intrusão salina nos recursos subterrâneos;
- Criação de zonas arborizadas que poderão favorecer a recarga de aquíferos;
- Aquisição de equipamento portátil para análise microbiológica de amostras de água, principalmente para o escoamento superficial que aflui ao açude do tanque;
- Estudo de viabilidade de reaproveitamento da pluviosidade, para fins de regadio, que incide sobre as zonas impermeabilizadas e é recolhido na rede de drenagem pluvial.

A utilização destas disponibilidades naturais é, assim, dedicada ao regadio, satisfazendo parte das necessidades da agricultura e do campo de golfe. Por outro lado, a recirculação de água

residual tratada é também destinada a regadio, sendo utilizada inteiramente na rega do campo de golfe. A recirculação de águas residuais está dependente da população na ilha, sendo tanto maior quanto maior essa for. Por enquanto, os volumes de água residual tratada, agregados às disponibilidades hídricas naturais, não são suficientes para garantir as necessidades de regadio por completo, nomeadamente no período de verão, pelo que é utilizada água dessalinizada para suprir o restante défice.

Quanto à ETAR, esta trabalha longe da sua capacidade máxima. Actualmente, a ETAR trabalha a uma média anual de 1 000 m<sup>3</sup>/dia, sendo que é em Agosto que atinge a produção máxima anual, de 2 000 m<sup>3</sup>/dia. Tendo em conta que a capacidade máxima da ETAR é de 4 000 m<sup>3</sup>/dia, perspectiva-se uma folga significativa para produções extraordinárias de água residual urbana tratada, não havendo, para já, necessidade de ampliação da ETAR. Por outro lado, a ETAR mostra-se imprescindível para o bom funcionamento do sistema de abastecimento no Porto Santo.

Estudadas as disponibilidades e necessidades no Porto Santo, procedeu-se à elaboração e validação do cenário base, que expressa o balanço hídrico anual e mensal. Deste, conclui-se que, actualmente, a ilha se encontra em défice hídrico, nomeadamente de Maio a Agosto, onde a dessalinizadora tem de compensar as necessidades agrícolas e do campo de golfe. Este indicador revela ineficiência e, consultando as previsões realizadas por diversas entidades relativamente ao Porto Santo, perspectivavam-se outras condições populacionais que não se tornaram realidade. Pode-se considerar que quanto maior for o volume dessalinizado para compensar falhas de abastecimento do tipo 2, maior será a ineficiência apresentada pelo sistema de abastecimento e, conseqüentemente, maiores os custos associados.

Face às falhas apresentadas, existe a possibilidade de acumular água nos períodos onde o balanço hídrico é positivo, isto é, períodos onde existe excedente hídrico. Para efeitos de cálculo, foi considerado que Porto Santo tem capacidade para armazenar 130 000 m<sup>3</sup> de volumes remanescentes, num açude situado em Tanque. Desconhece-se a capacidade real de acumulação, pois este açude está sujeito a fenómenos de evaporação e eutrofização. Todavia, foi considerado que o açude é capaz de armazenar 50 % dos volumes que lhe afluem mensalmente. Associado ao tempo de residência da água neste açude, ao seu revestimento natural e à sua morfologia, a eutrofização e proliferação de mosquitos são problemas que poderão surgir com facilidade. Contudo, existem soluções que poderiam ser aplicadas, a estudar previamente, para contrariar os dois problemas evidenciados, nomeadamente:

- Adição de um composto de cloro no açude, actuando como desinfectante em períodos mais problemáticos;
- A criação de uma cobertura que impedisse a radiação solar de incidir sobre o açude poderia ser uma solução para reduzir a evaporação, embora a sua construção e implementação possa trazer custos inportáveis;
- Utilizar os volumes remanescentes em recarga artificial de aquíferos, utilizando o açude como intermediário neste processo, o que iria reduzir a evaporação, eliminar os problemas de eutrofização e ainda eliminar alguns problemas de intrusão salina. Contudo, esta recarga artificial teria de ser previamente estudada, de forma a avaliar a sua exequibilidade, dadas as características dos aquíferos do Porto Santo que são, na sua generalidade, de baixa qualidade.

Quanto aos custos de tratamento de bombagem de águas residuais e os custos de produção e bombagem de água dessalinizada, estes são de 1,00 €/m<sup>3</sup> e 1,05 €/m<sup>3</sup>, respectivamente. Para baixar estes custos, poderia ser realizado um estudo de viabilidade de implantação de energias renováveis na ETAR e na dessalinizadora, como por exemplo energia eólica ou solar, perspectivando-se uma possível redução de gastos energéticos. É um facto que os custos de dessalinização apresentam gastos muito significativos de energia, sendo esse mesmo o principal problema desta tecnologia.

Após a validação do cenário base, foram definidos uma série de cenários para prever a reacção dos sistemas de abastecimento a contingências pontuais.

Focando o cenário 4, que simula a ETAR à sua capacidade máxima, percebe-se que a dessalinizadora e a ETAR foram dimensionadas para trabalhar perto desta capacidade, pois é

apenas neste cenário que não existe défice de abastecimento para regadio e, conseqüentemente, a dessalinizadora não precisa de ser utilizada para abastecimento compensatório. Todavia, dadas as características do tratamento de água residual, munido de tratamento terciário, existe, para este cenário, um eventual excesso de tratamento relativamente a parte dos caudais produzidos na ETAR, podendo afirmar-se que:

- A ETAR não precisa de aplicar tratamento terciário à totalidade das águas residuais afluentes à mesma;
- Seria necessário calcular os custos associados ao excesso de tratamento evidenciado, para minimizar os custos finais de tratamento;
- Por outro lado, poderiam ser utilizados os volumes excessivos na rega de jardins públicos, lavagem de ruas, recarga artificial de aquíferos (ressalva-se o já referido sobre a qualidade aquífera do Porto Santo), entre outros.

Todavia, a dessalinizadora encontra-se capacitada para contrariar problemas pontuais apresentados, como evidenciado nos cenários 1 e 2. De acordo com o estimado, não se perspectivam problemas que comprometam o abastecimento, tanto potável como para regadio.

O cenário 1, referente ao ano seco, apresenta-se como um problema pontual que, acrescido das mudanças climáticas, torna-se-á mais provável com o decorrer dos anos. Os custos associados à dessalinização compensatória para este cenário são bastante significativos quando comparados com o cenário base. Todavia, constata-se que a dessalinizadora tem capacidade para suprir o défice apresentado neste cenário.

O cenário 2, referente a uma eventual falha na ETAR durante o mês de Agosto, apresenta-se como outro problema pontual. Os custos associados à dessalinização compensatória, quando comparados com o cenário base, prendem-se exclusivamente com o mês de Agosto, onde a dessalinizadora tem de compensar a falha evidenciada. Contudo, constata-se que a dessalinizadora tem capacidade para suprir esta falha, apresentando, todavia, um custo adicional significativo.

O cenário 3, referente ao aproveitamento máximo teórico das disponibilidades hídricas naturais, apresenta-se como solução para combater a ineficiência apresentada no cenário base. Embora seja necessário um estudo hidrogeológico detalhado para viabilizar a sua exequibilidade, perspectivam-se melhorias significativas nos sistemas de abastecimento no Porto Santo, que se traduzem em custos de dessalinização reduzidos face ao cenário base.

Tendo em conta o projecto de implantação da segunda fase do campo de golfe, foram criados dois cenários adicionais, que simulam exactamente uma necessidade hídrica adicional para o campo de golfe. Dadas as características deste projecto, considerou-se que a necessidade de água para rega é o dobro da necessidade considerada no cenário base. O cenário 5, representa uma simulação da construção da segunda fase do campo de golfe nas condições populacionais actuais, podendo concluir-se que:

- Existem problemas no abastecimento do tipo 2 de Abril a Outubro;
- A dessalinizadora trabalha à capacidade máxima em Junho, Julho e Agosto, sendo que a sua capacidade máxima é ultrapassada neste período. Para contrariar este défice, seria necessário acumular água dessalinizada dos meses anteriores;
- Os custos de dessalinização compensatória são extremamente significativos, aumentando em cerca de três vezes o preço de dessalinização compensatória em relação ao cenário base;
- Não se perspectivam vantagens para o campo de golfe neste projecto, sendo que, só para abastecimento do campo de golfe, seriam necessários cerca de 452 mil € anuais adicionais relativos a água dessalinizada.

O último cenário considerado, identificado como cenário 6, representa a simulação da segunda fase do campo de golfe, mas com efectivos populacionais iguais às do cenário 4, isto é, simula, também, a ETAR à sua capacidade máxima e, conseqüentemente, um aumento de produção de água dessalinizada para abastecimento público. Deste cenário, foi possível retirar-se as seguintes conclusões:

- Existem problemas no abastecimento do tipo 2 de Junho a Agosto;

- A dessalinizadora encontra-se a trabalhar à capacidade máxima em Junho, Julho e Agosto, sendo ultrapassado o seu limite de produção e armazenamento em Agosto, mesmo considerando uma capacidade de acumulação de água dessalinizada. Por esta razão, existe um défice hídrico incapaz de ser combatido durante este mês;
- Os custos de dessalinização total são bastante superiores aos do cenário base. Todavia, estes custos prendem-se sobretudo com os custos de dessalinização destinados a abastecimento urbano. A dessalinização compensatória, principal factor de avaliação de eficiência no processo, encontra-se bastante próxima do cenário base, embora ligeiramente superior;
- Dadas as características do cenário simulado, perspectiva-se a sua exequibilidade para este projecto apenas e só nas condições populacionais apresentadas no mesmo.

Com o desenvolvimento do golfe em Portugal, têm surgido preocupações relativas ao verdadeiro impacte ambiental da construção e operação de um campo de golfe. Se quanto às construções as principais razões apontadas têm como base a sensibilidade do local escolhido, já no que se refere à operação, é a quantidade de água utilizada que é quase sempre apontada como a principal ameaça de perturbação. Ambas as críticas podem ser apontadas ao golfe do Porto Santo.

Se é indiscutível que um campo de golfe, em Portugal, não é viável sem recorrer ao uso da rega, também é importante notar que a quantidade de água necessária não é maior do que para muitas culturas utilizadas em agricultura intensiva de regadio, em Portugal Continental. Esta comparação só tem sentido quando vista sob o prisma de que ambas as situações se referem a operações puramente comerciais que, salvaguardando outros factores, podem ser analisadas como formas alternativas de explorar comercialmente um terreno fazendo uso de um bem valioso como a água.

Contudo, no caso do golfe do Porto Santo, acresce o problema da quantidade de água disponível, que é significativamente diminuta. É factual que, principalmente no período de verão, o campo de golfe consome quantidades de água muito significativas, tendo de recorrer à dessalinizadora para suprir défices que as outras disponibilidades não conseguem suprir.

Ainda assim, existe a possibilidade de aliviar este consumo de água no campo de golfe através da implantação, mesmo que temporária, de um sistema de regadio de baixo custo, isto é, utilizar menos água do que a necessária para regadio do campo de golfe, deixando que o campo seque ligeiramente sem comprometer o estado da relva, pelo menos até se perspectivar um aumento populacional que satisfaça as verdadeiras necessidades do campo de golfe, isto é, até que se perspetive uma produção de águas residuais urbanas tratadas maior. Esta opção já é utilizada em alguns campos de golfe que se situam em locais onde as disponibilidades hídricas são diminutas.

Em suma, Porto Santo tem, actualmente, capacidade tecnológica e hídrica para aumentar a sua população residente e flutuante. Pode-se mesmo considerar que Porto Santo precisa de crescimento populacional para melhorar a sua condição hídrica, o que aumentaria a produção de águas residuais tratadas e, consequentemente, diminuiria as necessidades de dessalinização compensatória e de extracção das disponibilidades hídricas naturais, podendo assim levar a uma melhoria do ecossistema circundante e à diminuição de problemas de intrusão salina nas principais captações subterrâneas. Contudo, esta solução tem apenas em conta a condição dos recursos hídricos e a sua utilização na ilha, pelo que poderão haver outros factores que limitam o crescimento populacional e que não foram abordados nesta dissertação, ou seja, desconhece-se a verdadeira capacidade de suporte populacional da ilha, sendo que esta conclusão se encontra limitada nesse aspecto.

Por outro lado, conclui-se que o campo de golfe foi dimensionado com perspectivas populacionais demasiado optimistas, havendo agora um défice generalizado de água para suprir as suas necessidades, tendo sistematicamente que se recorrer a água dessalinizada. Quanto ao projecto da segunda fase do campo de golfe, não se perspectiva capacidade hídrica, actualmente, capaz de suprir as suas necessidades evidenciadas.



## 5) Referências bibliográficas

Aeroportos da Madeira (2008). Indicadores de Tráfego. Acedido a 15 de Janeiro de 2015. Disponível em: <http://www.aeroportosdamadeira.pt/Dados-de-Tráfego-108.aspx>.

Alfredo Maia. *Jornal de Notícias*, 22 Agosto de 2005. *Dessalinização não é solução para Portugal*. Acedido a 3 de Fevereiro de 2015, em: [http://www.jn.pt/paginainicial/interior.aspx?content\\_id=508790&page=-1](http://www.jn.pt/paginainicial/interior.aspx?content_id=508790&page=-1).

Andrade, C., Freitas, M., Taborda, R., Prada, S. (S.D). *Plano de Urbanização da frente do Mar Campo de Baixo – Ponta da Calheta Porto Santo, 1.ª Fase Caracterização e Diagnóstico*, Anexo 8 – Geologia e Geomorfologia Costeira, Dinâmica Costeira e Hidrogeologia. Acedido em 13 de Abril de 2015, em: [http://www.cm-portosanto.com/WideAdminCMPS/CONTENT/uploads/Relatorio\\_Parte\\_2.pdf](http://www.cm-portosanto.com/WideAdminCMPS/CONTENT/uploads/Relatorio_Parte_2.pdf).

APA – Agência Portuguesa do Ambiente (2012). *Programa Nacional para uso eficiente da água*. Acedido em 3 de Fevereiro de 2015, em: <http://www.apambiente.pt/>.

AREAM – Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira (2001). *Gestão das Águas Residuais na Região Autónoma da Madeira no âmbito do projecto AQUATLAN*. Acedido em 29 de Março de 2015, em: [http://www.aream.pt/download/aquatlan/Aquatlan-Gestao\\_Aguas\\_Residuais\\_RAM.pdf](http://www.aream.pt/download/aquatlan/Aquatlan-Gestao_Aguas_Residuais_RAM.pdf).

ARM – Águas e Resíduos da Madeira (2015). Comunicação pessoal, Nuno Jorge Escórcio Pereira.

Arnell, N. W. (1999). *Climate change and global water resources*. Global Environmental Changes. Department of Geography, University of Southampton. **Volume 9**: S31-S49.

Bixio, D., Thoeve, C., De Koning, J., Joksimovic, D., Savic, D., Wintgens, T., Melin, T. (2006). Water Reuse in Europe. *Desalination*. **Volume 187**: 89-101.

Bixio, D., Wintgens, T. (2006). *Water Reuse System Management Manual – AQUAREC*. 1ª edição, European Communities. Bélgica.

Bourouni, K., Chaibi, M.T., Tadrist, L. (2001). Water desalination by humidification and dehumidification of air: state of art. *Desalination*. **Volume 137**: 167-176.

California Drought (2015). Acedido a 16 de Dezembro de 2015, em: <http://ca.gov/drought/>.

Carlos (2011). Azimute - Recantos Dalte. Acedido em 4 Abril de 2015, em: [http://3.bp.blogspot.com/-IQR34pglZts/TmZuxEry3ql/AAAAAAB1U/cknD\\_C3no88/s1600/IMG\\_0544.JPG](http://3.bp.blogspot.com/-IQR34pglZts/TmZuxEry3ql/AAAAAAB1U/cknD_C3no88/s1600/IMG_0544.JPG)

Decreto Lei nº 152/97 de 19 de Junho. Diário da República nº 139/1997 – I Série A. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto Lei nº 208/2008 de 28 de Outubro. Diário da República nº 209/2008 – I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto Lei nº 236/98 de 1 de Agosto. Diário da República nº 176/98 – I Série A. Ministério do Ambiente. Lisboa.

Decreto Lei nº 306/2007 de 27 de Agosto. Diário da República nº 164/2007 – I Série. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Decreto Lei nº 77/2006 de 30 de Março. Diário da República nº 64/2006 – I Série A. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Lisboa.

Degrémont Suez (2007). *Water Treatment Handbook*. 7ª edição, Lavoisier SAS. Paris.

DREM - Direcção Regional de Estatística da Madeira (2009). *Recenseamento Agrícola*. Acedido em 1 de Fevereiro de 2015, em <http://estatistica.gov-madeira.pt/>.

DREM - Direcção Regional de Estatística da Madeira (2013). *Estatísticas Demográficas*. Acedido em 1 de Fevereiro de 2015, em <http://estatistica.gov-madeira.pt/>.

DREM - Direcção Regional de Estatística da Madeira (2013). *Turismo*. Acedido em 1 de Fevereiro de 2015, em <http://estatistica.gov-madeira.pt/>.

Drumond, A.M.S. (2009). *Estratégias de Planeamento Urbano para o Porto Santo*. Tese de Mestrado em Urbanismo. Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias, Lisboa. 154 pp.

Duarte, R. (1994). *Prospecção e Captação de Águas Subterrâneas em Terrenos Vulcânicos – Arquipélago da Madeira*. Acedido em 13 de Abril de 2015, em: <http://www.aprh.pt/congressoagua98/files/com/153.pdf>.

Duarte, R.A.S. (1998). *PROSPECÇÃO E CAPTAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM TERRENOS VULCÂNICOS - ARQUIPÉLAGO DA MADEIRA*. Congresso da água s.d.

EEA - European Environment Agency (2009). *Water resources across Europe – confronting water scarcity and drought*. EEA Report N.º 2/2009, EEA & OPOCE. Copenhagen.

EEA – European Environment Agency (1995). *Europe's Environment: The Dobris Assessment*.

El-Ghonemy, A.M.K. (2012). Water desalination systems powered by renewable energy sources: Review. *Renewable and sustainable energy reviews*. **Volume 16**, Pages 1537-1556.

El-Dessouky, H.T., Ettoney, H.M. (2002). *Fundamentals of salt water desalination*. 1ª Edição, Elsevier Science B.V. Holanda.

ERSAR (2012). *Relatório anual dos serviços de águas e resíduos em Portugal 2012*. Acedido a 2 de Fevereiro de 2015, em: <http://www.ersar.pt/>.

Ferreira, J. P. Lobo (1993). *Avaliação dos recursos hídricos subterrâneos da Ilha da Madeira. Estudo realizado para o Laboratório Regional de Engenharia Civil da RAM*. Relatório LNEC, Lisboa.

Ferreira, J. P. Lobo (1981). *Estudo Global dos Recursos Hídricos da Ilha do Porto Santo*. Estudo realizado para o Governo Regional da Madeira. Relatório LNEC, Lisboa.

Fetter, C.W. (1942). *Applied Hydrogeology*. Prentice Hall 4º edition. Columbus C. E. Merrill Publishing Companies 1980.

França, J., Almeida, A. (2003). *Plano Regional de Água da Madeira (PRAM) – Síntese de diagnóstico e dos objectivos 6.º SILUSBA – Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa*. Acedido em 27 de Março de 2015, em: [http://www.aprh.pt/6\\_silusba/vol3\\_APRH\\_LF\\_751\\_818a.pdf](http://www.aprh.pt/6_silusba/vol3_APRH_LF_751_818a.pdf).

Golfe de Porto Santo (2014). Acedido a 12 de Março de 2015, em: [http://portosantogolfe.com/?page\\_id=17](http://portosantogolfe.com/?page_id=17).

Golfe Quinta do Perú (2015). Comunicação pessoal, Dirk Hoeven.

Google Maps (2015). Acedido a 14 de Março de 2015, em: <https://www.google.pt/maps>.

Vallino, J. J., Hopkinson, C. S., (1995). The relationships among man's activities in watersheds and estuaries: a model of runoff effects on patterns of estuarine community metabolism. *Estuaries*. **Volume 18(4)**: 598-621.

IGA – Investimentos e Gestão da Água, S.A (2015). Acedido a 25 de Fevereiro de 2015, em: [iga2.igserv.pt](http://iga2.igserv.pt).

IPMA - Instituto Português do Mar e da Atmosfera (2015). *Dados climatológicos para Vila Baleira (Porto Santo)*. Consultado em Maio de 2015, em: <http://www.ipma.pt/pt/index.html>.

IPQ (2014). *Eficiência dos sistemas de abastecimento de água para consumo humano*. Acedido a 2 de Fevereiro de 2015, em <http://www1.ipq.pt/PT/Pages/Homepage.aspx>.

Menge, J. (2007). *Treatment of wastewater for re-use in the drinking water system of Windhoek*. City of Windhoek, PO Box 59, Windhoek, Namibia.

Nathanson, J. A. (2007). *Basic Environmental Technology: Water Supply, Waste Management & Pollution Control*. 5ª edição, Prentice Hall.

Lencastre A., Franco F.M. (2006). *Lições de Hidrologia*. Fundação FCT. 3.ª edição, Fundação da Faculdade de Ciências e Tecnologias Universidade Nova de Lisboa. Caparica.

Levy, J. Q. (2006). *Novas Origens de Abastecimento de Água, Reutilização e Dessalinização*. Lição de Síntese.

Mathioulakis, E., Belesiostis, V., Delyannis, E. (2007). Desalination by using alternative energy: Review and state-of-the-art. *Desalination*. **Volume 203**: 346–365.

May, S. (2004). *Estudo da viabilidade do aproveitamento de água da chuva para consumo não potável em edificações*. Tese de Mestrado em Engenharia de Construção Civil e Urbana. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo. 159 pp.

Melo Baptista, J., Almeida, M.C., Vieira, P.V., Moura e Silva, A. C, Ribeiro, R., Fernando, R.M.C., Serafim, A., Alves, I., Cameira, M.R. (2001). *Uso eficiente da água. Plano de Acção Imediata*. Relatório LNEC 48/01-NES, Lisboa, Portugal.

Morgado, P., Zêzere, J.L., Ramos Pereira, A. (2002). *OS RECURSOS NATURAIS EM PORTUGAL: INVENTARIAÇÃO E PROPOSTA DE UM MODELO GEOGRÁFICO DE AVALIAÇÃO*. Faculdade de Letras Da Universidade de Lisboa, Alameda Da Universidade. 1–15.

Mottconsult e MacDonald (1996). *Estudo de Avaliação Técnico-Financeira das Diferentes Opções para Garantia do Abastecimento de Água a Porto Santo. Fase I, estudo preliminar*.

Região Autónoma da Madeira, IGA.

Narayan, G. P., Sharqawy, M. H., Summers, E. K., Lienhard, J. H., Zubair, S. M., e Antar, M. A. (2010). The potential of solar-driven humidification – dehumidification desalination for small-scale decentralized water production. *Renewable and sustainable energy reviews*. **Volume 14**: 1187–1201.

NP 4435:2005 (2006). Norma Portuguesa sobre Reutilização de Águas Residuais Urbanas Tratadas na Rega. Instituto Português da Qualidade, Ministério do Ambiente.

OCDE - Organisation for Economic Co-operation and Development (2003). Performance and challenges in the OECD countries. *Environmental Performance Reviews*. 1ª edição, OECD Publications. Paris.

Oliveira, F. T. (2008). *Aproveitamento de água pluvial em usos urbanos em Portugal Continental* – Simulador para avaliação da viabilidade. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente. Instituto Superior Técnico, Lisboa.

PAESI PS - Agência Regional da Energia e Ambiente da Região Autónoma da Madeira, em colaboração técnica e estratégica da DRCIE – Direcção Regional do Comércio, Indústria e Energia e da EEM – Empresa de Electricidade da Madeira, S.A. (2012). *Plano de Acção para a Energia Sustentável na ilha do Porto Santo*. Acedido em 24 de Março de 2015, em: [http://www.areas.pt/download/islepact/PAESI\\_Porto\\_Santo\\_PT.pdf](http://www.areas.pt/download/islepact/PAESI_Porto_Santo_PT.pdf).

Porto Santo Golfe Course (S.D). Acedido a 2 de Junho de 2015, em: <http://www.portugalgolfe.com/courses/portosanto.htm>.

Portugal Golfe (S.D). Acedido a 12 de Março de 2015, em: [http://www.portugalgolf.pt/ingles/ing\\_psanto\\_menu.htm](http://www.portugalgolf.pt/ingles/ing_psanto_menu.htm).

Postel, S.L. (2000). Entering an era of water scarcity: the challenges ahead. *Ecol Appl* 10(4). **Volume 10**: 941–948.

Rasel Das, M.D., Eaqub Ali, Sharifah Bee Abd Hamid, Seeram Ramakrishna, Zaira Zaman, C. (2014). Carbon nanotube membranes for water purification: A bright future in water desalination. *Desalination*. **Volume 336**: 97-109.

Rebouças, A. C. (1999). *Água Doce no Mundo e no Brasil*. São Paulo SP, Editora Escrituras.

Rosa, M. J., Vieira, P., Menaia, J. (2009). *O tratamento de água para consumo humano face à qualidade da origem*. Instituto Regulador de Águas e Resíduos série de Guias Técnicos 13.

Seckler, D., Barker, R., & Amarasinghe, U. (1999). Water Scarcity in the Twenty-first Century. *International Journal of Water Resources Development*. **Volume 15**: 29–42.

Seinfeld, J. H. (1986). *Atmospheric Chemistry and Physics of Air Pollution*. 1ª edição, Wiley-Interscience. Nova Iorque.

Shatat, M., Worall M., Riffat, S. (2013). Opportunities for solar water desalination worldwide: Review. *Sustainable Cities and Society*. **Volume 9**: 67-80.

SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos (2015). Acedido a 3 Março de 2015, em: [snirh.pt](http://snirh.pt).

Stagnitti, F., Hamilton, A., Versace, V., Lerodiconou, D. (1998). Wastewater reuse: Environmental Impacts and Risk Assessment. *School of Life and Environmental Science*. Deakin University. 1-10.

Tang, C.Y., Zhao, Y., Wang, R., Hélix-Nielson, C. (2013). Desalination by biomimetic aquaporin membranes: Review of status and prospects. *Desalination*. **Volume 308**: 34-40.

Tang, S.L., Yue P.T., Damien, C.C. KU (2007). *Engineering and Costs of Dual Water Supply Systems*. IWA Publishing.

Tchobanoglous, George, Burton, F. L., & Stensel, H. D. (1998). Metcalf & Eddy, Inc. *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse*.

The Texas Manual on Rainwater Harvesting (2005). Austin, Texas: Texas Water Development Board.

TOMAZ, P. (2003). *Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis*. 1ª edição, Navegar.

U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (1991). Municipal Wastewater Reuse: Selected Readings on Water Reuse. *Water Environment & Technology Journal*. Office of Water EPA 430/09-91-002.

U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet – Chlorine Disinfection*. Office of Water EPA 832-F-99-062. Washington, D.C.

U.S. EPA - United States Environmental Protection Agency (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet – Ozone Disinfection*. Office of Water EPA 832-F-99-062. Washington, D.C.

U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency (2004). *Guidelines for Water Reuse*. Office of Technology Transfer and Regulatory Support EPA/625/R-92/108. 1<sup>st</sup> edition, Camp Dresser & McKee Inc. Chicago.

U.S.EPA - United States Environmental Protection Agency (1999). *Wastewater Technology Fact Sheet – Ultraviolet Disinfection*. Office of Water EPA 832-F-99-062. Washington, D.C.

Vila Baleira (S.D). Porto Santo Golfe. Acedido a 26 Fevereiro 2015, em: <http://www.vilabaleira.com/pt/content/porto-santo-golfe>.

WHO - World Health Organization (2006). *Guidelines for the Safe Use of Wastewater, Excreta and Greywater*. 1<sup>st</sup> edition, World Health Organization. Suíça.

WWAP - World Water Assessment Programme (2009). *The UN World Water Development Report 3: Water in a Changing World*. 1<sup>st</sup> edition, UNESCO publishing. Paris, France, Earthscan, London, UK.



## Anexos

### Anexo 1 – Qualidade das águas doces destinadas a consumo humano (Decreto-Lei n.º 236/98-Anexo I)

Parâmetros	Unidade	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
pH 25°C	Escala de Sorensen	6,5 - 8,5		5,5 - 9,0		5,5 - 9,0	
Côr (após filtração simples)	mg/L escalaPt - Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 22	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade eléctrica	µS.cm <sup>-1</sup> , 20 °C	1000	-	1000	-	1000	-
Cheiro	Factor de diluição a 25°C	3	-	10	-	20	-
Nitratos (*)	mg/L, NO3	25	(O) 50	-	(O) 50	-	(O) 50
Fluoretos (1)	mg/L, F	0,7 - 1,0	1,5	0,7 - 1,7	-	0,7 - 1,7	-
Cloro orgânico total extraível	mg/L, Cl	-	-	-	-	-	-
Ferro dissolvido (*) mg/L	mg/L, Fe	0,1	0,3	1	2	1	-
Manganês (*)	mg/L, Mn	0,05	-	0,1	-	1	-
Cobre	mg/L, Cu	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1	-
Zinco	mg/L, Zn	0,5	3	1	5	1	5
Boro	mg/L, B	1	-	1	-	1	-
Cobalto	mg/L, Co	-	-	-	-	-	-
Níquel	Mg/L, Ni	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/L, V	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/L, As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,1
Cádmio	mg/L, Cd	0,001	0,005	0,001	0,005	0,001	0,005
Crómio total	mg/L, Cr	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Chumbo	mg/L, Pb	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Selénio	mg/L, Se	-	0,01	-	0,01	-	0,01
Mercurio	mg/L, Hg	0,0005	0,001	0,0005	0,001	0,0005	0,001
Bário	mg/L, Ba	-	0,1	-	1	-	1
Cianetos	mg/L, CN	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/L, SO4	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloretos	mg/L, Cl	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensoactivas	mg/L, sulfato de laurilo e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos (*) (2)	mg/L	0,4	-	0,001	-	0,7	-
Fenóis	mg/L	-	0,001	-	0,005	0,01	0,1
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/L	-	0,05	-	0,2	0,5	1
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	mg/L	-	0,2	-	0,2	-	1
Pesticidas totais	µg/L	-	1	-	2,5	-	5
Carência química de oxigénio(CQO)(*)	mg/L	-	-	-	-	30	-
Oxigénio dissolvido (*) (3)	% desat.de O <sub>2</sub>	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigénio a (CBO5 20°C)(*)	mg/L	3	-	5	-	7	-

Parâmetros	Unidade	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
Azoto Kjeldahl	mg/L	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/L NH4	0,05	-	1	1,5	2	(O) 4,00
Substância extraíveis com clorofórmio	mg/L	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/L	-	-	-	-	-	-
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5µm)	mg/L, C	-	-	-	-	-	-
Coliformes totais	/100mL	50	-	5000	-	50000	-
Coliformes fecais	/100mL	20	-	2000	-	20000	-
Estreptococos fecais	/100mL	20	-	1000	-	10000	-
Salmonelas		Ausência em 5000 mL	-	Ausência em 1000 mL	-	-	-

(O) - Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas de exceção (nº1 do artigo 10º);

(\*) - Os limites podem ser excedidos em lagos com pouca profundidade e baixa taxa de renovação;

(1) - Os valores indicados constituem os limites inferior e superior das concentrações, determinados em função da média anual das temperaturas;

(2) - Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas específicas;

(3) - Refere-se a um valor mínimo recomendado (Vmr);

VMR - Valor máximo recomendado;

VMA - Valor máximo admissível.

#### Anexo 2 - Anexo XVI do Decreto-Lei 236/98, águas destinadas a rega.

Parâmetros	Unidade	VMR	VMA	Observações
Alumínio	mg/L	5	20	Risco de improdutividade em solos com pH<5,5. Em solos com pH>7 o risco de toxicidade é eliminado por precipitar o alumínio.
Arsénio	mg/L	0,1	10	Toxicidade variável consoante as culturas, oscilando entre 12 mg/L para a erva-do-sudão e 0,05 mg/L para o arroz.
Bário	mg/L	1	-	
Berílio	mg/L	0,5	1	
Boro	mg/L	0,3	3,75	Para solos de textura fina e em curtos períodos recomenda-se como concentração máxima 2 mg/L.
Cádmio	mg/L	0,01	0,05	Tóxico para o feijoeiro, beterraba e nabo em concentrações na ordem dos 0,1 mg/L em soluções nutritivas. Recomenda-se limites mais restrictos, devido ao ião se acumular nas plantas e no solo, podendo prejudicar a saúde humana.
Chumbo	mg/L	5	20	As concentrações muito elevadas podem inibir o desenvolvimento celular das culturas.
Cloretos	mg/L	70	-	Para a cultura do tabaco, recomenda-se uma concentração inferior a 20 mg/L, nunca devendo exceder os 70 mg/L.
Cobalto	mg/L	0,05	10	Tóxico em soluções nutritivas para a cultura do tomate na ordem dos 0,1 mg/L. Tende a ser inactivo em solos neutros ou alcalinos.
Cobre	mg/L	0,2	5	Tóxico em soluções nutritivas com concentrações entre 0,1 mg/L e 1mg/L para diversas culturas.

Parâmetros	Unidade	VMR	VMA	Observações
Crómio total	mg/L	0,1	20	Por se desconhecer o seu efeito tóxico, recomendam-se limites mais restrictos.
Estanho	mg/L	2	-	
Ferro	mg/L	5	-	Não tóxico em solos bem arejados, mas pode contribuir para a acidificação dos mesmos, tornando-se indisponível o fósforo e o molibdénio.
Flúor	mg/L	1	15	Inactivado em solos neutros e alcalinos.
Lítio	mg/L	2,5	5,8	Tolerado pela maioria das culturas em concentrações superiores a 5 mg/L; móvel no solo. Tóxico para os citrinos a baixas concentrações (<0,075 mg/L).
Manganês	mg/L	0,2	10	Tóxico para um certo número de culturas desde algumas décimas até poucos mg/L mas normalmente só em solos ácidos.
Molibdénio	mg/L	0,005	0,05	Não é tóxico em concentrações normais. Em solos ricos em molibdénio livre as forragens podem, no entanto, ocasionar toxicidade nos animais.
Níquel	mg/L	0,5	2	Tóxico para um certo número culturas entre 0,5 mg/L e 1mg/L; reduzida toxicidade para pH neutro ou alcalino.
Nitratos	mg/L	50	-	Concentrações elevadas podem afectar a produção equalidade das culturas sensíveis. No plano de fertilização da parcela convém contabilizar o azoto veiculado pela água de rega.
Salinidade				Depende muito da resistência das culturas à salinidade, bem como do clima, do método de rega e da textura do solo.
CE	dS/m	1	-	
SDT	mg/L	640	-	
SAR		8	-	
Selénio	mg/L	0,02	0,05	Tóxico para culturas em concentrações na ordem dos 0,025 mg/L. Em solos com um teor relativamente elevado em selénio absorvido as forragens podem ocasionar toxicidade nos animais.
Sólidos suspensos totais	mg/L	60	-	Concentrações elevadas poderão ocasionar colmatação em solos e assoreamento nas redes de rega, bem como entupimento nos sistemas de rega gota-a-gota e aspersão, bem como neste último sistema a água poderá provocar depósitos sobre as folhas e frutos.
Sulfatos	mg/L	575	-	
Vanádio	mg/L	0,1	1	Tóxico para diversas culturas em concentrações relativamente baixas.
Zinco	mg/L	2	10	Tóxico par diversas culturas numa gama ampla, toxicidade reduzida a pH>6 e solos de textura fina ou de solos orgânicos.
pH	Escala de Sorensen	6,5-8,4	4,5-9,0	
Coliformes fecais	/100 ml	100	-	
Ovos de parasitas intestinais	N/l	-	1	

**Anexo 3 - Precipitação total anual na ilha do Porto Santo (SNIRH)**

<b>Ano</b>	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
<b>P (mm)</b>	198,2	521,6	471,1	322	246,9	355,2	260,1	305,8	481,3	229,1	253,2	296,5	145,5	109,4	390,6	219,2	161,5