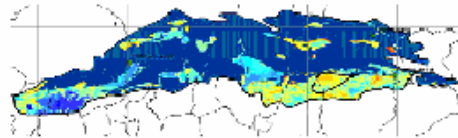
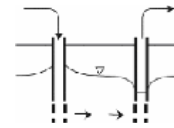


SPI



IFI



ASTR

Soluções para uma gestão adequada de bacias hidrográficas e de sistemas aquíferos, em cenários de escassez hídrica extrema

Aplicação ao sistema aquífero Querença-Silves (Algarve) no âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaterNet

Luís Guilherme Sousa de Oliveira

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

Júri

Presidente: Prof. José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos
Orientador: Dr.-Ing. Habil. João Paulo de Cárcomo Lobo Ferreira
Co-Orientador: Prof. Jorge de Saldanha Gonçalves Matos
Vogais: Prof. José Paulo Patricio Geraldês Monteiro
Prof. Amílcar de Oliveira Soares

Novembro 2007

**Tese elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil, no âmbito da
Acção de Coordenação ASEMWATERNET “*Multi-Stakeholder Platform for ASEM
S&T Cooperation on Sustainable Water Use*”, Contrato INCO-CT2005-510897 do
6º Programa-Quadro de Investigação, sob orientação do Investigador-
Coordenador com Habilitação, Doutor Engenheiro
João Paulo de Cárcomo Lobo Ferreira**

Agradecimentos

Bons amigos são aqueles que nos instruem na fé, empenham-se connosco para aprofundar nossa prática e estudo, e trabalham em harmonia connosco para o avanço da Paz Mundial. (Nitiren Daishonin) - Pensamento Budista.

Inicialmente, quero agradecer e dedicar a dissertação à minha família directa, que são eles os meus principais amigos. Os meus pais – José Guilherme Tavares de Oliveira e Graziela de Sousa Rua – por tudo o que fizeram por mim para que eu atingisse os meus objectivos e a enorme fé que têm em mim, e as minhas irmãs – Carla Oliveira e Susana Oliveira – pelo fantástico apoio que me têm dado.

Quero agradecer ao meu Orientador, o Dr-Ing. Habil. Lobo Ferreira, por todo o apoio técnico e moral, pelas óptimas condições de trabalho que proporcionou para a feitura da minha dissertação e, principalmente, pela oportunidade e confiança que teve sobre mim para efectuar a minha dissertação no Núcleo de Águas Subterrâneas estando esta inserida numa acção de coordenação Internacional.

Agradeço ao meu co-orientador, o Professor Jorge Saldanha Matos do Instituto Superior Técnico pelo apoio dado durante a dissertação.

Quero agradecer a todos os elementos do Núcleo de Águas Subterrâneas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil por todas as condições e ajudas que me deram ao longo da dissertação. Cito os nomes (sem nenhuma ordem e usando a forma como lhes dirijo):

Agradeço, então, ao Eng. Lobo Ferreira, à Doutora Teresa Leitão, ao Doutor Manuel Oliveira, à Catarina Diamantino, à Maria João, à Maria José, à Marta Rodrigues, à Isabel Laranjeira e por fim (“last but not least”) aos meus colegas Lara Espírito Santo, Patrícia Terceiro e Nuno Martinho.

Do Núcleo quero agradecer especialmente ao Doutor Manuel Oliveira por toda a paciência e disposição que teve comigo. Estando o Doutor Manuel no gabinete em frente do meu, a maioria das minhas dúvidas técnicas (relacionadas com hidrogeologia ou semelhante) eram-lhe feitas e o Doutor Manuel esteve quase sempre à disposição para me ajudar.

Agradeço, igualmente, ao Professor José Paulo Monteiro da Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade do Algarve, pelo óptimo auxílio que me deu no conhecimento da região e do caso estudado.

Não posso igualmente deixar de agradecer a todos os meus amigos e colegas que permitiram que eu tivesse forças para terminar o trabalho.

Resumo

Esta dissertação estuda a aplicabilidade duma solução, numa Gestão Integrada de Recursos Hídricos, para cenários de escassez hídrica extrema no Algarve, pela utilização do sistema aquífero Querença-Silves. Esta encontra-se no âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaterNet levada a cabo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Portugal é um país constantemente fustigado por secas. O Algarve não é excepção.

De forma a analisar-se o projecto proposto diferentes estudos foram desenvolvidos de forma a maximizar os objectivos de uma Gestão Integrada de Recursos Hídricos. As secas foram definidas, quantificadas, monitorizadas e foi observado que se relacionam com sistemas criados pelos Homens. O relatório apresenta as técnicas de recarga artificial e as condições necessárias para a sua correcta utilização. São apresentados e analisados os documentos legais que podem influenciar a prática proposta no local em estudo, de forma a se verificar a sua adequabilidade legislativa.

O sistema aquífero Querença-Silves é o maior e mais importante do Algarve tendo servido de emergência à escassez hídrica em anos passados. Para um correcto entendimento do aquífero realizaram-se diferentes análises, com recurso a trabalhos anteriores desenvolvidos na área, e novos estudos foram obtidos, como a análise espacial da vulnerabilidade à poluição ou da recarga natural.

Os diversos estudos realizados permitiram verificar que a recarga artificial e armazenamento subterrâneo no Querença-Silves é uma proposta merecedora de ser considerada num plano de Gestão Integrada de Recursos Hídricos como solução para a escassez hídrica extrema no Algarve.

Palavras-chave: Algarve, ASEMWaterNet, Gestão Integrada, Recarga Artificial, Secas, Sistema Aquífero Querença-Silves.

Abstract

This dissertation studied the applicability of a solution, in an Integrated Water Resource Management, for drought mitigation in Algarve, using the aquifer system Querença-Silves. This dissertation was developed in the framework of the EU Coordination Action ASEMWaterNet under development in the Portuguese Laboratory of Civil Engineering (LNEC).

Portugal is a country constantly fustigated by droughts. Algarve is no exception.

In order of achieving the proposed objectives, different analyses were developed aiming at a contribution towards maximizing the goals of an Integrated Water Resources Management. The droughts have been defined, quantified, monitored and it was observed the human influence. The dissertation presents methods for artificial recharge and the necessary conditions to a correct management. Legal documents that can influence the proposed project are presented and analysed.

The Querença-Silves aquifer system is the largest and most important aquifer in the Algarve, being used as an emergency water reservoir during drought crisis. For a correct understanding of the aquifer different analyses were made, using previous reports of the case in study and new studies were performed, e.g. the spatial analysis of the vulnerability to pollution and the spatial analysis of the natural groundwater recharge.

The several studies presented in the dissertation allowed verifying that artificial recharge and groundwater storage in the Querença-Silves deserves to be considered in an integrated water resources plan for mitigation of droughts in Algarve.

Key-Words: Algarve, Artificial Recharge, ASEMWaterNet, Drought, Integrated Management, Querença-Silves aquifer system.

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
2. CARACTERIZAÇÃO DE SECAS	4
2.1. APRESENTAÇÃO DO FENÓMENO DAS SECAS	4
2.2. DEFINIÇÃO DE SECA	6
2.3. VARIÁVEIS CARACTERÍSTICAS DAS SECAS	7
2.3.1. DURAÇÃO	8
2.3.2. DÉFICE TOTAL	8
2.3.3. INTENSIDADE	9
2.4. ANÁLISE REGIONAL DE SECAS	9
2.4.1. DURAÇÃO DE UMA SECA REGIONAL	10
2.4.2. ÁREA MÉDIA EM DÉFICE	10
2.4.3. DÉFICE TOTAL EM SUPERFÍCIE	10
2.4.4. INTENSIDADE	10
2.5. ÍNDICES DE SECA	11
2.5.1. PALMER DROUGHT SEVERITY INDEX (PDSI)	11
2.5.2. ÍNDICE ESTANDARDIZADO DE PRECIPITAÇÃO (PSI)	12
2.5.3. MÉTODO EMPÍRICO DOS DECILES	13
2.6. MODELOS DE DISTRIBUIÇÃO DE SECAS REGIONAIS	13
2.7. TEORIA DE SISTEMAS APLICADA A SECAS	14
2.7.1. VULNERABILIDADE	14
2.7.2. RISCO E FIABILIDADE	15
2.7.3. RESILÊNCIA	16
2.8. MONITORIZAÇÃO DE SECAS	17
3. TÉCNICAS DE PREVENÇÃO DE IMPACTOS DE SECAS NUMA GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS	18
3.1. APRESENTAÇÃO DE MÉTODOS DE RECARGA ARTIFICIAL NUMA GESTÃO INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS	18
3.2. FUNCIONAMENTO DE TÉCNICAS DE RECARGA ARTIFICIAL DE SISTEMAS AQUÍFEROS	19
3.2.1. RECARGA ARTIFICIAL COM BACIAS	19
3.2.2. TÉCNICAS DE RECARGA ARTIFICIAL EM PROFUNDIDADE	21
3.3. FUROS DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO E EXTRACÇÃO E FUROS DE ARMAZENAMENTO SUBTERRÂNEO, TRANSPORTE E EXTRACÇÃO	21
3.3.1. APRESENTAÇÃO DA TÉCNICA	21
3.3.2. PLANO DE GESTÃO DE RISCO E DEFINIÇÃO DE BARREIRAS CONTRA POLUENTES E DANOS DE UM AQUÍFERO	24
3.3.3. SELECÇÃO DO AQUÍFERO	26
4. LEGISLAÇÃO PORTUGUESA E EUROPEIA	27
4.1. APRESENTAÇÃO GERAL DE ASSUNTOS LEGAIS	27
4.2. GESTÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA NA LEI DA ÁGUA	27
4.3. A NOVA DIRECTIVA EUROPEIA DAS ÁGUAS SUBTERRÂNEAS E A RECARGA ARTIFICIAL	28
4.4. OUTRA LEGISLAÇÃO PORTUGUESA	29
4.4.1. ESTUDOS DE IMPACTO AMBIENTAL	29
4.4.2. ÁREAS COM ESTATUTO DE PROTECÇÃO AMBIENTAL	29

4.4.3.	QUALIDADE DA ÁGUA PARA CONSUMO HUMANO E ÁGUA RESIDUAL.....	30
5.	CARACTERIZAÇÃO DO CASO ESTUDO: SISTEMA AQUÍFERO QUERENÇA-SILVES, ALGARVE, PORTUGAL.....	32
5.1.	INTRODUÇÃO AO CASO DE ESTUDO.....	32
5.2.	PORTUGAL E A ÁGUA.....	33
5.2.1.	RESUMO DAS CARACTERÍSTICAS DE PORTUGAL.....	33
5.2.2.	SECA EM PORTUGAL.....	35
5.3.	A REGIÃO DO ALGARVE.....	37
5.3.1.	CARACTERIZAÇÃO HIDROLÓGICA GERAL DO ALGARVE.....	38
5.3.2.	CARACTERIZAÇÃO INSTITUCIONAL DO ALGARVE.....	40
5.4.	SISTEMA AQUÍFERO QUERENÇA-SILVES.....	41
5.4.1.	CARACTERÍSTICAS GEOLÓGICAS E HIDROGEOLÓGICAS.....	42
5.4.1.1.	PARÂMETROS HIDRÁULICOS E PRODUTIVIDADE.....	42
5.4.1.2.	ANÁLISE DO FLUXO E DA PIEZOMETRIA.....	43
5.4.2.	CARACTERÍSTICAS QUALITATIVAS DA ÁGUA.....	45
5.4.3.	BALANÇO HIDROLÓGICO.....	46
5.4.4.	RECARGA NATURAL.....	47
5.4.5.	ANÁLISE DA RECARGA PELA UTILIZAÇÃO DO MODELO BALSEQ.....	48
5.4.5.1.	INTRODUÇÃO AO MODELO BALSEQ.....	48
5.4.5.2.	APLICAÇÃO DO MODELO AO CASO ESTUDO E RESULTADOS.....	49
5.4.5.3.	ANÁLISE CRÍTICA DOS RESULTADOS.....	50
5.4.6.	CAPTAÇÃO DE ÁGUA.....	51
5.4.6.1.	ANÁLISE QUANTITATIVA.....	51
5.4.6.2.	ANÁLISE QUALITATIVA.....	52
5.4.7.	ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DO SISTEMA AQUÍFERO À POLUIÇÃO.....	53
5.4.7.1.	INTRODUÇÃO AO MÉTODO DRASTIC.....	53
5.4.7.2.	APLICAÇÃO DO MÉTODO DRASTIC AO CASO ESTUDO E RESULTADOS.....	57
5.4.7.3.	ANÁLISE CRÍTICA AOS RESULTADOS OBTIDOS.....	59
6.	APLICAÇÃO DA TÉCNICA AO CASO ESTUDO.....	60
6.1.	APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO.....	60
6.2.	ESCOLHA DA ÁREA DE RECARGA.....	60
6.2.1.	VISITA DE CAMPO.....	61
6.2.2.	METODOLOGIA DE IDENTIFICAÇÃO PRELIMINAR DE ÁREAS CANDIDATAS PARA RECARGA ARTIFICIAL.....	62
6.3.	ORIGEM DE ÁGUA PARA RECARGA.....	66
6.3.1.	ANÁLISE QUANTITATIVA.....	66
6.3.2.	ANÁLISE QUALITATIVA.....	67
6.3.2.1.	RESULTADOS QUALITATIVOS DISPONÍVEIS PELO INSTITUTO DA ÁGUA.....	68
6.3.2.2.	ANÁLISE DA VULNERABILIDADE DE BACIAS HIDROGRÁFICAS PELA UTILIZAÇÃO DO MÉTODO WRASTIC.....	69
6.4.	ANÁLISE PRELIMINAR DA VELOCIDADE DE PERCURSO DE ÁGUA.....	72
6.5.	ANÁLISE LEGAL.....	75
6.6.	OUTROS FACTORES.....	76
7.	CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES.....	78

Lista de Figuras

Figura 1 – Sociedade Vulnerável a Secas e Sociedade Resiliente a Secas (retirado de http://www.unisdr.org/)	4
Figura 2 – Ciclo “hidro-ilógico da seca” (retirado de http://www.wmo.ch).....	5
Figura 3 – Algumas variáveis características das secas (retirado de Santos, 1981)	8
Figura 4 – Esquema do modelo de distribuição de secas regionais (retirado de Santos, 1998).....	14
Figura 5 – Ciclo da análise de risco (retirado de http://www.unisdr.org/)	16
Figura 6 – Método de monitorização de secas segundo o INAG (retirado de Santos, 1998)	17
Figura 7 – Furos de armazenamento subterrâneo e extracção (ASR) e furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (ASTR) (retirado de Dillon et al., 2006)	18
Figura 8 – Esquema de bacias de infiltração aplicadas no leito do Rio Seco (Algarve) (retirado de Diamantino et al., 2007).....	20
Figura 9 – Esquema e componentes de uma estação de furos de armazenamento subterrâneo e extracção (retirado de Dillon et al., 2006).....	22
Figura 10 – Esquema dos componentes básicos de uma estação de furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (retirado de Dillon et al., 2006)	23
Figura 11 – Barreiras contra poluentes e danos de um aquífero (retirado de Dillon et al., 2006)	24
Figura 12 – Portugal e a sua localização (retirado de Ferreira, 2000).....	32
Figura 13 – Divisão hidrogeológica de Portugal Continental (retirado de http://snirh.inag.pt).....	34
Figura 14 – O índice SPI-12 meses em vários anos e em várias cidades de Portugal (retirado de Domingos, 2006).....	36
Figura 15 – Divisão do Algarve em concelhos (retirado de http://www.ccdr-alg.pt)	37
Figura 16 – Distribuição espacial de precipitação no Algarve (retirado de http://ccdr-alg.pt).....	39
Figura 17 – Localização dos sistemas aquíferos algarvios actualmente diferenciados (retirado de http://snirh.inag.pt)	39
Figura 18 – Localização do sistema aquífero Querença-Silves (adaptado de Orlando, 2001)	41
Figura 19 – Principais relações entre o sistema aquífero Querença-Silves e as ribeiras que o cruzam (retirado de Monteiro et al., 2007)	42
Figura 20 – Modelo do sentido de escoamento do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Ribeiro, 2006)	44
Figura 21– Mapa de isopiezas do sistema aquífero Querença-Silves construído com dados de campo (em baixo) e mapa de potencial hidráulico simulado matematicamente (em cima) (retirado de Monteiro et al., 2007)	44
Figura 22 – Nível piezométrico do sistema aquífero Querença-Silves obtido por interpolação usando o método das diferenças inversas ponderadas	45
Figura 23 – Diagrama de piper da água do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Almeida et al., 2000)	46
Figura 24 – Percentagem de recarga de várias zonas do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Monteiro et al., 2006a).....	47
Figura 25 – Configuração hidrológica utilizada pelo modelo BALSEQ (retirado de Oliveira, 2004).....	48

Figura 26 – Distribuição espacial da recarga natural do sistema aquífero Querença-Silves pela aplicação do modelo BALSEQ_MOD	50
Figura 27 – Percentagem de ocorrências de quatro classes de qualidade de água ao longo dos anos do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de http://snirh.inag.pt)	52
Figura 28 – Qualidade da água subterrânea do sistema aquífero Querença-Silves no ano de 2005, segundo as classes do Decreto-Lei 236/98 (retirado de http://snirh.inag.pt)	53
Figura 29 – Mapa da profundidade ao nível freático do sistema aquífero Querença-Silves	58
Figura 30 – Resultado da aplicação do método DRASTIC ao sistema aquífero Querença-Silves	58
Figura 31 – Localização do possível ponto para a recarga artificial (obtido pelo Google Earth).....	62
Figura 32 – Parâmetros do Índice de Facilidade de Infiltração (retirado de Oliveira <i>et al.</i> , 2002)	62
Figura 33 – Aplicação do Índice de Facilidade de Infiltração (IFI) ao sistema aquífero Querença-Silves	63
Figura 34 – Índice de facilidade de Infiltração do ponto <i>Fonte de Louseiros</i> do sistema aquífero Querença-Silves	65
Figura 35 – Profundidade e distância a uma origem de água do ponto <i>Fonte de Louseiros</i> do sistema aquífero Querença-Silves	65
Figura 36 – Histórico de qualidade da água da albufeira da barragem do Arade (esquerda) e do Funcho (direita) (retirado de http://snirh.inag.pt)	68
Figura 37 – Mapa de análise do tempo de percurso no ponto <i>Fonte de Louseiros</i> do Sistema aquífero Querença-Silves	73

Lista de tabelas

Tabela 1 – Tipos de escassez de água.....	6
Tabela 2 – Classificação das secas segundo uma caracterização baseada na teoria dos chorriinhos.	11
Tabela 3 – Classificação das secas segundo o Índice de Palmer	12
Tabela 4 – Classificação das secas segundo o Índice Standardizado de Precipitação	13
Tabela 5 – Principais bacias hidrográficas portuguesas.....	34
Tabela 6 – Anos de seca em Portugal, zonas afectadas e severidade segundo o SPI- 12 meses (retirado de Domingos, 2006)	35
Tabela 7 – Barragens Algarvias, seu ano de construção e capacidade útil	38
Tabela 8 – Sistemas aquíferos algarvios, sua área e produtividade mediana (retirado de http://snirh.inag.pt)	40
Tabela 9 – Dados estatísticos da produtividade do sistema aquífero Querença-Silves (em L/s)	43
Tabela 10 – Valores de transmissividade do sistema aquífero Querença-Silves e sua localização (em m ² /dia).....	43
Tabela 11 – Dados estatísticos de parâmetros físico-químicos da água do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Almeida <i>et al.</i> , 2000).....	45
Tabela 12 – Precipitação média anual de quatro posto udométricos	46
Tabela 13 – Volume e percentagem de água captada do sistema aquífero Querença-Silves durante o ano seco de 2004/2005	52
Tabela 14 – Equivalência entre o parâmetro “Distância ao nível freático” e o valor DRASTIC.....	54
Tabela 15 – Equivalência entre o parâmetro “Recarga do aquífero” e o valor DRASTIC	54
Tabela 16 – Equivalência entre o parâmetro “Material do aquífero” e o valor DRASTIC	55
Tabela 17 – Equivalência entre o parâmetro “Tipo de solo” e o valor DRASTIC	55
Tabela 18 – Equivalência entre o parâmetro “Topografia” e o valor DRASTIC.....	56
Tabela 19 – Equivalência entre o parâmetro “Influência da zona vadosa” e o valor DRASTIC	56
Tabela 20 – Equivalência entre o parâmetro “Condutividade hidráulica do aquífero” e o valor DRASTIC	57
Tabela 21 – Pesos de ponderação de cada parâmetro DRASTIC	57
Tabela 22 – Volume de descarga de água da barragem do Arade no ano hidrológico de 2000/2001 (obtido em http://snirh.inag.pt)	66
Tabela 23 – Volume de descarga de água da barragem do Arade nos anos hidrológicos de 1995/96, 1996/97 e 1997/98 (obtido em http://snirh.inag.pt).....	67
Tabela 24 – Parâmetros do método WRASTIC respectivo valor e peso (parte I)	70
Tabela 25 – Parâmetros do método WRASTIC respectivo valor e peso (parte II)	70
Tabela 26 – Parâmetros do método WRASTIC respectivo valor e peso (parte III)	71
Tabela 27 – Nível piezométrico em cada distância do ponto inicial	74
Tabela 28 – Análise das velocidades e tempo de percurso para cada distância	74
Tabela 29 – Total máximo do tempo de percurso de um quilómetro na zona de <i>Fonte de Louseiros</i> . 74	
Tabela 30 – Total mínimo do tempo de percurso de um quilómetro na zona de <i>Fonte de Louseiros</i> .. 74	

Lista de abreviaturas

- A.B. de Silves, Lagoa e Portimão** - Associações de Beneficiários dos perímetros de rega de Silves, Lagoa e Portimão
- AMAL** – Área Metropolitana do Algarve
- ASEM** – Asia-Europe Meeting
- ASR** – Aquifer Storage and Recovery
- ASTR** – Aquifer Storage Transfer and Recovery
- A2** – Auto-estrada nacional número 2
- BALSEQ** – Balanço Sequencial diário
- BALSEQ_MOD** – Balanço Sequencial diário: Modelos
- CCDR** – Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional
- CNIG** – Centro Nacional de Informação Geográfica
- COS'90** – Carta de Ocupação de Solo
- DQA** - Directiva Quadro da Água
- DRASTIC** – Depth to the water table, net Recharge, Aquifer media, Soil media, Topography, Impact of the vadose zone media, hydraulic Conductivity
- EPA-US** – Environmental Protection Agency dos Estados Unidos da América
- ETAR** – Estação de Tratamento de Águas Residuais
- FCMA-UA** – Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade do Algarve
- INAG** – Instituto da Água
- GABARDINE** – Groundwater artificial recharge based on alternative sources of water: advanced integrated technologies and management
- IC1** – Itinerário complementar número 1
- IFI** – Índice de Facilidade de Infiltração
- IHERA** – Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente
- INSAAR** – Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais
- INSB** – Inventário Nacional de Saneamento Básico (actual INSAAR)
- LNEC** – Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- NAS** – Núcleo de Águas Subterrâneas
- NMED/DWB** – New Mexico Environment Department - Drinking Water Bureau
- PDSI** – Palmer Drought Severity Index
- PROT-Algarve** – Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve
- SA** – Sociedade Anónima
- SIAM** – Scenarios, Impacts and Adaptation Measures
- SIG** – Sistemas de Informação Geográfica
- SNIRH** – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos
- SPI** – Standardized Precipitation Index
- SST** – Sólidos Suspensos Totais
- WRASTIC** – Wastewater discharges, Recreational activities, Agricultural activities, Size of the watershed, Transportation avenues, Industrial activities, Amount of vegetative ground Cover.

1. Introdução

Eventos meteorológicos extremos, como secas ou cheias, têm vindo a ocorrer no Mundo ao longo dos anos como resultado das mudanças climáticas. A humanidade, co-responsável pelas alterações climáticas, deverá procurar alterar esta realidade e atenuar os impactos resultantes dos desastres climáticos.

As secas são desastres climáticos com características muito próprios, onde se destaca além da sua duração a duração dos impactos causados. Os mais recentes relatórios de mudanças climáticas apontam para uma amplificação futura do número e da extensão de secas severas.

Assim como noutras partes do Mundo, Portugal está a ressentir-se dos efeitos das alterações climáticas. As regiões portuguesas mais sensíveis a seca estão localizadas no sul do país (Alentejo e Algarve). Estas regiões têm um clima mediterrânico.

O Algarve é uma região com um potencial de construção de barragens baixo devido à sua plana estrutura topográfica. Numa área com mais de cinco mil quilómetros quadrados e enorme população flutuante ao longo do ano existem apenas cinco barragens de dimensão média e uma em construção. Devido a este último facto não é de estranhar que a maioria da água consumida no Algarve têm origem subterrânea.

Quando existe uma seca severa no Algarve a acção de emergência passa pelo aquífero Querença-Silves (o maior e mais importante sistema aquífero do Algarve), fazendo com que a intrusão salina seja um problema potencial.

Uma Gestão Integrada de Recursos Hídricos tem sido apontada como a solução de desastres relacionados com a água, como as secas. De forma a efectuar um estudo de uma forma integrada é necessário ter em conta várias características do caso estudo assim como vários factores, tornando a gestão integrada de recursos hídricos uma solução horizontal dos problemas. Entre os vários estudos a ter em conta os mais importantes são:

- Caracterização pormenorizada da área em estudo;
- Estudo pormenorizado do problema para desenvolvimento de diferentes soluções, podendo estas serem técnicas, legais ou mesmo políticas. A solução escolhida deverá ter em conta diferentes cenários futuros.

Os objectivos principais a serem atingidos numa Gestão Integrada de Recursos Hídricos são a igualdade social, a sustentabilidade ambiental e a eficiência económica. O fim principal de uma gestão integrada é a maximização destes três objectivos.

Em vários países do mundo estão em funcionamento estações de furos para armazenamento subterrâneo e extracção (Aquifer Storage and Recovery- ASR). O objectivo principal desta técnica é a recarga artificial de aquíferos por furos de injeção em períodos de excedentes de água ou baixa necessidade de recursos hídricos de forma a captar, no mesmo furo da injeção, a água guardada em períodos de maior necessidade hídrica (e.g. secas).

Uma gestão integrada de recursos hídricos é necessária para o Algarve. Diferentes técnicas, como a recarga artificial de sistemas aquíferos, podem ser soluções para fazer frente a catástrofes naturais como as secas.

Esta dissertação apresenta-se no âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaterNet (6º Programa Quadro de Investigação da Comissão Europeia). O objectivo global desta Acção de Coordenação é promover a cooperação científica e tecnológica entre Ásia e Europa, na gestão de recursos hídricos. Cinco áreas temáticas são tidas como principais para esta Acção de Coordenação. A contribuição do LNEC-NAS para o ASEMWaterNet faz-se pela liderança da área temática **River Basin Management** e pela participação nas áreas temáticas **Pollution** e **Governance** (cf. http://www.dha.lnec.pt/nas/pdf/ASEMWATERNet_Project_Summary_pt.pdf).

Em relação à área temática, **River Basin Management**, liderada pelo Núcleo de Águas Subterrâneas (NAS) do LNEC seleccionaram-se na primeira reunião certas áreas de estudo. Uma das áreas em estudo é:

“Republic of South Korea 2nd WP1 Basin case-study area for **“Water resources management under extreme drought”**”:

Justification: The hydrological cycle continuously replenishes the water resources and is the foundation of human life. However, kinds of research results show that the hydrological cycle has been changed because of the surface temperature rising, changing precipitation patterns, the evaporation increase and the seasonal variation of streamflow in Republic of Korea. The hydrological cycle changes will more frequently expose us to drought and flood risk. Severe drought tends to occur in almost every five years in Korea. Considering the agricultural damages during drought, it is second to the damages during flood. Anytime the Republic of Korea has undergone difficulty which is related to the scarcity of water.” (Lobo-Ferreira, 2006).

Neste momento a Acção de Coordenação ASEMWaterNet encontra-se no segundo ano (STEP 2- Apresentação de soluções) e como tal apresenta várias tarefas:

“STEP 2 ($t_{0+12} - t_{0+36}$) – Solution

- Task 2.1 Introducing specific recommendations related to the basin scale onto on-going projects, in order to better manage the global water resources, and find solutions through the integration of the different water cycle compartments
- Task 2.2 Supporting contact between projects and facilitating sharing and exchanges of knowledge, experience, data, study areas...
- Task 2.3 Promoting and supporting personal exchanges
- Task 2.4 Organising a session dedicated to the specific topic of the sub-network for the mid-period ASEMWaterNet workshop.
- Task 2.5 Initiating new proposals and enrichments for on-going projects, or occasionally new projects.
- Task 2.6 Insuring top-down (from the facilitating secretariat toward the sub-network community) and bottom-up dissemination of information.
- Task 2.7 Defining a framework to compare and assess the various methodologies, approaches and tools that are or were performed to address issues related to the three sub-priorities defined previously.
- Task 2.8 Using the previous comparison work to build assessment criteria both for ecological and economical sustainability of the proposed solutions. Test of these indicators on a few cases and

projects.

- Task 2.9 Identification of innovation, dissemination (via the ASEM WaterNet website), evaluation of potentialities and support of technological transfer toward SME or industry.” (Lobo-Ferreira, 2006).

Assim, o trabalho apresentado para esta dissertação envolve o cumprimento das tarefas propostas para este segundo ano, no âmbito do tema 2 “Water resources management under extreme drought”.

A estruturação deste trabalho é feita do seguinte modo:

Inicialmente será caracterizada no Capítulo 2 a problemática das secas, como estas podem ser definidas e caracterizadas, quais as suas características principais e qual a relação entre o problema das secas e a sociedade em que vivemos.

No Capítulo 3 são apresentadas várias técnicas de recarga artificial de sistemas aquíferos, assim como os cuidados a ter na sua implementação. Neste capítulo dá-se especial ênfase à técnica de recarga artificial de furos de armazenamento subterrâneo e extracção.

A explicação da envolvimento legislativa do trabalho está presente no Capítulo 4. Neste capítulo é referida a legislação portuguesa que envolve sistemas aquíferos, gestão de recursos hídricos e a recarga artificial de sistemas aquíferos.

O Capítulo 5 tem como objectivo a caracterização do caso em estudo. Inicialmente é feita uma abordagem geral de Portugal, juntamente com uma referência às secas que afligiram o país e de seguida é feita uma caracterização mais detalhada da região do Algarve. Uma grande parte do capítulo é dedicada à caracterização detalhada do sistema aquífero Querença-Silves.

Após as diferentes caracterizações o Capítulo 6 permite verificar a aplicabilidade das técnicas de recarga de sistemas aquíferos ao Querença-Silves como solução para o problema das secas. Esta verificação é feita tendo em conta diferentes análises, tais como a escolha de um local de recarga no caso de estudo, a análise da qualidade e quantidade de água que servirá como origem para a recarga artificial ou a análise do tempo de residência da água no sistema aquífero.

Por fim, é apresentada no Capítulo 7 uma conclusão final sobre a possibilidade da aplicabilidade da solução ao problema apresentado.

2. Caracterização de secas

2.1. Apresentação do fenómeno das secas

Uma seca é uma catástrofe natural com características especiais que a torna bastante diferente de outros desastres.

Desastres naturais como as cheias têm uma acção quase instantânea e os seus impactos também são sentidos de uma forma quase imediata. Por outro lado uma seca tem um período de ocorrência longo sendo difícil avaliar o intervalo de ocorrência desta. Outra característica diz respeito à área afectada pela seca. Enquanto para uma cheia ou um tornado é possível delimitar a área atingida, para uma seca a avaliação da área afectada é de maior complexidade.

Os impactos de uma seca podem ser sentidos de forma directa ou indirecta sendo as mais notadas, por exemplo, um inadequado fornecimento de água às populações, agricultura e indústria ou a disponibilidade de água no solo criando assim uma paisagem seca e sem vegetação. Como exemplos de impactos indirectos duma seca temos o aumento da concentração de poluentes em massas de água, o aumento de fogos florestais, o decréscimo dos níveis piezométricos em aquíferos resultando em intrusão salina, erosão do solo ou a possibilidade de desertificação da área afectada.

Mesmo estando conscientes para estes impactos e dispendo de tecnologia e conhecimento suficiente para os evitar verifica-se que muitas sociedades ainda têm um comportamento passivo em relação às secas, funcionando como uma sociedade vulnerável a secas. Este conceito é apresentado em vários relatórios da organização de *International Strategy for Disaster Reduction* (<http://www.unisdr.org/>) e é ilustrado na Figura 1.

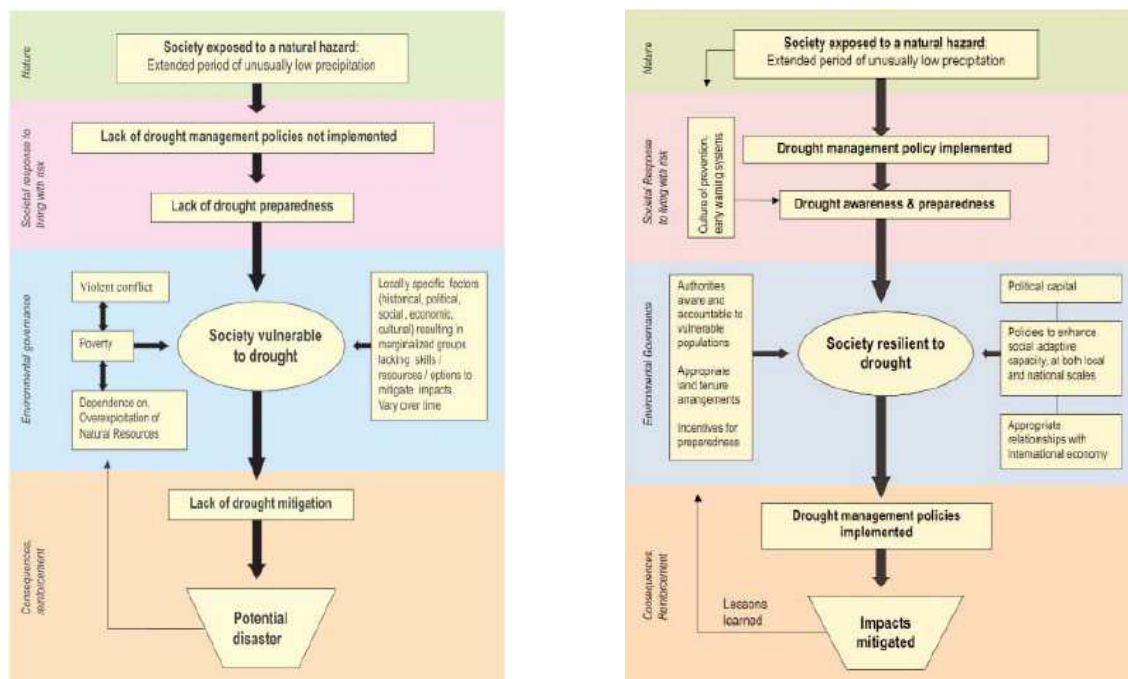


Figura 1- Sociedade Vulnerável a Secas e Sociedade Resiliente a Secas (retirado de <http://www.unisdr.org/>)

A mesma figura apresenta o conceito oposto, ou seja uma sociedade resiliente a secas. Enquanto uma sociedade vulnerável não considera a possibilidade de ocorrência de uma seca e logo não apresenta um plano de risco contra secas, ao invés a sociedade resiliente está devidamente preparada e assim atenua os impactos resultantes da seca.

Relacionado com o conceito de sociedade vulnerável às secas é possível fazer uma analogia com o ciclo hidrológico da água apresentado na Figura 2 como o ciclo “hidro-ilógico da seca”.

A Figura 2 mostra que uma sociedade vulnerável a secas tem um comportamento passivo quando existe disponibilidade de água e logo não adota nenhuma gestão de água adequada para a possibilidade de uma seca. Quando a seca atinge e a sociedade se apercebe, o medo e o pânico é instalado e soluções de emergência pouco viáveis são adoptadas até ao fim de período de seca.

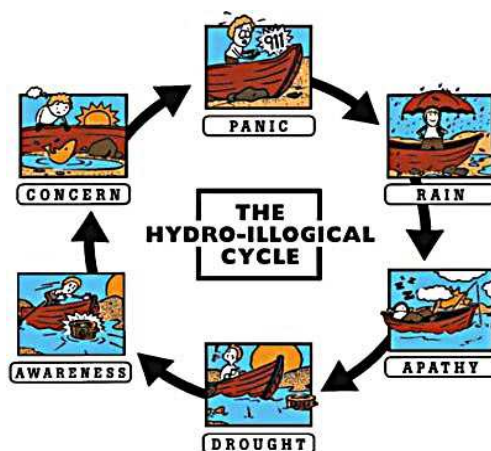


Figura 2- Ciclo “hidro-ilógico da seca” (retirado de <http://www.wmo.ch>)

A caracterização de secas pode ser feita de diferentes modos, no entanto, este relatório irá seguir a linha de estudo portuguesa sobre este tema, com especial ênfase nos trabalhos *On the Stochastic Characterization of Regional Droughts* de Santos, M.A. (1981) e *Caracterização e Monitorização de Secas* de Santos, M.J.J. (1998).

Vulgarmente as secas são definidas como “ausência de precipitação”, no entanto a sua definição é mais complexa do que isso. Inicialmente é necessário ter em conta que não existe uma definição universal para secas pois esta depende não só da especialidade que pretende a definir, ou seja, um meteorologista e um agrónomo não têm a mesma definição de seca, como da posição temporal e geográfica do acontecimento e.g. é comum afirmar que “não existem secas no oceano”. Apesar da complexidade apresentada na sua definição alguns conceitos técnicos e práticos sobre as secas são apresentados neste capítulo.

Rodrigues *et al.* (1993) apresenta uma distinção entre análise pontual de secas e análise regional de secas criando para esse efeito variáveis características da seca regional. Segundo o autor uma análise pontual de secas deverá ser feita quando é considerado um ponto no espaço atingido pela seca e a análise regional de secas deverá ser feita quando é necessário estudar uma área considerável. A análise regional de secas é, apesar de mais complexa, mais importante do ponto de vista de um estudo de engenharia. No entanto, não é possível compreender uma análise regional

sem as bases de uma análise pontual de secas.

Uma forma de caracterização e estudo de uma área afectada por secas é através de índices de seca. Este relatório apresenta três índices que são dos mais utilizados no Mundo e consequentemente em Portugal.

Correia *et al.* (1988) refere que a seca não é apenas um fenómeno físico mas um acontecimento em estreita relação com sistemas naturais e humanos. Assim, este capítulo apresenta a teoria dos sistemas e como esta pode ser aplicada às secas.

2.2. Definição de seca

A seca é um evento natural complexo descrito como indisponibilidade temporária e longa de água numa área considerável com significativos impactos ambientais, sociais e económicos. No entanto não existe uma definição técnica universal.

As duas maiores barreiras à construção de uma definição são o facto de que a seca é um assunto espacial, ou seja, a ideia de “défice de água” depende da região considerada para o estudo (e.g. é relativamente normal haver longos períodos sem precipitação no deserto) e o facto de que a definição de seca depende da especialidade do definidor (e.g. enquanto que para um meteorologista seca refere-se ao défice de precipitação, para um agrónomo a seca diz respeito ao défice de água disponível no solo para a vegetação).

A escassez de água é um problema que pode ser característico duma região. É possível dividir-se escassez de água em quatro tipos (cf. Tabela 1) conforme o período de ocorrência e a influência antropogénica.

Tabela 1- Tipos de escassez de água

Escassez de água	Natural	Antropogénica
Permanente	Aridez	Desertificação
Temporário	Seca	Indisponibilidade de água

Quando uma região está permanentemente com baixa precipitação ao longo dos anos a região é considerada árida, se nada for feito para contrariar esta escassez de água e houver uma gestão inadequada de recursos hídricos essa região pode ser conduzida à desertificação. De acordo com a Tabela 1 é considerado seca o evento natural de escassez de água de uma forma temporária e, se não estiverem implantadas medidas mitigadoras da seca, pode levar a uma indisponibilidade de água na região.

A variável instrumental e o determinante duma seca são dois conceitos, desenvolvidos por Santos (1981), base para o entendimento do evento. Variáveis instrumentais duma seca são medidas físicas que permitem escolher a análise a efectuar a uma seca e.g. precipitação, escoamento, evapotranspiração, água disponível em reservatórios, etc. O determinante duma seca foi definido por Rodrigues *et al.* (1993) como “o fenómeno ou conjunto de fenómenos que se assume determinar ou causar a seca” i.e. é a variável instrumental que determina qual a análise a ser escolhida.

O determinante da seca (i.e. a variável instrumental que determina) permite dividir a seca em três tipos e logo em diferentes análises:

- 1 Seca Meteorológica se o determinante for, por exemplo, a precipitação ou a humidade relativa no ar;
- 2 Seca Agrícola se o determinante for, por exemplo, a humidade no solo ou escoamento superficial;
- 3 Seca Urbana se o determinante for o volume de água disponível em estruturas com o objectivo de armazenar água para consumo humano.

O primeiro tipo de análise é a mais comum e mais referida em estudos de seca, podendo ser dividida em duas, em seca climática caso o determinante seja a precipitação e seca hidrológica caso o determinante seja outro parâmetro do ciclo hidrológico, e.g. escoamento superficial. A utilização de valores de precipitação é a mais usual num estudo de secas visto que a precipitação é uma quantidade fácil de ser analisada, imediatamente disponível e de confiança e ainda devido ao facto de que existe um número muito grande de udómetros espalhados pelo Mundo contando Portugal com mais de 90 estações meteorológicas automáticas do Instituto de Meteorologia português.

Segundo o 2nd *United Nations World Water Development Report* cerca de 70 a 80% da água captada no Mundo tem como objectivo ser usada na agricultura, dessa forma é importante não descartar a seca agrícola num estudo sobre secas.

A seca urbana, também denominada seca sócio-económica, tem em conta apenas um determinante, a disponibilidade de água em estruturas com o objectivo de armazenar água. É necessário efectuar uma análise a uma seca urbana quando o evento natural de falta de água afecta as populações e a sua economia.

Santos (1981) analisa e caracteriza as secas de forma pontual segundo a teoria dos chorrilhos (run theory), um método probabilístico. Segundo esta teoria existe um determinado nível de referência ou nível crítico (e.g. valores médios dos anos) que pode ser constante ao longo do tempo ou uma função em ordem ao tempo. Abaixo desse nível crítico considera-se não estarem satisfeitas as necessidades de água na região

O valor de água em débito para com esse nível é dado pela equação não-negativa 2.1 definindo assim o conceito de Défice no tempo t (Santos *et al.*, 1983).

$$D(t) = \begin{cases} f(t) - X(t) & \text{se } X(t) \leq f(t) \\ 0 & \text{se } X(t) > f(t) \end{cases} \quad \text{Eq. 2.1.}$$

Em 2.1 $D(t)$ é o défice ao longo do tempo t , $f(t)$ representa a função do nível crítico ao longo do tempo t e $X(t)$ o determinante considerado ao longo do tempo t . Segundo Santos *et al.* (1983) uma seca pontual é definida como “o intervalo de tempo durante o qual o determinante encontra-se inferior ao nível crítico” i.e. quando o $D(t)$ é positivo.

Este trabalho reconhece a existência destes conceitos definindo assim a seca como o evento natural caracterizado por valores relativamente baixos de recursos hídricos numa determinada área, estando em estreita relação com sistemas humanos e que depende da realidade em que é estudado.

2.3. Variáveis características das secas

A análise pontual das secas, desenvolvida por Santos (1981) para secas meteorológicas,

envolve a caracterização da função de distribuição, da média e da variância para as variáveis características da seca. Estas variáveis, típicas em qualquer análise baseada na teoria dos chorrilhos, são utilizadas em vários estudos (Santos 1981, Santos *et al.* 1983, Rodrigues *et al.* 1993).

Neste relatório as variáveis características das secas apresentadas são três e estão de acordo com o determinante precipitação. Estas são a duração da seca, o déficit total e a intensidade da seca. A Figura 3 mostra algumas das variáveis características das secas consideradas.

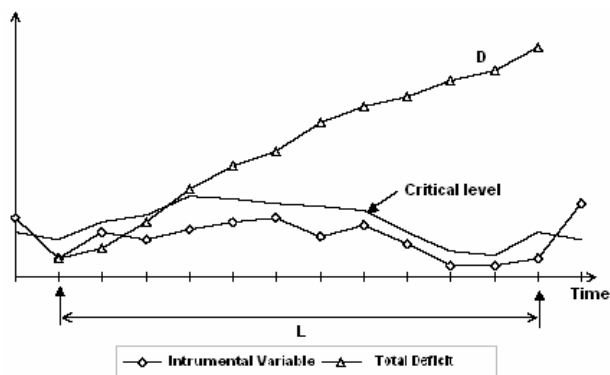


Figura 3 – Algumas variáveis características das secas (retirado de Santos, 1981)

2.3.1. Duração

O tamanho do intervalo de tempo desde o início da seca até ao seu final denomina-se duração da seca (em inglês, length).

A equação que define esta variável característica das secas é a equação 2.2.

$$L = t_f - t_0 + 1 \quad \text{Eq. 2.2.}$$

Onde L corresponde à duração da seca em unidades de tempo, t_f é o último valor de tempo a ser considerado (i.e. o fim) e t_0 o primeiro valor (i.e. o início).

Surge então a questão sobre o início e o fim de uma seca. Herbst *et al.* (1966, em Santos 1998) considerou que a precipitação do mês anterior e do posterior aos limites teóricos de uma seca determina os limites reais da seca, i.e., não é correcto mencionar o início de uma seca logo que os valores sejam inferiores ao nível crítico e analogamente, não é correcto mencionar o fim de uma seca logo após uma grande chuva. Vaz (1993, em Santos 1998) considerou que uma seca tem início depois de um período mínimo de três meses em déficit e que o final depende de um valor acumulado de déficit de referência.

Na Figura 3 está representada a variável característica duração com unidades de tempo [T].

2.3.2. Déficit total

Quando é considerado o somatório das diferenças entre os valores registados e o nível crítico durante a seca obtêm-se a variável característica da seca denominada déficit total (D_T) também denominada Severidade em estudos de secas baseados na teoria dos chorrilhos. Esta variável é obtida pela equação 2.3 e encontra-se igualmente representada na Figura 3. No caso de se

considerar a precipitação como determinante as unidades desta variável são milímetros [L].

$$D = \sum_{t=t_0}^{t_e} [f(t) - X(t)] \quad \text{Eq. 2.3}$$

2.3.3. Intensidade

De forma a comparar-se duas secas com severidades diferentes e/ou durações diferentes é necessário uma variável característica relativa. Para tal existe a variável característica das secas Intensidade obtida pela divisão da severidade pela duração da seca dando assim a equação 2.4.

$$I = \frac{D}{L} \quad \text{Eq. 2.4.}$$

Esta variável característica, se se considerar o determinante precipitação, apresenta como unidades comprimento (normalmente milímetros) por tempo [L.T⁻¹]

2.4. Análise regional de secas

Na introdução do capítulo foi mencionada a importância de se analisar uma seca de uma forma regional e não pontual.

Diferentes metodologias aplicadas para analisar regionalmente uma seca são utilizadas por diversos autores mas como explicado anteriormente este relatório seguiu a linha de estudo portuguesa e logo as definições apresentadas vão de acordo com o trabalho Rodrigues *et al.* (1993).

No caso de uma análise regional as quantidades apresentadas tomam a forma de vectores e logo o determinante de uma seca passa a $X_k(t)$ e o nível crítico a forma $f_k(t)$, em que o k é um número natural de 1 a N, representando a componente espacial da quantidade e N corresponde ao número total de valores acessíveis (e.g. para a precipitação, N corresponde ao número de udómetros da região que se quer considerar). A área afectada por uma seca e seu respectivo défice são obtidos usando um factor de ponderação a_k que representa a percentagem da área efectiva do total da região. Assim a percentagem de área afectada de uma região S no instante t , também denominado por área instantânea em défice, é dada pela equação 2.5.

$$A_s(t) = \sum_{k=1}^N a_k [I_{K(t)}(k)] \quad \text{Eq. 2.5.}$$

Em 2.3 é necessário considerar $K(t)=\{k|X_k(t)<f_k(t)\}$ e $I_k(t)$ como uma função indicadora que poderá tomar valores 1 ou 0 caso a área esteja afectada por seca ou não, respectivamente.

O défice total ponderado de uma determinada região no instante t é dado pela equação 2.6.

$$D(t) = \sum_{k=1}^N a_k [f_k(t) - X_k(t)] [I_{K(t)}(k)] \quad \text{Eq. 2.6.}$$

Rodrigues *et al.* (1993) definiu área crítica, a_c , como a proporção significativa de região da área que deverá servir de referência e ter em conta as características naturais da região. Segundo o mesmo autor uma seca regional ocorre quando a área instantânea em défice é superior ou igual a correspondente área crítica i.e. $A_s(t)=a_c$. Com estas definições diferentes autores apresentam quatro

variáveis características da análise regional de secas.

2.4.1. Duração de uma seca regional

A variável característica da análise regional de secas denominada duração de uma seca regional apresenta as mesmas características que a variável característica pontual de uma seca denominada apenas por duração de uma seca. No caso de uma seca regional é necessário considerar um significado espacial a todos os factores presentes no caso pontual de duração de uma seca e logo na equação 2.2 apresentada anteriormente. Esta variável toma obviamente as unidades de tempo [T].

2.4.2. Área média em défice

Durante a ocorrência de uma seca o valor médio de área exposto é denominado área média em défice, caracterizado pela equação 2.7 e apresenta as unidades de área [L²].

$$A = \frac{1}{L} \sum_{t=t_0}^{t_e} A_s(t) \quad \text{Eq. 2.7.}$$

2.4.3. Déficit total em superfície

A transposição do valor instantâneo para o valor total de défice da superfície é dada pelo somatório dos diferentes défices instantâneos aplicados em cada tempo t na área considerada e logo obtemos para este parâmetro a equação 2.8.

$$D_t = \sum_{t=t_0}^{t_e} D(t) \quad \text{Eq. 2.8.}$$

Este variável característica denominada défice total em superfície tem unidades de comprimento [L], normalmente milímetros [mm].

2.4.4. Intensidade

Com o mesmo objectivo que a variável característica para seca pontual também esta intensidade permite avaliar secas com diferentes durações ou défices totais. No caso de uma análise regional de secas baseada na teoria dos chorrilhos esta variável é denominada de severidade (ao contrário da análise pontual em que a severidade era o défice pontual). Assim, como no caso pontual, a intensidade é obtida pela divisão entre o défice e a duração representada na equação 2.9.

$$I = \frac{D_t}{L} \quad \text{Eq. 2.9.}$$

As unidades desta variável característica, se se considerar a precipitação como determinante, são comprimento (normalmente milímetros) por tempo [L.T⁻¹].

Estas variáveis precisam de ser estudadas de uma forma teórica e logo é necessário obter, a partir dos dados disponíveis, a probabilidade de ocorrência de uma seca e atribuir períodos de

retorno de seca ou ajustar o fenómeno a funções de distribuição de probabilidade (Vaz 1993 em Santos, 1998). A Tabela 2 apresenta a classificação de uma seca, segundo a teoria dos chorrilhos, de acordo com a probabilidade de não exceder o défice total de uma seca.

Tabela 2 – Classificação das secas segundo uma caracterização baseada na teoria dos chorrilhos

Classificação de seca	Probabilidade de não exceder o défice total de uma seca
Suave	< 50 %
Moderada	50 % - 80 %
Séria	80 % - 95%
Extrema	> 95 %

Com os valores observados de diferentes períodos de retorno é possível obter curvas de Severidade-Área-Frequência das secas.

2.5. Índices de seca

Como foi mencionado na introdução deste capítulo diferentes forma de identificação, comparação e logo, análise de secas podem ser utilizadas. A secção anterior foi dedicada à análise de seca regional utilizando a teoria dos chorrilhos, no entanto os índices de seca são formas de análise muito utilizadas em todo o Mundo.

Diferentes índices de seca são utilizados, no entanto, este relatório faz referência a três dos mais utilizados e importantes, Palmer Drought Severity Index (PDSI), Índice Estandarizado de Precipitação (SPI) e Método Empírico dos Deciles.

À semelhança dos índices de seca existem ainda os índices de desertificação que são muito utilizados em todo o mundo. Estes não são desenvolvidos neste relatório visto que não faz parte dos objectivos da dissertação.

2.5.1. Palmer Drought Severity Index (PDSI)

A base de vários índices de seca é o Índice de Palmer cuja a verdadeira denominação é Palmer Drought Severity Index (PDSI). Palmer (1965) apresentou o PDSI como uma medida de severidade de secas de acordo com o défice total de água no solo e a duração naquelas condições.

O cálculo deste índice é feito de acordo com cinco elementos do balanço hidrológico, Evapotranspiração, Precipitação, Escoamento, Infiltração no solo e Outras saídas de água do solo. Os valores médios de temperatura, precipitação total e água disponível no solo são usados para obter os cinco elementos hidrológicos acima apresentados e estes são comparados com os valores de referência da área em estudo. O PDSI tem o grande problema de ser um índice temporal visto que, usualmente, usa os valores médios como valores de referência, valores estes que alteram com o tempo (i.e. com novos dados). O PDSI é, normalmente, aplicado com uma escala temporal de 30 dias.

Uma análise de seca utilizando o índice PDSI apresenta, tal como numa análise usando a

teoria dos chorrilhos, variáveis características de secas. Neste caso as variáveis são: a duração que corresponde à soma de meses que dura uma seca, a severidade da seca que corresponde ao valor de PDSI em cada mês, a intensidade que corresponde ao PDSI médio ao longo de um intervalo tempo (e.g. um ano hidrológico) e a magnitude que corresponde ao valor PDSI correspondente ao intervalo de tempo igual à duração da seca.

Este índice permite a classificar uma área em 11 categorias (cf. Tabela 3), de chuva extrema (PDSI \geq 4) até seca extrema (PDSI \leq -4).

Tabela 3 – Classificação das secas segundo o Índice de Palmer

PDSI	Categoria
$\geq 4,00$	Chuva Extrema
3,99 a 3,00	Chuva Severa
2,99 a 2,00	Chuva Moderada
1,99 a 1,00	Chuva Ligeira
0,99 a 0,50	Chuva Fraca
0,49 a -0,49	Normal
-0,50 a -0,99	Seca Fraca
-1,00 a -1,99	Seca Ligeira
-2,00 a -2,99	Seca Moderada
-3,00 a -3,99	Seca Severa
$\leq -4,00$	Seca Extrema

2.5.2. Índice Estandarizado de Precipitação (SPI)

O índice mais utilizado em Portugal é o Índice Estandarizado de Precipitação, denominado em inglês por Standardized Precipitation Index (SPI), que foi criado por McKee *et al.* (1993). Este índice baseou-se no índice de Palmer e como tem em conta séries mensais longas de precipitação é uma ferramenta simples e poderosa de análise de secas.

Tecnicamente o SPI é a estandarização de valores de precipitação utilizando a divisão entre os desvios dos valores de precipitação com valores médios num período de referência com o desvio padrão do mesmo período de referência. Este índice está desenhado para operar em diferentes escalas temporais, 1, 2, 3, 6, 9, 12... 24 meses. A escolha da escala temporal depende do objectivo do estudo a efectuar, e.g., escalas de menor passo temporal, como o SPI-3 meses, estão relacionados com estudos agrícolas e escalas com maior passo temporal, como o SPI-24 meses, estão relacionados com análises de águas subterrâneas.

O processo de cálculo do índice é descrito por Paulo *et al.* (2003) pelos seguintes quatro passos:

- i) Cálculo, para a escala de temporal escolhida, dos valores cumulativos de precipitação para cada mês (i.e. obtenção de valores de referência);
- ii) Adaptação dos valores cumulativos de precipitação calculados a 12 funções de densidade de probabilidade, uma para cada mês;

iii) Cálculo da probabilidade cumulativa da função de distribuição que correspondem aos valores de precipitação acumulativa observados (i.e. comparação do observado com a referencia);

iv) Cálculo dos valores de SPI pela transformação das probabilidades cumulativas usando uma função de distribuição normal reduzida (i.e. transformação de probabilidades no índice).

Para estes cálculos McKee *et al.* (1993) sugere o uso de uma função de densidade de probabilidade, função gama, com dois parâmetros que envolve um complexo cálculo. No entanto o Centro de Mitigação de Secas da Universidade do Nebraska (*National Drought Mitigation Center, University of Nebraska-Lincoln*) tem disponível *online* um algoritmo informático simples de ser utilizado que se adapta à função gama (<http://www.drought.unl.edu>).

O índice SPI permite caracterizar uma determinada zona de acordo com nove categorias de severidade desde chuva extrema ($SPI \geq 2$) até seca extrema ($SPI \leq -2$) presente na Tabela 4.

Tabela 4– Classificação das secas segundo o Índice Estandarizado de Precipitação

SPI	$\geq 2,00$	1,50 a 1,99	1,00 a 1,49	0,50 a 0,99	0,49 a -0,49	-0,50 a -0,99	-1,00 a -1,49	-1,50 a -1,99	$\leq -2,00$
Categoria	Chuva extrema	Chuva severa	Chuva moderada	Chuva fraca	Normal	Seca fraca	Seca moderada	Seca severa	Seca extrema

Segundo o estudo de secas com utilização do SPI há ocorrência de seca quando o valor do índice for negativo mas confirma-se a seca quando o SPI for inferior a menos um.

As variáveis características de seca tendo em conta estudos com base no SPI são a duração da seca, que corresponde ao intervalo de meses em que existe ocorrência de seca, a magnitude que corresponde ao somatório de toda a severidade durante todo o intervalo da seca e a intensidade que é a divisão entre a magnitude e a duração.

2.5.3. Método Empírico dos Deciles

O Instituto Nacional de Meteorologia Português utiliza como índice de seca o método empírico dos deciles desenvolvido por Gibbs e Maher (1976, em <http://www.drought.unl.edu>). Esta técnica é simples e é baseada na probabilidade da distribuição de ocorrência de precipitação num período longo.

O método consiste na divisão da ocorrência da precipitação em dez percentis (deciles) usando o histórico de valores de precipitação. Sempre que o valor de precipitação observada é inferior a 90% dos anos do período de referência considera-se que a região está no primeiro decil e em condições de seca extrema. Está no segundo decil (Seca severa) se tiver valores entre os 80% e os 90% dos anos, em condições secas se passar os 70% e em condições normais se a precipitação observada se encontrar entre os 70% e os 40% dos anos de referência (Santos, 1998).

2.6. Modelos de distribuição de secas regionais

A utilização de modelos de distribuição permite analisar de que forma uma seca pode evoluir futuramente ou como uma região reage ao evento.

Diferentes modelos são utilizados para analisar uma seca, no entanto, todos utilizam a mesma base de cálculo. Inicialmente a seca é estudada apenas numa área específica (a área mais

afectada) e de seguida é feita uma análise às áreas adjacentes.

O modelo de distribuição de secas regionais apresentado neste relatório é o utilizado por Santos (1998) e descrito em esquema na Figura 4.

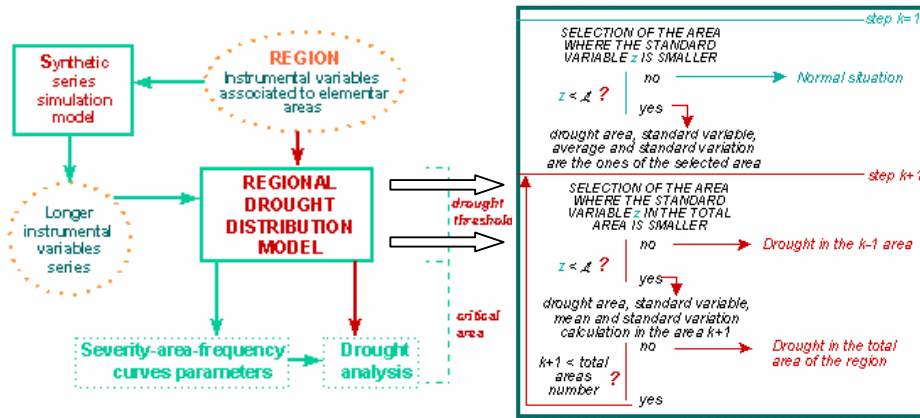


Figura 4 – Esquema do modelo de distribuição de secas regionais (retirado de Santos, 1998)

Os passos seguidos por este modelo são os seguintes:

- i) Análise das características da área primária durante a seca;
- ii) Simulação de séries longas do determinante de acordo com o modelo de simulação de séries sintéticas;
- iii) Determinação de Curvas de Severidade-Área-Frequência para as séries simuladas;
- iv) Análise dos valores de severidade observados durante o tempo da seca pela comparação com as Curvas de Severidade-Área-Frequência e a determinação do período de retorno associado.

O modelo apresentado na Figura 4 está de acordo com uma distribuição normal de variáveis transformadas, com a correlação espacial e com o critério de escolhas das áreas adjacentes. O símbolo L significa o nível crítico (conceito já apresentado anteriormente).

O desenvolvimento mais aprofundado dos modelos de distribuição de secas regionais não se enquadra nos objectivos deste relatório.

2.7. Teoria de sistemas aplicada a secas

Como foi referido anteriormente, a seca é um evento natural que se encontra em relação directa com sistemas humanos e logo é possível avaliar uma sociedade como estando mais ou menos em risco para com as secas.

Esta secção do relatório é dedicada à verificação de como a teoria dos sistemas pode ser aplicada à relação da seca com os seres humanos. Para tal, define-se sistema como o grupo de partes individuais (podendo ser pessoas individuais) que interajam entre si e que podem ser influenciados por um evento exterior (e.g. secas).

2.7.1. Vulnerabilidade

A indisponibilidade de precipitação é um evento quase impossível de controlar mas certos

factores sociais, como a gestão de recursos hídricos ou o número de habitantes, podem colocar uma sociedade mais ou menos vulnerável a secas.

Com o conceito de Sociedade Vulnerável, explicado na introdução do capítulo, verifica-se que é necessário ter em conta que o ser humano tem de estar preparado para a possibilidade de desastres naturais. Sociedades melhor preparadas são menos vulneráveis e os impactos de um possível desastre natural são minimizados, por outro lado uma sociedade que está menos preparada é mais vulnerável e quando o desastre natural acontece as consequências são maiores.

A vulnerabilidade é uma característica dinâmica e que depende das características da região tendo estas de ser constantemente monitorizadas. As características da região podem ser, mais ou menos, alteradas pelo homem e logo alterando a vulnerabilidade da região (e.g. o tempo de permanência de água numa região é aumentado com a construção de barragens).

2.7.2. Risco e Fiabilidade

O produto da probabilidade de ocorrência de um desastre natural numa região com a vulnerabilidade da sociedade da região para o desastre permite obter o risco da sociedade à adversidade (cf. equação 2.10).

$$\text{PROB. EXPOSIÇÃO AO EVENTO} * \text{VULNERABILIDADE} = \text{RISCO} \quad \text{Eq. 2.10}$$

Com esta definição de risco é possível verificar que duas sociedades atingidas de forma igual por um evento (e.g. uma seca extrema) podem reagir de formas diferentes conforme a sua vulnerabilidade ao evento. O oposto também é possível acontecer, ou seja, duas sociedades com vulnerabilidades iguais podem ter um risco ao desastre diferente. Um bom exemplo de sociedade com alta exposição a um desastre mas com um risco não muito elevado é o Japão. O Japão é um país que é constantemente atacado por sismos mas a sociedade está bastante bem preparada para esse evento e, por isso, o risco da sociedade japonesa aos sismos não é muito alto.

Visto que a exposição ao evento não é um factor controlável, uma sociedade tem de diminuir a sua vulnerabilidade ao evento de forma a diminuir o seu risco a esse evento.

No caso das secas semelhante pensamento deverá ser seguido. A seca pode ocorrer em qualquer altura e não há forma de a evitar. No entanto se todas as medidas forem tomadas para fazer face ao acontecimento, como por exemplo a criação de um plano de risco de seca, a sociedade é menos vulnerável e logo os impactos da seca são minimizados.

A Figura 5 mostra o ciclo da análise de risco, onde é possível se verificar que o estudo do risco envolve três passos essenciais: resposta, recuperação e preparação.

Os três passos essenciais de uma análise de risco estão interligados num ciclo que pode ser descrito da seguinte forma: (1) uma sociedade deverá estar preparada para a possibilidade de ocorrência de um evento (preparação), (2) quando o desastre acontece a sociedade terá de responder para minimizar os impactos (resposta), (3) depois do evento a sociedade recupera (recuperação) e dá início a nova e melhor preparação para a possibilidade da ocorrência do acontecimento. Como é fácil de verificar uma melhor preparação leva a uma melhor resposta e consequentemente a uma melhor recuperação.

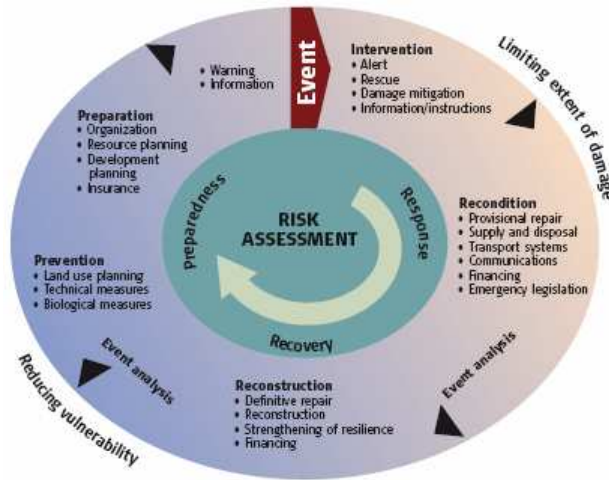


Figura 5 - Ciclo da análise de risco (retirado de <http://www.unisdr.org/>)

Em oposição ao risco existe a fiabilidade. Quando mais fiável for uma sociedade a um desastre, menor é o risco desta ao mesmo desastre e vice-versa. De acordo com Correia *et al.* (1988) o risco de um sistema é a probabilidade de este se encontrar em estado insatisfatório sendo a fiabilidade a sua probabilidade complementar. Se U representar todos os estados possíveis insatisfatórios e S representar todos os estados possíveis satisfatórios então, segundo a equação 2.11 o α representa a fiabilidade do sistema e β o risco do sistema (Correia *et al.*, 1988).

$$\begin{aligned}\alpha &= \text{Pr ob}[X(t) \in S] \\ \beta &= \text{Pr ob}[X(t) \in U] \\ \alpha + \beta &= 1\end{aligned}\quad \text{Eq. 2.11.}$$

2.7.3. Resiliência

A medida que corresponde ao tempo de recuperação de um sistema depois de um desastre (e.g. seca) denomina-se resiliência do sistema.

Como verificado anteriormente sociedades com um plano de risco implementado tem uma maior capacidade de recuperação após o evento e logo têm maior resiliência.

No caso das secas verifica-se que quando esta termina os sistemas atingidos pela seca não recuperam automaticamente as suas condições naturais, é necessário um excesso de água para compensar o défice criado pela seca (cf. equação 2.12). O nível necessário atingir para que o sistema esteja recuperado da seca é denominado por Correia *et al.* (1988) como nível de recuperação. O nível de recuperação pode ser igual ao nível crítico mas numa visão mais realística o valor de recuperação têm que ser superior ao nível crítico.

$$e(t) = \begin{cases} X(t) - r(t) & \text{if } r(t) \leq X(t) \\ 0 & \text{if } r(t) > X(t) \end{cases}\quad \text{Eq. 2.12.}$$

Na equação 2.12, $e(t)$ corresponde ao excesso de água necessário para se dar a recuperação após a seca, $X(t)$ o estado do sistema no instante t e $r(t)$ o nível de recuperação.

Taxa de recuperação é a designação dada pelo mesmo autor à fracção do défice total em

superfície de seca que necessita de ser compensado.

O tempo de recuperação de um sistema pode ser estudado estatisticamente e é calculado pela equação 2.12 onde $E(t)$ é o somatório de todo o excesso de água desde o fim da seca (t_e) até ao tempo t , D é o total défice da seca e α_r é a taxa de recuperação.

$$tr = \min \left\{ (t - t_e) : \frac{E(t)}{D} \geq \alpha_r \right\} \quad \text{Eq. 2.13.}$$

A taxa de recuperação de um sistema não depende exclusivamente das características da seca que affligiu o sistema mas também da vulnerabilidade do sistema para a seca e da sua capacidade de recuperação (factos já explicados anteriormente).

2.8. Monitorização de Secas

Com o propósito de se saber em cada instante a gravidade da situação durante uma seca é necessário haver análises regulares baseadas num sistema de informação de recursos hídricos i.e. uma constante monitorização dos recursos hídricos.

A monitorização constante deverá sempre estar disponível, mesmo em condições normais, de forma a se poder determinar se a região se encontra em situação normal ou não. Em ligação directa com o plano de gestão de risco verifica-se que a análise constante dos recursos hídricos permite às autoridades reagir prontamente ao início de uma seca.

No mundo a utilização de métodos de monitorização é variada. Em Portugal a monitorização dos recursos hídricos é feita pelo Instituto da Água (INAG) com a apresentação dos dados quase imediata e disponível para o público em geral através do site do Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos - SNIRH (<http://snirh.inag.pt>).

De acordo com Santos (1998) a avaliação da magnitude de uma seca é feita pela análise da precipitação acumulada em quatro períodos do ano hidrológico (desde o início de Outubro até ao final de Setembro). O método usado pelo INAG para monitorizar as secas divide o ano hidrológico como se apresenta na Figura 6. Os quatro períodos são: de Outubro a Janeiro, de Outubro a Março, de Outubro a Maio e de Outubro a Setembro (o ano hidrológico todo).

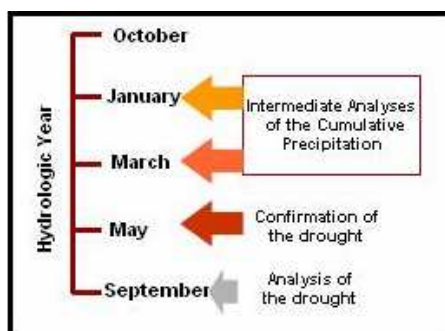


Figura 6 – Método de monitorização de secas segundo o INAG (retirado de Santos, 1998)

A confirmação de uma seca é feita no fim do terceiro período (ao oitavo mês) e os valores de referência são os valores médios de 1940 a 1997.

3. Técnicas de prevenção de impactos de secas numa gestão integrada de recursos hídricos

3.1. Apresentação de métodos de recarga artificial numa gestão integrada de recursos hídricos

O conceito de gestão integrada de recursos hídricos não é novo e é considerado o melhor método de resolução de problemas relacionados com recursos hídricos, no entanto a sua implementação continua a ser difícil em vários países.

O conceito “Integrado” significa que a gestão dos recursos hídricos deverá ser considerada de uma forma horizontal (i.e. análise multi-disciplinar) considerando assim todos os aspectos relacionados com um determinado caso de estudo. A gestão de recursos hídricos não pode ser feita apenas considerando factores económicos mas deve também incorporar os ambientais, sociais, institucionais e outros. Uma gestão integrada de recursos hídricos pode realizar-se utilizando diferentes soluções, podendo estas ser soluções técnicas, políticas ou de outro cariz.

Esta coordenação das diferentes áreas tem como propósito maximizar os três objectivos principais de uma gestão integrada de recursos hídricos: sustentabilidade ambiental, eficiência económica e igualdade social.

Diferentes técnicas são usadas como solução de problemas de recursos hídricos de uma forma integrada. Uma das técnicas mais utilizadas é a recarga artificial de sistemas aquíferos que envolve o aumento da recarga de um aquífero e a sua utilização como reservatório natural.

Estações elaboradas de recarga artificial são os furos de armazenamento subterrâneo e extracção (Aquifer Storage and Recovery- ASR) usadas em várias partes do Mundo. (cf. Figura 7)

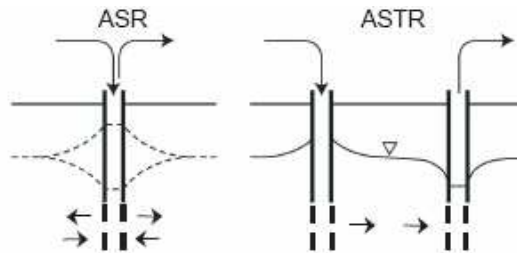


Figura 7- Furos de armazenamento subterrâneo e extracção (ASR) e furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (ASTR) (retirado de Dillon et al., 2006)

Uma estação de furos de armazenamento subterrâneo e extracção envolve a recarga artificial de um sistema aquífero por injeção directa de forma a armazenar água para uma posterior captação, envolvendo o mesmo furo que foi utilizado para a recarga. Existe uma variância a esta técnica que são os furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (Aquifer Storage Transfer and Recovery - ASTR) em que os furos de injeção e os furos de captação estão separados, acrescentando assim um tempo de transporte subterrâneo da água. A diferença entre estas duas técnicas está explícita na Figura 7.

Este capítulo é dedicado à explicação das técnicas de recarga artificial de aquíferos (funcionamento, características e atenções necessárias) como uma alternativa integrada para reduzir

a vulnerabilidade de uma zona às secas. É dada ênfase às estações de furos de armazenamento subterrâneo e extracção com uma secção deste capítulo dedicada a essa técnica.

As vantagens da utilização de sistemas aquíferos como reservatórios naturais em relação às tradicionais barragens são várias (e muitas outras poderiam ser apontadas):

- Estando a água armazenada subterraneamente evita-se a perda de terrenos superficialmente, como acontece em grande escala com as barragens;
- O armazenamento subterrâneo evita a perda de água por evaporação;
- O controlo da entrada de poluentes para a água subterrânea é mais fácil que o controlo para a água superficial de uma barragem;
- A recarga artificial é mais económica do que a construção de uma barragem.

3.2. Funcionamento de técnicas de recarga artificial de sistemas aquíferos

Com o propósito de aumentar a quantidade de água disponível num sistema aquífero e/ou melhorar a qualidade da água subterrânea podem ser usadas diferentes técnicas de recarga artificial.

Os métodos podem ser directos se a recarga for feita directamente na zona saturada do aquífero ou indirectos se se inserir água na zona não saturada e for necessária infiltração profunda desta. Com a recarga directa maior volume de água é recarregada em menos tempo (i.e. maior taxa de recarga) no entanto a recarga artificial indirecta permite a filtração da água pela zona não saturada antes da entrada no sistema aquífero.

Diamantino (2005) dividiu as técnicas de recarga artificial em métodos superficiais (ou em superfície) e métodos em profundidade.

Os métodos em superfície são técnicas de recarga artificial indirectas onde o objectivo é a maximização da infiltração de um terreno de forma a aumentar a recarga de um aquífero. Estes métodos podem ser efectuados no leito de um rio (ou ribeiro) ou fora do leito do rio, sendo a técnica de bacias de infiltração a mais conhecida e utilizada.

Os métodos em profundidade também se dividem em dois tipos, em profundidade na zona não saturada e em profundidade na zona saturada (únicos métodos directos). Para os métodos em profundidade na zona não saturada é necessário ter em conta um tempo de percolação da água e logo é considerado um método indirecto de recarga artificial de aquíferos. Dos métodos em profundidade uma técnica utilizada é a injeção em furos.

Um aspecto importante a ter em conta na recarga artificial de aquíferos é a qualidade da água a recarregar, especialmente a concentração de sólidos suspensos totais.

3.2.1. Recarga artificial com bacias

A técnica de recarga artificial de aquíferos mais conhecida e usada é a utilização de bacias de infiltração, um método à superfície e que pode ser aplicado no leito de um rio (ou ribeiro) ou fora deste.

O princípio básico desta técnica é a descarga de água em bacias de infiltração apropriadamente escavadas no solo (Kumar e Fall 1997 em Diamantino, 2005). A dimensão das bacias depende de diferentes factores sendo a topografia da região o mais influente. A Figura 8

mostra um esquema das bacias de infiltração aplicadas na componente portuguesa do projecto GABARDINE-” Groundwater artificial recharge based on alternative sources of water: advanced integrated technologies and management”. A componente portuguesa está a ser aplicada no aquífero da Campina de Faro, sendo que a Figura 8 mostra bacias de infiltração aplicadas no leito do Rio Seco.

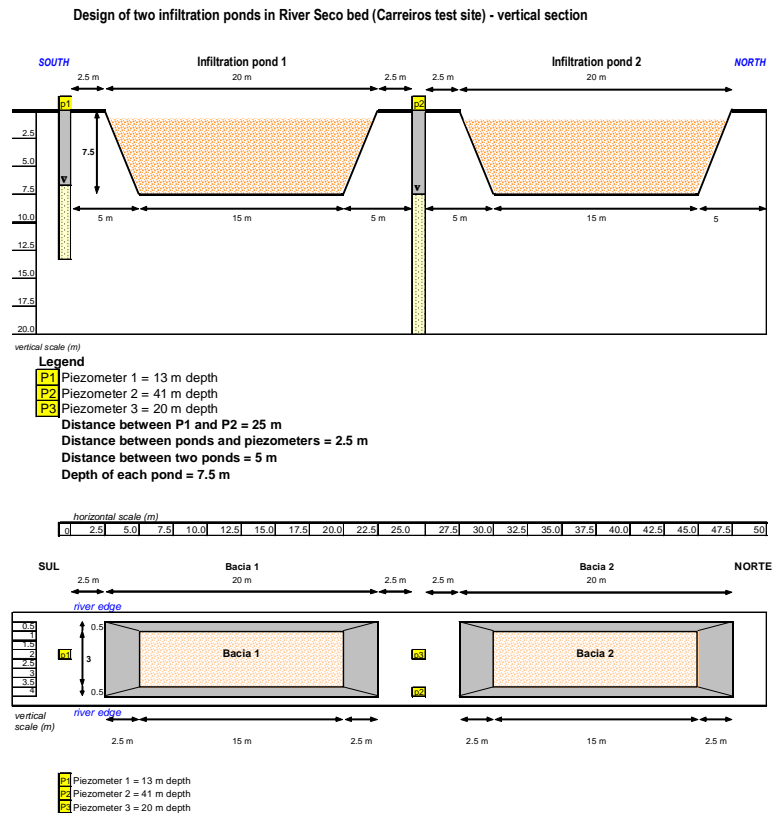


Figura 8- Esquema de bacias de infiltração aplicadas no leito do Rio Seco (Algarve) (retirado de Diamantino *et al.*, 2007)

Para a aplicabilidade desta técnica diferentes aspectos deverão ser tidos em conta, como por exemplo as características da área mais superficial, a capacidade de infiltração da zona não saturada, a ausência de zonas poluídas na zona não saturada ou a manutenção de um bom nível de água sob a bacia (Diamantino, 2005).

De acordo com Bower (2002 em Diamantino, 2005) a média de recarga nesta técnica é de 30 m/ano em solos de textura fina e de cerca de 500 m/ano para areias grosseiras limpas. A componente portuguesa do projecto GABARDINE obteve valores de 150 m³/dia (~55 dam³/ano) nas bacias de infiltração do Rio Seco (Lobo-Ferreira *et al.*, 2007), bacias com 100 m² de área.

Como mencionado anteriormente a concentração de sólidos suspensos totais na água de recarga é um parâmetro importante a considerar. Uma grande concentração de sólidos suspensos pode levar à obstrução das bacias impedindo a entrada da água sendo assim necessária uma constante limpeza da superfície das bacias. Problemas de obstrução podem ser igualmente causados devido à actividade microbológica ou de algas (Kumar and Fall 1997 em Diamantino, 2005). Mesmo com um pré-tratamento da água de recarga a obstrução das bacias pode ser um problema

(especialmente em solos de textura fina), no entanto existem algumas práticas que permitem minimizar esse problema. A mais utilizada é a colocação à superfície de uma fina camada de areias de dimensão média, prática esta que deverá ser igualmente utilizada em zonas altamente fracturadas de forma a impedir a entrada de impurezas ou sólidos suspensos para níveis mais profundos e inalcançáveis podendo levar a problemas de obstrução irreversíveis (Diamantino, 2005).

3.2.2. Técnicas de recarga artificial em profundidade

Os métodos de recarga artificial de aquíferos em profundidade necessitam obrigatoriamente da utilização de furos ou poços e, na maioria dos casos, utilização de bombas. Assim, estas técnicas são, maioritariamente, mais dispendiosas que as técnicas de recarga artificial à superfície.

Como referido anteriormente, estes métodos podem ser divididos em dois tipos, recarga artificial de aquíferos em profundidade na zona saturada e recarga artificial de aquíferos em profundidade na zona não saturada. Esta última é utilizada quando existe uma necessidade de limpeza da água recarregada antes de atingir o aquífero utilizando para esse fim a zona vadosa como filtro natural ou ainda quando a distância desde a superfície até zona saturada é demasiada extensa para se efectuar uma recarga directa.

A técnica de recarga artificial em profundidade mais comum é através de furos de injeção. Este método tem como larga vantagem permitir grandes taxas de recarga e como grande desvantagem a parte financeira visto que é necessário a escavação de furos e a utilização de bombas, com toda a manutenção que lhe é inerente.

A componente portuguesa do projecto GABARDINE encontrou uma alternativa à construção de furos pela utilização das tradicionais noras algarvias (poços de grande diâmetro - 20m² de área), que existem em grande quantidade na região e várias que estão abandonadas. Este estudo obteve valores de recarga de cerca de 480 m³/dia por “nora” (~175 dam³/ano).

Deve haver uma preocupação acrescida da qualidade da água injectada em recarga artificial em profundidade comparativamente com a recarga em superfície. Uma contaminação indesejada ou uma obstrução (devido a sólidos suspensos) em profundidade são situações complicadas de resolver. Para além do facto que a recarga em profundidade envolve menor “filtração” natural.

3.3. Furos de armazenamento subterrâneo e extracção (Aquifer Storage and Recovery - ASR) e furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (Aquifer Storage Transfer and Recovery - ASTR)

3.3.1. Apresentação da técnica

De forma a obter-se uma melhor eficiência económica foram criadas complexos de furos de armazenamentos subterrâneo e extracção, denominados em inglês por Aquifer Storage and Recovery (ASR). A Figura 9 apresenta um esquema tipo de uma estação de furos de armazenamento subterrâneo e extracção e das suas componentes.

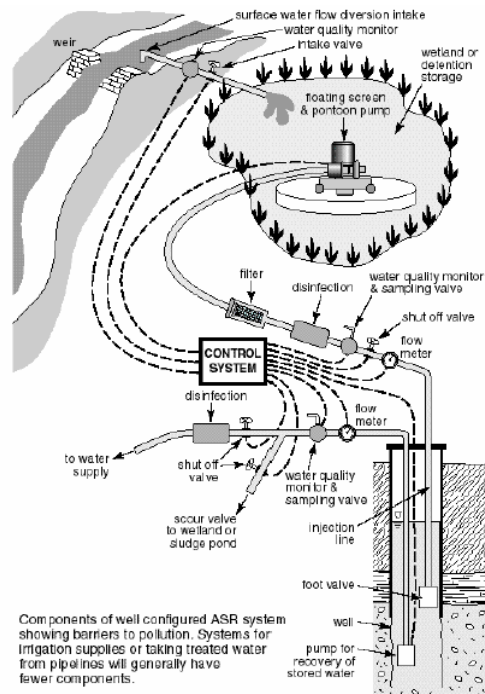


Figura 9 - Esquema e componentes de uma estação de furos de armazenamento subterrâneo e extracção (retirado de Dillon *et al.*, 2006)

Pyne (1995) definiu as estações de furos de armazenamento subterrâneo e extracção como “o armazenamento de água num aquífero adequado através de furos em alturas em que os recursos hídricos estão disponíveis, e extracção da água dos mesmos furos em alturas que há necessidade maior de recursos hídricos” i.e. quando existe uma necessidade menor ou disponibilidade maior de recursos hídricos efectua-se injeccção de água, em furos adequados, num sistema aquífero apropriado de forma a água ficar armazenada no aquífero para quando existir uma maior necessidade ou inferior disponibilidade de recursos hídricos (e.g. secas) esta água ser recuperada/extraída dos mesmos furos.

Esta técnica evita a construção de furos, instalações ou estações de tratamento extras (i.e. a mesma estação de tratamento pode ser utilizada para tratar a água antes de ser injectada durante o período de injeccção e ser utilizada para tratar a água extraída dos furos durante o período de recuperação da água do aquífero) existindo assim um aumento da eficiência económica (Pyne, 1995).

Bower (1996 em Diamantino, 2005) referiu que a estações de tratamento de água neste tipo de sistemas estão dimensionadas para uma capacidade média anual.

Uma alternativa aos furos de armazenamento subterrâneo e extracção são os furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção, denominados em inglês por Aquifer Storage, Transfer and Recovery (ASTR). Esta técnica envolve furos separados (os de injeccção e os de extracção) dispostos de uma forma apropriada e dentro das mesmas instalações. Esta técnica apesar de ser economicamente desfavorável devido à construção de furos extra tem a vantagem de envolver um tempo de transporte da água no aquífero. A Figura 7, apresentada na introdução deste capítulo, mostra as diferenças entre as duas técnicas de furos de armazenamento.

As estações de furos de armazenamento subterrâneo e extracção são usadas em muitas

partes do Mundo havendo dois países com elevado conhecimento na matéria, os Estados Unidos da América e a Austrália. Este último tem esta técnica bastante desenvolvida contando no seu país com mais de 300 furos com este fim, com uma legislação específica para esta técnica e com um guia técnico de furos de armazenamento subterrâneo e extracção e furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (Dillon *et al.*, 2006).

De acordo com o guia australiano para ASR e ASTR (Dillon *et al.*, 2006) um sistema de furos de armazenamento subterrâneo e extracção necessita de ter, no mínimo, os seguintes componentes:

- Um canal de transporte de água desde a origem de água até à estação;
- Várias estruturas de controlo e monitorização;
- Um tanque ou bacia de retenção para armazenar água após a sua extracção;
- Zonas húmidas ou bacias de retenção para armazenar a água que será injectada;
- Algum tipo de tratamento de água;
- Uma válvula ou sistema de anti-cavitação.

As componentes de uma estação de furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção são semelhantes mas há a particularidade da diferenciação dos furos e logo os sistemas de controlo e monitorização adaptam-se a essa realidade. Estas componentes estão representadas na Figura 10.

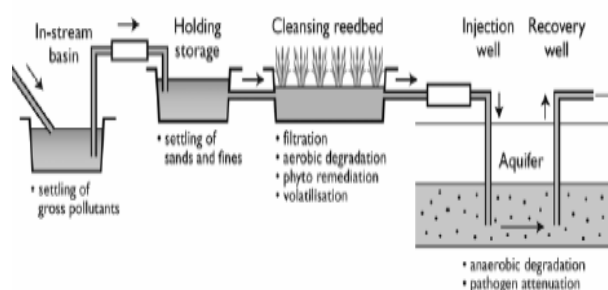


Figura 10 – Esquema dos componentes básicos de uma estação de furos de armazenamento subterrâneo, transporte e extracção (retirado de Dillon *et al.*, 2006)

Dillon *et al.* (2006) refere que a selecção do local para este tipo de técnica depende essencialmente de quatro critérios:

1. Uma região com uma necessidade de água com a qualidade idêntica aquela que pode ser recuperada;
2. Um bom acesso a adequadas origens da água para o armazenamento;
3. Área suficiente para a construção de bacias de retenção ou zonas húmidas e estações de tratamento de água;
4. Um aquífero com capacidade de armazenamento aceitável e outras características que o colocam em boas condições para a aplicação da técnica (e.g. boa taxa de recarga).

O guia australiano para ASR e ASTR (Dillon *et al.*, 2006) aconselha vários princípios básicos necessários para uma melhor prática deste tipo de técnica sendo os mais importantes: a adopção de uma abordagem de gestão de risco, a prevenção de danos irreparáveis, a aprendizagem contínua e a adopção uma abordagem cautelosa.

A secção seguinte é dedicada à caracterização de barreiras necessárias para evitar a

poluição e o dano do aquífero com a utilização desta técnica numa abordagem de gestão de risco, de acordo com o guia Australiano para ASR e ASTR (Dillon *et al.*, 2006). Esta abordagem de protecção do sistema aquífero pode ser utilizada para as outras técnicas de recarga artificial.

3.3.2. Plano de gestão de risco e definição de barreiras contra poluentes e danos de um aquífero

Assim como em qualquer outra estrutura humana que influencia a saúde ou bem-estar humano e o ambiente também os sistemas de furos de armazenamento subterrâneo e extracção deverão ter implementado um plano de gestão de risco.

Um bom plano de gestão de risco previne os impactos indesejados dos acidentes. No caso da recarga artificial o objectivo principal de um plano de gestão de risco é proteger a qualidade do sistema aquífero e consequentemente, proteger os utilizadores do aquífero.

Um exemplo de definição de barreiras contra poluentes e danos de um aquífero num plano de gestão de risco para sistemas de furos de armazenamento subterrâneo e extracção é o apresentado no guia australiano para ASR e ASTR (Dillon *et al.*, 2006), que é possível ver-se na Figura 11.

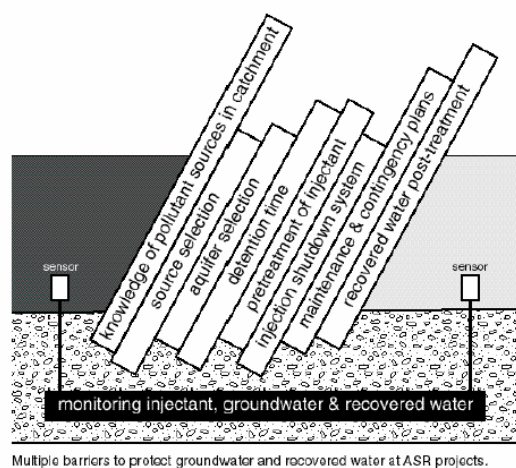


Figura 11 - Barreiras contra poluentes e danos de um aquífero (retirado de Dillon *et al.*, 2006)

O guia australiano identifica, essencialmente, oito barreiras contra poluentes e danos de um aquífero mas muitos mais podem ser considerados de forma a melhorar a protecção do sistema aquífero. As oito barreiras são:

- Conhecimento de origens de poluentes na área

Uma análise prévia de possíveis origens de poluentes na área deverá ser feita de forma a se controlar a qualidade da origem da água ao longo do tempo e identificar o risco de poluição do aquífero. Exemplos de origens de poluentes são os fertilizantes da agricultura;

- Selecção da origem de água

Uma boa escolha da origem da água para ser recarregada conduz a uma melhor protecção tanto do sistema aquífero como da própria origem.

A acção de movimentar água de uma massa de água para outra deve ter em consideração que a diminuição de volume de água na origem não irá ter consequências.

Também a qualidade da água de origem deverá ser analisada visto que uma água com pior qualidade necessita de melhor tratamento antes de ser injectada. Por preferência é escolhida como origem de água para ser recarregada as massas de água com inferior potencial à entrada de poluente (e.g. massas de água perto de cidades não são bons candidatos a origem de água).

Outro factor a ter em conta na selecção da origem da água é a sua distância à área de recarga. Quanto maior a distância mais dispendiosa fica a aplicação da técnica e envolve maior impacto paisagístico;

- Selecção do aquífero

A escolha do aquífero para aplicação desta técnica deverá ter em conta as características naturais do aquífero e o objectivo da água recuperada.

Este ponto é analisado mais ao pormenor na secção 3.3.3.

- Tempo de retenção

Uma bacia de retenção ou uma zona húmida artificial a montante da injeção garante o tempo necessário para se proceder à injeção. Esta estrutura é especialmente importante em sistemas que utilizam como origem as águas sazonais de tempestades. Esta bacia serve igualmente de retenção a poluentes em caso de descarga accidental na origem de água.

O tempo de retenção da água no aquífero é também de importância visto que um extenso intervalo de tempo entre a injeção e extracção (e.g. utilização do ASR como precaução para secas) necessita de um alto tempo de retenção de água no aquífero que depende das suas características.

- Tratamento da água a recarregar

Como foi mencionado no início do capítulo o tratamento da água a recarregar é de bastante importância numa técnica de recarga artificial de aquíferos.

Um correcto tratamento da água a recarregar evita a obstrução dos furos de injeção e a inserção de substâncias não desejadas no sistema aquífero. O sistema aquífero apresenta as suas próprias características físico-químicas e a inserção de certas substâncias pode resultar em reacções não desejadas. Este problema também pode ocorrer com substâncias resultantes do tratamento (e.g. desinfecção química).

Brown *et al.* (2006) analisou 50 estações de ASR e concluiu que o problema de obstrução dos furos é ainda o maior problema das estações, seguido pela qualidade da água no aquífero, especialmente o problema de reacções químicas não desejadas;

- Sistema de recarga

O sistema de recarga deverá estar sobre constante controlo e deverá ter incorporado um sistema de paragem imediata. Este sistema deverá permitir que a recarga seja cessada de imediato em caso de entrada accidental de poluentes na origem de água;

- Planos de monitorização e manutenção

A manutenção e monitorização deverão ser acções constantes em todos os componentes deste tipo de sistema de forma a prevenir os danos e poluição inesperados. Como referido no guia australiano para ASR e ASTR (Dillon *et al.*, 2006) o custo necessário para remediar um único poluente pode ultrapassar o de manter um sistema em boas condições;

- Tratamento da água extraída

A qualidade da água extraída deverá estar de acordo com os objectivos estipulados para a estação de furos de armazenamento subterrâneo e extracção, i.e., a qualidade desejada pelo receptores da água extraída deverão ser os objectivos qualitativos desta. Por exemplo, caso a água recuperada tenha como fim ser utilizada na agricultura, então o tratamento dado à água extraída deverá ter em conta a ausência de certas substâncias que poderão danificar as plantas. Se a água extraída tiver como objectivo servir de água para consumo a uma população então o tratamento dado à água extraído deverá estar de acordo a esse fim.

3.3.3. Selecção do aquífero

A recarga artificial é usada em várias partes do Mundo em aquíferos com características muito diversas. É importante ter em conta que uma adequada selecção do aquífero leva a uma mais correcta e eficiente utilização das técnicas.

Como referido anteriormente, Brown *et al.* (2006) efectuaram uma revisão a 50 estações de furos de armazenamento e extracção. Do total estudado os autores verificaram que: 20 aquíferos eram de água não salobra e 30 de água salobra e que a maioria tinha como propósito principal garantir necessidades sazonais ou de pico mas outros propósitos também existem, e.g. a garantia de abastecimento de água em emergências (e.g. secas) ou o melhoramento da qualidade da água.

De uma forma geral a aplicação de sistemas de furos de armazenamento subterrâneo é preferencial em aquíferos confinados visto que a qualidade da água subterrânea é mais facilmente assegurada, o tempo de residência no aquífero é maior e são evitadas as complicações da indesejável subida do nível freático (Dillon *et al.*, 2006).

O guia técnico australiano para ASR e ASTR (Dillon *et al.*, 2006) sugere uma lista de pontos a ter em conta para a escolha de um aquífero onde será aplicada a técnica. Da longa lista apresentada no guia este relatório apresenta as seguintes:

- Sistema aquífero com boas características naturais: (1) Aceitável capacidade de armazenamento, (2) Capacidade de recuperar a água injectada até às condições qualitativas pretendidas e (3) Baixa taxa de fluxo horizontal;
- Deverá haver afastamento de aquíferos poluídos;
- Deverão ser excluídos aquíferos com altas concentrações salinas visto que a estratificação por densidade é um problema potencial;
- Os efeitos da redução da pressão durante a extracção e o aumento durante a injeção devem ser mínimos;
- Deve verificar-se a jurisdição referente à área ocupada pelo aquífero.

Para uma boa aplicação de uma técnica de recarga o sistema aquífero deverá, igualmente, apresentar várias áreas razoáveis onde se possa efectuar uma correcta recarga artificial. Neste relatório este objectivo é atingido usando a “Metodologia e identificação preliminar de áreas candidatas para recarga artificial”, um método desenvolvido por Lobo Ferreira *et al.* (2007), denominado originalmente por “rating methodology for a preliminary identification of possible areas for artificial recharge”. Esta metodologia apresenta desenvolvimento no capítulo 6.

4. Legislação portuguesa e europeia

4.1. Apresentação geral de assuntos legais

Todas as sociedades do Mundo são regidas por leis e regras. Essas leis regem o que é ou não correcto se fazer para o bom funcionamento em sociedade.

Portugal data a sua primeira constituição política de 1822, desde então mais de cinco novas constituições foram aprovadas sendo a Constituição de 1976 a actual. Com a entrada de Portugal em 1986 para a União Europeia (Comunidade Económica Europeia na altura) os direitos legais sofreram uma alteração.

As Directivas da União Europeia são documentos legais com a característica de serem actos legislativos colectivos aceites pela comunidade europeia. As directivas estabelecem objectivos para um ou mais assuntos (e.g. qualidade das massas de água naturais) a serem cumpridos pelos estados membros não traçando obrigatoriedades sobre o método utilizado para obter os fins. Depois da aprovação de uma directiva os estados membros têm um determinado período (estabelecido na própria directiva) para a transpor para a sua legislação nacional.

No dia 23 de Outubro de 2000 foi reconhecido pelo Parlamento Europeu e o Conselho da União Europeia e endereçado aos estados membros a Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho que estabelece um quadro de acção comunitária no domínio da política da água. Esta directiva é denominada Directiva Quadro da Água (DQA).

Portugal implementou a Lei nº. 58/2005 de 29 de Dezembro de 2005 de forma a ser a lei que transpõe a DQA. Esta lei é conhecida por Lei da Água. A primeira parte deste capítulo é dedicada à análise dos assuntos desenvolvidos neste relatório e a sua relação com a Lei da Água.

No início de 2007 foi apresentada a Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Dezembro de 2006 relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração. Esta directiva é também denominada Directiva-Filha das águas subterrâneas e, basicamente, é uma especificação da DQA para a componente subterrânea das águas. Este capítulo dedica a secção 4.3 à análise do relacionamento entre a nova Directiva-Filha e o tema recarga artificial de aquíferos.

O final do capítulo é dedicado a outras leis portuguesas que estão ligadas aos assuntos abordados neste relatório. Os assuntos que são abordados nessa secção do relatório são os estudos de impacto ambiental, as áreas protegidas e a qualidade da água para consumo humano.

4.2. Gestão de água subterrânea na Lei da Água

Em Portugal a lei principal que rege a gestão da água de forma a proteger a saúde humana e o meio ambiente é a Lei da Água, a Lei nº. 58/2005 de 29 de Dezembro de 2005. Esta Lei é a transposição da Directiva Quadro da Água da União Europeia.

Os objectivos ambientais para as águas subterrâneas estão expressos no artigo 47º da Lei da Água:

“Artigo 47.º

Objectivos para as águas subterrâneas

1- *Devem ser aplicadas as medidas destinadas a evitar ou limitar a descarga de poluentes nas águas subterrâneas e prevenir a deterioração do estado de todas as massas de água.*

2- *Deve ser alcançado o bom estado das águas subterrâneas, para o que se deve:*

a) *Assegurar a protecção, melhoria e recuperação de todas as massas de água subterrâneas, garantindo o equilíbrio entre as captações e as recargas dessas águas;*

b) *Inverter quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte do impacte da actividade humana, com vista a reduzir gradualmente os seus níveis de poluição.*

3- *Os estados quantitativo e químico das águas subterrâneas e a sua monitorização são regulados por normas a aprovar, nos termos do n.º 3 do artigo 102º*

4- *A descarga directa de poluentes nas águas subterrâneas é proibida, à excepção de descargas que não comprometam o cumprimento dos objectivos específicos estabelecidos na presente lei, que podem ser autorizadas nas condições definidas por normas a aprovar, nos termos do n.º 3 do artigo 102.º”*

Na Lei nº. 58/2005 a recarga artificial de aquíferos é mencionada no artigo 30º (Programas de medidas) onde é referido a “*Proibição das descargas directas de poluentes nas águas subterrâneas, salvo situações específicas indicadas no n.º 4 que não comprometam o cumprimento dos objectivos ambientais, e controlo da recarga artificial destas águas, incluindo o estabelecimento de um regime de licenciamento;*”. Assim é possível verificar que a Lei da Água refere a importância de uma licença prévia para projectos de recarga artificial e permite a prática desta técnica desde que os objectivos ambientais para as águas subterrâneas, acima referidos, sejam atingidos.

Dois outros artigos complementam o artigo 30º realçando a obrigatoriedade de uma licença prévia para projectos aplicados no domínio dos recursos hídricos quer em território público (artigo 60º) como em território de domínio privado (artigo 62º). O artigo 60º refere que “*1—Estão sujeitas a licença prévia as seguintes utilizações privativas dos recursos hídricos do domínio público: (...) h) A recarga de praias e assoreamentos artificiais e a recarga e injeção artificial em águas subterrâneas;*” e o artigo 62º refere que para o território de domínio privado “*2—Estão sujeitas a licença prévia de utilização e à observância do disposto no plano de gestão de bacia hidrográfica as seguintes actividades quando incidam sobre leitos, margens e águas particulares: (...) c) Recarga e injeção artificial em águas subterrâneas;*”.

4.3. A nova Directiva Europeia das águas subterrâneas e a recarga artificial

Foi recentemente aprovada a nova Directiva Europeia das águas subterrâneas, Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Dezembro de 2006 relativa à protecção das águas subterrâneas contra a poluição e a deterioração. Esta directiva é também denominada Directiva-filha das águas subterrâneas.

A Directiva 2006/118/CE é uma legislação comunitária específica para as águas subterrâneas que serve como complementar à Directiva Quadro da Água e que deverá ser transposta pelos

estados membros até 2009.

A Directiva-filha das águas subterrâneas relega o assunto da recarga artificial de aquíferos para a Directiva Quadro da Água. No ponto (22) dos pontos prévios da Directiva 2006/118/CE está referido “22) A Directiva 2000/60/CE estabelece os requisitos em matéria de controlos, nomeadamente a obrigatoriedade de autorização prévia, relativos à recarga ou aumento artificial de massas de água subterrâneas, desde que a utilização dessa fonte não comprometa a realização dos objectivos ambientais estabelecidos para a fonte ou para a massa de águas subterrâneas objecto desse aumento ou recarga.”

Também relacionado com a descarga de substâncias potencialmente poluentes devido à recarga artificial a Directiva 2006/118/CE relega a restrições para a DQA. A Directiva-Filha das águas subterrâneas refere em relação a este assunto no Artigo 6º (Medidas para prevenir ou limitar a introdução de poluentes nas águas subterrâneas), ponto 3. que “ Sem prejuízo de quaisquer outros requisitos mais rigorosos noutra legislação comunitária, os Estados-Membros podem isentar das medidas previstas no n.º 1 a introdução de poluentes que seja: (...) d) Resultado da recarga artificial ou do aumento das massas de águas subterrâneas autorizados nos termos da alínea f) do n.º 3 do artigo 11.º da Directiva 2000/60/CE;”.

4.4. Outra legislação portuguesa

4.4.1. Estudos de impacto ambiental

Quando um projecto público ou privado pode causar grande impacto no ambiente a lei portuguesa estabelece a necessidade de um estudo de impacto ambiental determinado pelo Decreto-Lei nº 197/2005 de 8 de Novembro de 2005.

O Decreto-Lei n.º 197/2005 altera o velho Decreto-Lei n.º69/2000 que diz respeito aos estudos de impacto ambiental, que transpõe a Directiva n.º 85/337/CEE do Parlamento Europeu e do Conselho de 27 de Junho de 1985 alterada pela Directiva n.º 97/11/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 3 de Março de 1997 e pela Directiva n.º 2003/35/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 6 de Maio de 2003.

O Decreto-Lei nº 197/2005 refere que “*Sistemas de captação de águas subterrâneas ou de recarga artificial dos lençóis freáticos*” devem ser sujeitos a um estudo de impacto ambiental sempre que “*o volume anual de água captado ou de recarga seja equivalente ou superior a 10 milhões de m³/ano*”.

4.4.2. Áreas com estatuto de protecção ambiental

A legislação portuguesa divide as áreas com estatuto de protecção ambiental em diferentes tipos com diferentes privilégios e obrigações.

Portugal efectuou as suas primeiras medidas de protecção da natureza com a lei nº 9/7 de 19 de Junho onde foram diferenciadas certas áreas ambientalmente protegidas, no entanto a base da protecção ambiental em Portugal é a lei nº 11/87 de 7 de Abril da Assembleia da República. Esta lei denominada Lei de Bases do Ambiente “*define as bases da política de ambiente em cumprimento do disposto nos artigos 9º e 66º da Constituição da República*”.

Em Portugal a Rede Nacional de Áreas protegidas tem como objectivo principal conservar e melhorar as condições da biodiversidade nacional e está dividido em cinco tipos de áreas protegidas: Parque Nacional (o único com esse estatuto é o Parque Nacional Peneda-Gerês), Parque Natural, Reserva Natural, Paisagem Protegida e Monumento Natural.

Um grande desenvolvimento em relação a áreas protegidas e a massas de água foi feito com o Decreto-Lei nº. 19/93, de 23 de Janeiro. Este Decreto-Lei refere que são consideradas ambientalmente protegidas *“as áreas terrestres e as águas interiores e marítimas em que a fauna, a flora a paisagem, os ecossistemas ou outras ocorrências naturais apresentem, pela sua raridade, valor ecológico ou paisagístico importância científica, cultural e social, uma relevância especial que exija medidas específicas de conservação e gestão”*.

Em 1997 foi transposta para legislação portuguesa a Directiva n.º 92/43/CE de 21 de Maio pelo Decreto-Lei n.º 226/97 de 27 de Agosto. Esta directiva, conhecida por Directiva Habitats, foi alterada pela Directiva n.º 97/62/CE, de 27 de Outubro. Estes documentos dão ênfase à importância de haver uma rede de ambiente Europeia e assim a Directiva Habitats criou a “Rede Natura 2000”. Esta Rede tem como objectivo principal garantir as boas condições das espécies europeias ameaçadas e dos seus habitats. Portugal tem incluído na Rede Natura 2000 as Zonas de Protecção Especial (ZPE), criadas pelo Decreto-Lei nº. 384-B/99, de 23 de Setembro e as Zonas Especiais de Conservação, criadas pelas Resolução do Conselho de Ministros nº. 142/97, de 28 de Agosto e pelo Resolução do Conselho de Ministros nº.76/2000, de 5 de Junho.

Os objectivos de protecção da “Rede Natura 2000” (protecção da biodiversidade Europeia) e os de protecção da Rede Nacional de Áreas Protegidas são ligeiramente diferentes o que leva a um certo desfasamento dos limites geográficos entre os dois.

É necessário ter em conta que a atribuição a uma área de estatuto especial de protecção ambiental não impede o total movimentação humana na área mas a atribuição de certos estatutos e restrições que são necessários cumprir.

4.4.3. Qualidade da água para consumo humano e água residual

Em Portugal, os critérios relacionados com a qualidade e quantidade da água para consumo humano são estabelecidos pelo Decreto-Lei n.º 236/98, de 1 de Agosto e pelo Decreto-Lei n.º243/2001, de 5 de Setembro.

De forma a se verificar se uma origem de água pode ser utilizada para produzir água para consumo humano o Decreto-Lei n.º236/98 apresenta no anexo I (Anexo 1) diferentes parâmetros físicos, químicos e biológicos de uma água superficial de forma a classificá-la em três tipos: A1, A2 e A3. O tipo de água de origem A1 é a água com melhor qualidade e a A3 a água com pior qualidade. O tratamento necessário para cada tipo de água está presente no Anexo II do mesmo Decreto (Anexo 1) e depende da sua qualidade (e.g. as águas A1 precisam de menor tratamento que as A2).

A classificação do tipo de água é feita pelo Instituto da Água (INAG) e pela Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional (CCDR) da região.

A água subterrânea é igualmente dividida nos três tipos de água, no entanto, a sua utilização como origem para produção de água para consumo humano rege-se por regras específicas e

diferentes das da água superficial. De acordo com o artigo 14º, ponto 2 do 236/98 a água subterrânea pode ser utilizada como água de origem para a produção de água para consumo humano se tiver *“qualidade superior ou igual à da categoria A1 das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano (anexo I)”*. No entanto o artigo 17º do 236/98 refere que a água subterrânea pode ser usada para produção de água para consumo humano com qualidade inferior *“salvo quando tal seja expressamente autorizado, perante a falta de alternativas técnica e economicamente viáveis, e desde que a água seja sujeita a um esquema de tratamento idêntico ao exigido no anexo II para águas doces superficiais da categoria em que seriam classificadas atenta a sua qualidade, com as devidas adaptações, ou se, por mistura, ficar assegurado que a água distribuída para consumo humano possui qualidade conforme com as respectivas normas de qualidade (anexo VI)”*.

O mesmo Decreto-Lei n.º236/98 regula o conjunto de princípios relacionados com o tratamento da água residual, com o artigo 64º a regular a regras sobre as descargas das estações de tratamento de água residuais. Se *“O meio receptor”* estiver *“classificado como zona sensível”* ou *“A poluição originada pela descarga”* tiver *“efeitos a longa distância ou transfronteiriços”* então, o artigo 64º ponto 6 refere que a descarga de água residual tratada deverá ter maiores restrições nas concentrações das substâncias ou poderá ser proibida a descarga no meio.

5. Caracterização do caso de estudo: Sistema Aquífero Querença-Silves, Algarve, Portugal

5.1. Introdução ao caso de estudo

Portugal é um país localizado no Sudoeste Europeu, na Península Ibérica. O clima de Portugal Continental é preferencialmente Oceânico devido ao Oceano Atlântico, que se localiza nas fronteiras Oeste e Sul do país, mas o clima Mediterrânico também é sentido, especialmente na zona Sul do país. Dessa forma, o gradiente térmico anual não é alto. As fronteiras Norte e Este de Portugal continental são ocupados por Espanha. O país é ainda composto por dois arquipélagos, a Madeira e os Açores. A sua capital, Lisboa, localiza-se no centro sul do país, no estuário do Rio Tejo (cf. Figura 12). Várias características são apresentadas no início do capítulo onde será feita referência às secas que assolaram o país.



Figura 12- Portugal e a sua localização (retirado de Ferreira, 2000)

Na parte Sul de Portugal Continental localiza-se o Algarve. Esta área apresenta uma grande procura por parte do turismo internacional, especialmente no Verão devido às suas óptimas praias, tempo agradável e boas condições turísticas como marinas ou campos de golfe.

Devido à sua posição geográfica o Algarve apresenta um risco alto de secas. A precipitação média na região é de cerca de 670 mm, bastante abaixo do valor médio para Portugal Continental que é de 960 mm.

O ano hidrológico de 2004/2005 foi de seca e verificou-se que a água superficial da área não era suficiente para satisfazer as necessidades da região. Assim, como noutros anos, a solução passou pelo maior sistema aquífero da região, o sistema aquífero Querença-Silves.

Os planos das bacias hidrográficas permitiram caracterizar as diferentes bacias hidrográficas de Portugal e definir orientações para uma melhor gestão das mesmas. Estes foram concluídos em 2000 de acordo com o despacho ministerial de 98.12.31 e o Decreto-Lei 45/94 de 22 de Fevereiro.

O maior desenvolvimento dado na caracterização dos sistemas aquíferos do Algarve foi dado

em 1985 com a tese “Hidrologia do Algarve Central” de Almeida (1985) e com o trabalho Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia- Escala 1:100 000 dos ex-serviços geológicos de Portugal trabalhos estes que serviram para diferenciar e caracterizar, pela primeira vez, vários sistemas aquíferos naquela zona. O Instituto da Água (INAG), como entidade responsável pela caracterização e monitorização dos recursos hídricos de Portugal, criou ao longo do tempo vários relatórios e trabalhos de forma a caracterizar os sistemas aquíferos do país. Em 1997 com a utilização dos vários trabalhos o INAG editou um livro onde é feita a uma nova delimitação dos sistemas aquíferos e a sua caracterização exaustiva. A versão final deste livro foi lançada em 2000, denomina-se “Sistemas Aquíferos de Portugal Continental” e está disponível online no site do SNIRH (<http://snirh.inag.pt>).

Este capítulo dedica uma secção à caracterização do sistema aquífero Querença-Silves onde grande parte da informação apresentada provém do trabalho do INAG (Almeida *et al.*, 2000). No entanto, o estudo sobre o sistema aquífero é complementado com outras análises igualmente importantes: o estudo da recarga natural do sistema aquífero pela utilização do modelo BALSEQ e a análise da vulnerabilidade do Querença-Silves à poluição com utilização do método DRASTIC.

5.2. Portugal e a água

5.2.1. Resumo das características de Portugal

Portugal é um país europeu com uma área territorial terrestre de 91.946,7 km². Portugal Continental ocupa uma área de 88.796,7 km² e encontra-se localizado entre os paralelos 37º e 42º Norte e entre os meridianos 6º e 9,5º Oeste de Greenwich, com uma forma aproximadamente rectangular e inserido na Península Ibérica. As fronteiras de Portugal Continental são fronteiras terrestres com Espanha a Norte e Este e fronteiras marítimas com o oceano Atlântico a Sul e Oeste. Para além da zona continental Portugal apresenta dois arquipélagos a Sudoeste e Este de Portugal Continental, a Madeira e os Açores respectivamente. (cf. Figura 12)

Em Portugal Continental o clima é influenciado pelo oceano Atlântico, pelo mar Mediterrâneo e pelo anticiclone dos Açores, entre outros. De uma forma geral os valores de precipitação decrescem de Noroeste para Sudeste e a temperatura média anual aumenta de Norte para Sul. Devido a influências oceânicas a amplitude térmica anual no litoral do país não é alta, o mesmo não acontecendo com o interior onde existem Invernos bastante frios e verões bastante quentes.

A precipitação média em Portugal Continental é de 960 mm. Ferreira (2000) apresenta o valor máximo para a Serra da Estrela de 3000 mm por ano e valor mínimo de 400 mm por ano para o litoral do Algarve. A temperatura apresenta como valores anuais médios o seu máximo no Algarve e no vale do Rio Guadiana de 17.5º e o seu mínimo de 7.5º nas Penhas Douradas (ponto mais alto da Serra da Estrela e de Portugal Continental).

Em termos de relevo pode-se afirmar, de uma forma geral, que Portugal Continental é um país plano visto que mais de 70% do seu total apresenta altitudes inferiores a 400 m acima do nível médio das águas do mar e o seu ponto mais alto é na Serra da Estrela com a altitude 1993 m acima do nível médio das águas do mar. Em Portugal Continental o relevo permite dividir o país ao meio, Norte do Rio Tejo onde se encontram 95,4 % das regiões do país com altitude superior a 400 m acima do nível médio das águas do mar e o Sul do Rio Tejo caracterizada por ser uma zona quase

plana (Alentejo e Algarve). Em contradição os arquipélagos são regiões bastantes acidentadas com altas montanhas, sendo o ponto mais alto nos Açores com a altitude de 2.351 m acima do nível médio das águas do mar (Ferreira, 2000).

De forma a caracterizar hidrologicamente o país é necessário dividir o estudo em águas superficiais e águas subterrâneas.

As bacias hidrográficas mais importantes em Portugal continental pertencem a quatro rios internacionais: Tejo, Douro, Guadiana e Minho. Estas bacias ocupam cerca de 60% do território nacional. As bacias totalmente situadas em território português mais importantes são as do Rio Mondego (6.645 km²), do Rio Sado (7.696 km²) e do Rio Vouga (2.653 km²). O anexo 2 apresenta a divisão das várias bacias hidrográficas segundo os Planos das Bacias Hidrográficas. A Tabela 5 apresenta as áreas totais das bacias dos sete rios mencionados e a sua correspondente área em território português.

Tabela 5 – Principais bacias hidrográficas portuguesas

Bacias Hidrográficas	Área total (km ²)	Área em território português (km ²)
Tejo	80.629	24.800
Douro	97.603	18.643
Guadiana	66.800	11.580
Minho	17.081	800
Sado	7.696	7.696
Mondego	6.645	6.645
Vouga	2.653	2.653

Em termos de água subterrânea Portugal Continental divide-se em quatro grandes unidades hidrogeológicas correspondentes a quatro grandes divisões geotectónicas (Lobo-Ferreira, 1995).

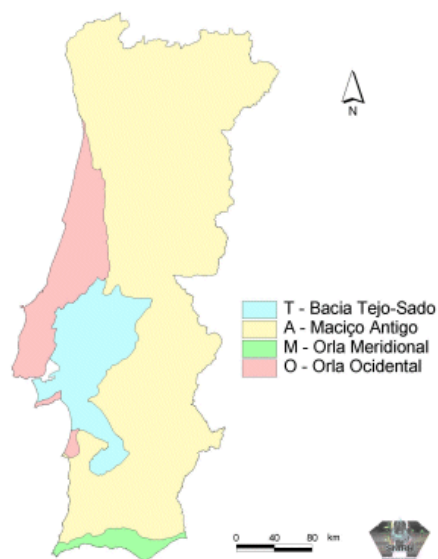


Figura 13 – Divisão hidrogeológica de Portugal Continental (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

As divisões hidrogeológicas estão representadas na Figura 13 e correspondem a:

- Maciço Antigo, também designado por Maciço Ibérico ou Maciço Hespérico;
- Orla Mesocenozóica Ocidental;
- Orla Mesocenozóica Meridional;
- Bacia Terciária do Tejo-Sado.

De acordo com Lobo-Ferreira (1995) o Maciço Antigo caracteriza-se pela ausência, quase total, de aquíferos porosos visto que a área é composta por rochas ígneas e metamórficas. Por outro lado as outras três unidades, visto serem áreas compostas por rochas sedimentares apresentam um grande número de aquíferos cársicos e porosos.

De acordo com Instituto Nacional de Estatísticas a população portuguesa no ano de 2005 era de 10.569.592 habitantes distribuídos de uma forma desigual, com a população maioritariamente concentrada à volta das grandes cidades, com duas áreas com valores de densidade populacional maior, a zona de Lisboa (Capital do país) e a zona do Porto (localizado no estuário do Rio Douro) (cf. Anexo 3). De uma forma geral, a população decresce de Norte para Sul e do Litoral para o interior sendo a zona do Alentejo a região portuguesa com menor densidade populacional.

Cerca de 75% do total da área de Portugal continental está ocupada com agricultura e florestas (Algarve- 55% da sua área e Alentejo- 85 % da sua área).

5.2.2. Seca em Portugal

Portugal é um país, que devido à sua posição geográfica, é fustigado por secas, especialmente o Sul do país que sofre influências mediterrânicas.

A análise do histórico de secas em Portugal é feita pela utilização de valores de precipitação desde 1942 e a utilização de Índices de secas, essencialmente o SPI e o PDSI. O método dos deciles também é utilizado pelo Instituto Nacional de Meteorologia.

Tabela 6 – Anos de seca em Portugal, zonas afectadas e severidade segundo o SPI- 12 meses (retirado de Domingos, 2006)

Ano agrícola	Território afectado	Severidade da seca (SPI)
1943/44	Todo o país	Moderado a Severo
1944/45	Todo o país	Moderado a Severo
1948/49	Norte	Moderado
1952/53	Norte	Moderado a Extremo
1964/65	Norte	Moderado
1975/76	Norte	Moderado
1980/81	Todo o país	Moderado a Extremo
1982/83	Sul	Moderado a Severo
1988/89	Norte	Moderado a Severo
1991/92	Norte	Moderado
1994/95	Sul	Moderado
1998/99	Todo o país	Moderado a Severo
2001/02	Norte	Moderado
2004/05	Todo o país	Moderado a Extremo

Através do SPI e considerando os anos agrícolas (de início de Setembro a fins de Agosto) desde 1943/44, Domingos (2006) elaborou uma tabela (Tabela 6) com as secas que afligiram o país.

É possível verificar na Tabela 6 que desde 1943/44 houve três anos de secas extrema, cinco anos em que a seca foi sentida em todo o país e que os anos 1980/81 e 2004/2005 foram anos em que uma seca extrema atingiu todo o território.

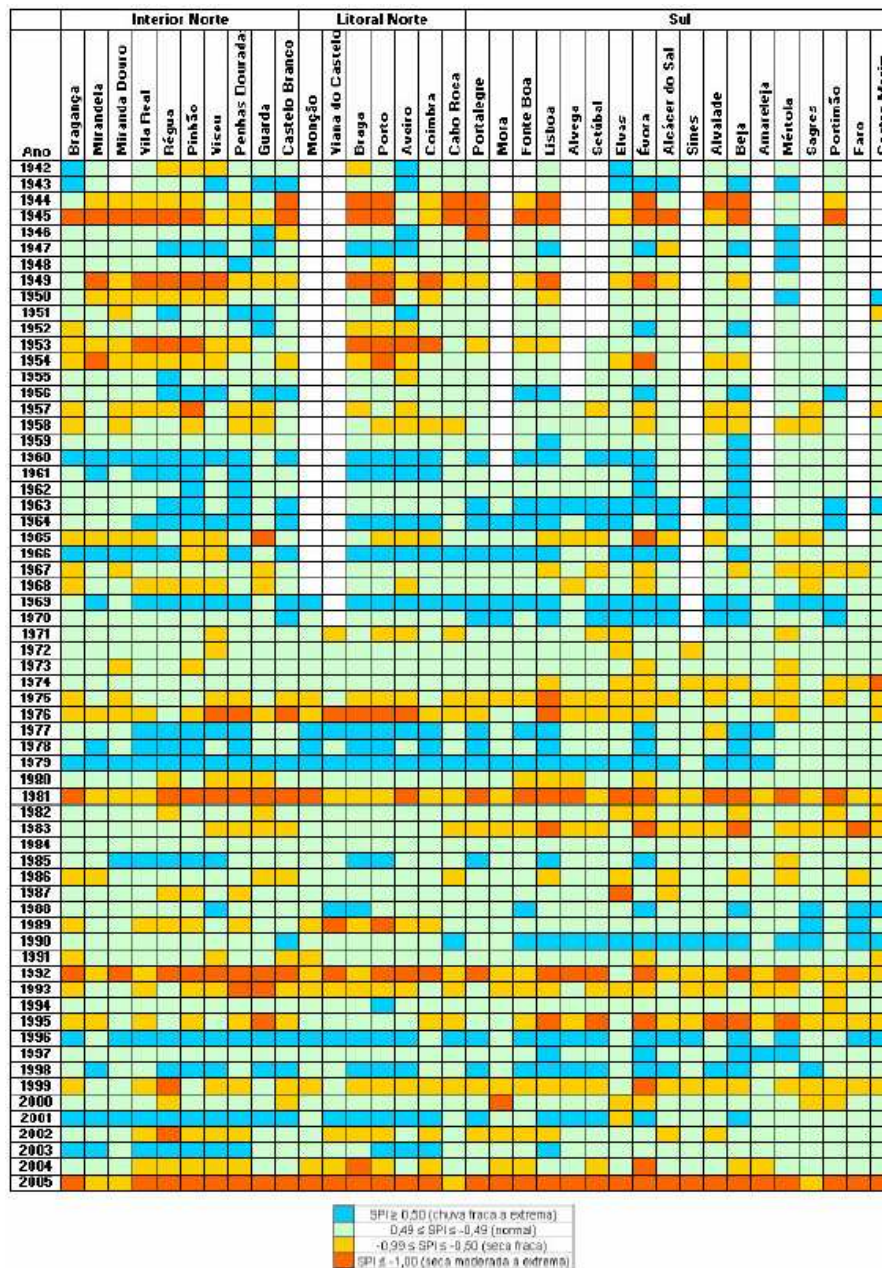


Figura 14- O índice SPI-12 meses em vários anos e em várias cidades de Portugal (retirado de Domingos, 2006)

A análise da Figura 14 permite retirar importantes conclusões sobre a disponibilidade de recursos hídricos. Em cada dez anos Portugal tem pelo menos dois períodos de seca seguidos tendo à posteriori, quase sempre, anos bastante húmidos ($SPI > 1$). Por exemplo, antes da seca de 1980/81 houve três anos húmidos. Se for analisada em pormenor a última década (de 1996 a 2005) verifica-se que antes da seca de 1998/99 ocorreu três anos em que dois foram considerados húmidos, também para as secas de 2001/2002 e 2004/2005 verifica-se algo semelhante com pelo menos um ano com

SPI superior a um (ano húmido).

Esta sequência períodos húmidos-períodos secos é característica em Portugal e vários relatórios de alterações climáticas (e.g. SIAM Project), assim como especialistas em fenómenos atmosféricos, apontam para uma maior diferença entre fenómenos extremos ao longo dos anos (i.e. as cheias serão mais fortes e as secas terão maior severidade). O relatório da quarta avaliação das alterações climáticas para o Intergovernmental Panel on Climate Changes da World Meteorological Organization das Nações Unidas (<http://www.ipcc.ch/>) menciona que “*A warmer climate, with its increased climate variability, will increase the risk of both floods and droughts*”. Nesse relatório é referido que as secas serão mais frequentes (especialmente em países do Sul da Europa) e haverá um aumento da concentração da precipitação em alguns anos.

5.3. A região do Algarve

No Sul de Portugal localiza-se uma das regiões mais procuradas pelo turismo, a região do Algarve correspondente ao Distrito de Faro.

O Algarve apresenta uma área de 4.994,2 km² dividida em 16 concelhos (cf. Figura 15) e com uma população fixa de 405.380 habitantes (<http://www.ine.pt/>, 2003). As suas fronteiras são no Norte a região Portuguesa do Alentejo, no Sul e Oeste o Oceano Atlântico e a Este com o Rio Guadiana (e Espanha na margem contrária).

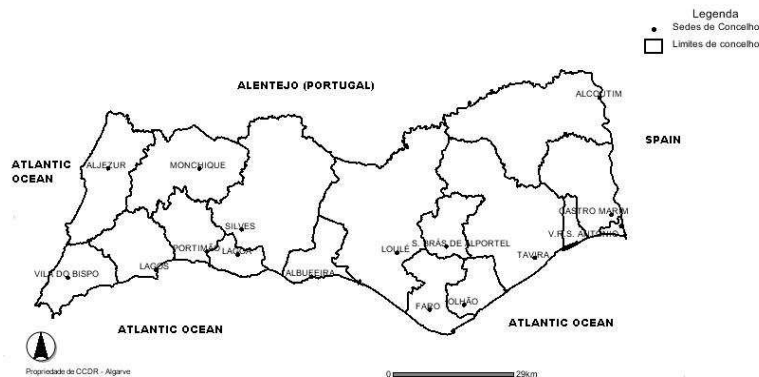


Figura 15 – Divisão do Algarve em concelhos (retirado de <http://www.ccdr-alg.pt>)

O Algarve é uma região com grande procura turística devido ao seu clima e às suas condições estruturais que assim o permitem, tais como boas praias, marinas ou bons campos de golfe. De acordo com o site da área metropolitana do Algarve – AMAL (<http://www.amal.pt>), 75% da população trabalha no sector terciário (serviços/comércio), 21,3% no sector secundário e 3,4% no primário. O aumento significativo de população no Verão é a principal característica social do Algarve.

Em termos de topografia a região é plana sendo o ponto mais alto localizado a 906 m acima do nível médio das águas do mar, a Serra de Monchique.

Em termos de hidrogeologia considera-se que a região apresenta duas unidades hidrogeológicas, a Orla Mesocenozóica Meridional, completamente no interior do Algarve e do Maciço Antigo, no Norte Algarvio. Como referido anteriormente a Orla Mesocenozóica Meridional é muito rica em sistemas aquíferos, contando com a diferenciação de 17 sistemas aquíferos (INAG, 2000).

Estas duas características (baixo relevo e grande quantidade de aquíferos) foram importantes

para a evolução da utilização dos recursos hídricos na zona.

5.3.1. Caracterização hidrológica geral do Algarve

Esta secção tem como finalidade caracterizar os recursos hídricos presentes no Algarve. Uma análise pormenorizada do sistema aquífero em estudo (M5 Querença- Silves) é feita na secção 5.4.

O Algarve é uma região com relação especial com os recursos hídricos. Para além da enorme procura no Verão, a região apresenta um clima propício a secas e um relevo baixo que a torna com baixo potencial para a construção de barragens. Para além de todas estas características “naturais” o Algarve tem um histórico de gestão dos recursos hídricos muito confuso.

De acordo com parte de um estudo da Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente da Universidade do Algarve (FCMA - UA) (Monteiro, 2004), as origens de água para utilização humana têm variado ao longo dos anos. Até a década de 50 praticamente toda a população Algarvia era abastecida por água subterrânea. Depois da construção das barragens do Arade (1956) e da Bravura (1958), os sistemas aquíferos foram parcialmente esquecidos e a água utilizada pela população passou a ser a das duas barragens. Nos anos 60 com o enorme aumento do turismo na região e o início da agricultura de irrigação (especialmente irrigação em plantações de citrinos), as necessidades de recursos hídricos aumentaram exponencialmente. Com este aumento surgiram técnicas avançadas de construção de furos e os aquíferos da região voltaram a ter grande importância no Algarve, tendo sido explorados desorganizadamente, até ao final dos anos 90. Esta gestão inadequada dos recursos hídricos subterrâneos consistiu essencialmente em incorrectas práticas agrícolas (Stigter *et al.* 1998 em Monteiro, 2004) e na elevada exploração dos aquíferos provocando o risco de intrusão salina nestes (Carreira 1991 em Monteiro, 2004) podendo, dessa forma, danificar os sistemas aquíferos Algarvios.

Em 1986 efectuou-se a construção da barragem de Beliche no Sotavento algarvio.

Em 1993 e 1996 foram construídas as barragens do Funcho e de Odeleite, respectivamente. Juntamente com estas barragens foram construídas infraestruturas que permitiram ao Algarve dar início a um sistema centralizado de abastecimento de água para toda a região e suportado por barragens, sendo actualmente assegurado pelas Águas do Algarve- S.A. Assim, os sistemas aquíferos Algarvios voltaram a ser abandonados e esquecidos.

A Tabela 7 apresenta as barragens existentes no Algarve, o seu ano de construção e o seu volume útil. Nesta tabela já está incluída a futura barragem de Odelouca que tem data prevista de finalização o ano de 2009 e que apresentou polémica devido a questões ambientais.

Tabela 7 – Barragens Algarvias, seu ano de construção e capacidade útil

Barragem	Ano de construção	Capacidade útil (10^6 m^3)
Arade	1956	27
Bravura	1958	32
Beliche	1986	48
Funcho	1993	43
Odeleite	1996	117
Odelouca (futuro)	2009 (esperado)	134

O ano hidrológico de 2004/2005 relembrou a importância dos sistemas aquíferos. Com a seca a afligir toda a região, o volume armazenado em barragens não foi suficiente para satisfazer as necessidades do Algarve e a solução passou pela captação intensiva do aquífero Querença-Silves.

A precipitação média do Algarve é de 670 mm por ano, sendo o valor máximo de 1.200 mm nos pontos mais altos da região e os valores mínimos de 400 mm na zona litoral. A Figura 16 mostra a distribuição da precipitação no Algarve.

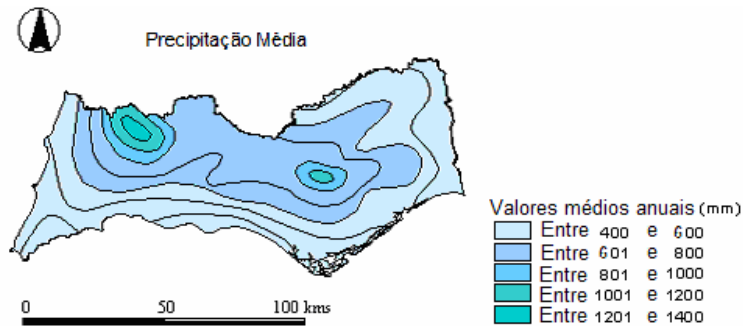


Figura 16 – Distribuição espacial de precipitação no Algarve (retirado de <http://ccdr-alg.pt>)

Em termos de água superficial o Algarve conta com a presença de vários pequenos rios, ribeiras e o estuário do rio Guadiana a Este. Os planos de bacias hidrográficas que estão presentes na região são o das ribeiras do Algarve (PBHRA, 2000) e do rio Guadiana.

Os volumes de armazenamento anual de uma barragem são irregulares e de acordo com Monteiro (2004) o volume total de água das barragens Algarvias que pode, de facto, ser utilizado é apenas 64 % do somatório das capacidades úteis destas (cf. Tabela 7).

Em relação à água subterrânea o Algarve tem, como explicado anteriormente, diferenciados 17 sistemas aquíferos (cf. Figura 17).

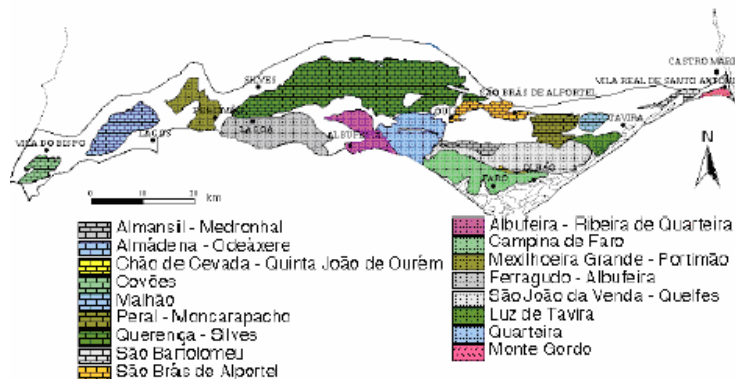


Figura 17 – Localização dos sistemas aquíferos algarvios actualmente diferenciados (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

Os sistemas aquíferos Algarvios não apresentam grandes valores de área e de produtividade (cf. Tabela 8) e são, na sua maioria, aquíferos costeiros ou com influência das águas do mar.

O maior sistema aquífero do Algarve é o sistema aquífero Querença-Silves localizado na zona central do Algarve.

Tabela 8 – Sistemas aquíferos algarvios, sua área e produtividade mediana (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

Sistema Aquífero	Área (km ²)	Produtividade Mediana (L/s)
M1. Covões	22,6	15,5
M2. Almadena – Odeáxere	63,5	5,6
M3. Mexilhoeira Grande – Portimão	52	8,3
M4. Ferragudo – Albufeira	117	5
M5. Querença – Silves	318	11,1
M6. Albufeira - Ribeira de Quarteira	54,6	9,4
M7. Quarteira	81	9
M8. São Brás de Alportel	34,4	4,2
M9. Almansil – Medronhal	23,4	7
M10. São João da Venda – Quelfes	113	7 (argilas e areias) e 5,5 (sequencias marl-cálcarias)
M11. Chão de Cevada – Qt ^a . João de Ourém	5,3	6
M12. Campina de Faro	86,4	6
M13. Peral – Moncarapacho	44	2,8
M14. Malhão	12	14,7
M15. Luz de Tavira	28	5,6
M16. São Bartolomeu	10,6	8,2
M17. Monte Gordo	9,6	Entre 1,5 e 13

5.3.2. Caracterização institucional do Algarve

Esta secção é dedicada à apresentação das instituições relacionadas com os recursos hídricos e ordenamento do território Português, com especial atenção para os responsáveis pela zona Algarvia. Neste campo a instituição com maiores responsabilidades é a Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve (CCDR-Algarve).

A CCDR-Algarve é responsável pela gestão do território abrangido pelo Algarve e logo pela parte terrestre do ciclo da água. Esta instituição tem como funções verificar e atribuir o licenciamento das captações de água assim como monitorizar os recursos hídricos (e.g. níveis piezométricos dos aquíferos). A CCDR-Algarve está em constantes ligações com o Instituto da Água (INAG) de forma a lhe fornecer os dados relativos aos valores quantitativos e qualitativos dos recursos hídricos, com as autarquias locais para que estas possam desenvolver os seus planos de abastecimento de água, drenagem e tratamento de águas residuais, com os privados e com outras instituições, tal como as Águas do Algarve.

O INAG apresenta todos os dados relacionados com recursos hídricos de Portugal, quer a disponibilidade dos recursos hídricos no Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos do INAG (SNIRH-INAG) como o abastecimento de água às populações e drenagem de água residual no Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais do INAG (INSAAR-INAG). O SNIRH-INAG apresenta uma página na Internet (<http://snirh.inag.pt>) onde

Este sistema aquífero apresenta uma área de 318 km², localiza-se no centro do Algarve nos concelhos de Silves, Loulé, Lagoa e Albufeira. O recente trabalho do INAG (Almeida *et al.*, 2000) diferenciou este sistema aquífero e atribuiu-lhe o código de M5.

Esta secção é dedicada à caracterização do sistema aquífero Querença-Silves onde muita informação apresentada provém do relatório anteriormente referido.

5.4.1. Características Geológicas e Hidrogeológicas

O sistema aquífero Querença-Silves apresenta diferentes estruturas hidrogeológicas mas as predominantes são as formações de Picavessa (Calcários de Alte) do Jurássico Inferior. Outras formações aquíferas presentes são os Calcários e Dolomitos de Almádena, os Calcários de S. Romão, os Calcários com Nódulos de Sílex da Jordana, os Calcários Bioconstruídos do Cerro da Cabeça, os Calcários Dolomíticos de Santa Bárbara de Nexe, os Calcários de Escarpão e os Calcários com *Anchispirocyclina lusitanica* (Almeida *et al.*, 2000). As estruturas do Jurássico permitem definir um aquífero livre a confinado. Estas estruturas estão representadas em anexo (Anexo 4)

O sistema aquífero é limitado por duas estruturas menos permeáveis: a Norte, os Grés de Silves e a Sul os calcários margosos e margas do Caloviano-Oxfordiano-Kimeridgiano (Almeida *et al.*, 2000).

Devido à complexidade das formações, o sistema aquífero apresenta diferentes zonas em que o comportamento hidráulico caracteriza-se por uma menor eficiência cársica criando a sensação de independência entre zonas (sub-unidades). Tal facto não é totalmente correcto em alguns casos visto que certas nascentes (e.g. Fonte Grande, Fonte do Salir ou Fonte Benémola) alimentam ribeiras que são efluentes do aquífero noutros pontos a jusante (Almeida *et al.*, 2000). A Figura 19 mostra onde a água da ribeiras entra no sistema aquífero (influentes - pontos azuis) e onde a água sai do sistema aquífero (efluentes - pontos vermelhos).

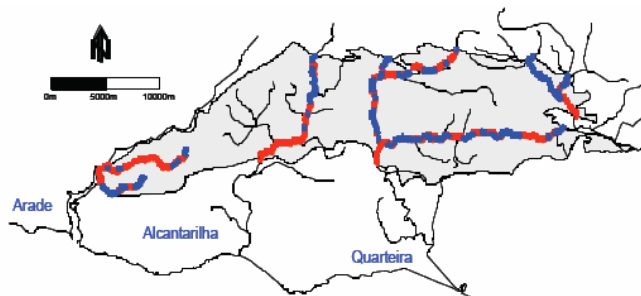


Figura 19 – Principais relações entre o sistema aquífero Querença-Silves e as ribeiras que o cruzam (retirado de Monteiro *et al.*, 2007)

Outro aspecto geológico a ter em conta é a falha de Quarteira, com direcção NW-SE, que individualiza sectores do aquífero. As falhas tectónicas do sistema aquífero estão representadas num mapa em anexo (Anexo 5).

5.4.1.1. Parâmetros hidráulicos e produtividade

De acordo com o trabalho do INAG (Almeida *et al.*, 2000) os parâmetros hidráulicos do

Querença-Silves são heterogéneos e os valores de produtividade são altos.

A Tabela 9 (retirada do trabalho do INAG, Almeida *et al.*, 2000) apresenta os valores estatísticos da produtividade (em L/s) do sistema aquífero utilizando 487 dados.

Tabela 9 – Dados estatísticos da produtividade do sistema aquífero Querença-Silves (em L/s)

Média	Desvio-padrão	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
12,2	9,8	0	5,8	11,1	16,6	83,3

Os valores de transmissividade obtidos para este sistema aquífero variam de 83 m²/dia até aos 30.000 m²/dia (cf. Tabela 10).

Tabela 10 – Valores de transmissividade do sistema aquífero Querença-Silves e sua localização (em m²/dia)

Sul de Silves	Norte de Paderne	Oeste de Querença	Norte do Purgatório	Vale da Vila
1.006	727 e 83	155	1.200 e 1.700	3.000 e 30.000

Lopes *et al.* (2005) refere que os valores de condutividade hidráulica horizontal no aquífero dependem da região do aquífero. O autor dividiu o aquífero em três regiões obtendo os seus respectivos valores de condutividade hidráulica. A Oeste da falha de Quarteira obteve valores de 50 m/dia, numa zona central entre a falha de Quarteira e a Nave do Barão obteve valores de 1m/dia e na zona mais a Este obteve valores de 0,05 m/dia.

Em termos de coeficiente de armazenamento o sistema aquífero apresenta valores entre os $5 \cdot 10^{-3}$ e os $3 \cdot 10^{-2}$ (Almeida *et al.*, 2000).

Diferentes autores mencionam, ainda, a boa capacidade de regularização anual e interanual do sistema aquífero.

5.4.1.2. Análise do fluxo e da piezometria

Esta parte da caracterização do sistema aquífero é complexa visto que, apesar do elevado número de dados existentes, o sistema aquífero não apresenta um mapa piezométrico perfeito visto que o comportamento do sistema aquífero é bastante heterogéneo.

Como explicado anteriormente, a falha de Quarteira tem grande influência no fluxo do sistema aquífero. Devido a esse facto muitos hidrogeólogos dividem o Querença-Silves em duas regiões, Este da Falha de Quarteira e Oeste da Falha. Enquanto a região Oeste apresenta um comportamento de fluxo muito homogéneo de Este para Oeste e variando de N-S e E-O, a região Este é muito mais heterogénea e sem um comportamento de fluxo generalizado (um sinal da existência das sub-unidades mencionadas anteriormente). Certas captações mais importantes redireccionam o fluxo subterrâneo para si, como foi o caso do Vale da Vila durante as captações do ano de 2005. A Figura 20 representa o fluxo do sistema aquífero Querença-Silves obtido através de um modelo aplicado ao aquífero (Ribeiro, 2006). Este necessitou de ser calibrado pelos valores dos níveis piezométricos.

Sentidos de escoamento

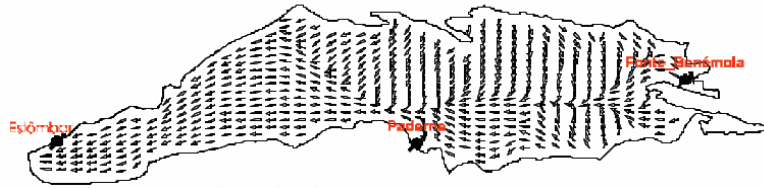


Figura 20 – Modelo do sentido de escoamento do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Ribeiro, 2006)

Monteiro *et al.* (2007) mostra que existem diversas interações entre as águas superficiais e subterrânea no sistema aquífero Querença-Silves. Nessa comunicação é apresentada a modelação das relações hidráulicas entre o sistema aquífero e as ribeiras/rios que percorrem a sua área obtida a partir de mapas de isopiezas apresentados na Figura 21. Esta figura apresenta o mapa de isopiezas calculado com 11663 nós usado para calibrar o modelo e o mapa de potencial hidráulico simulado com um modelo em elementos finitos (Monteiro *et al.* 2006a e 2006b em Monteiro *et al.*, 2007).

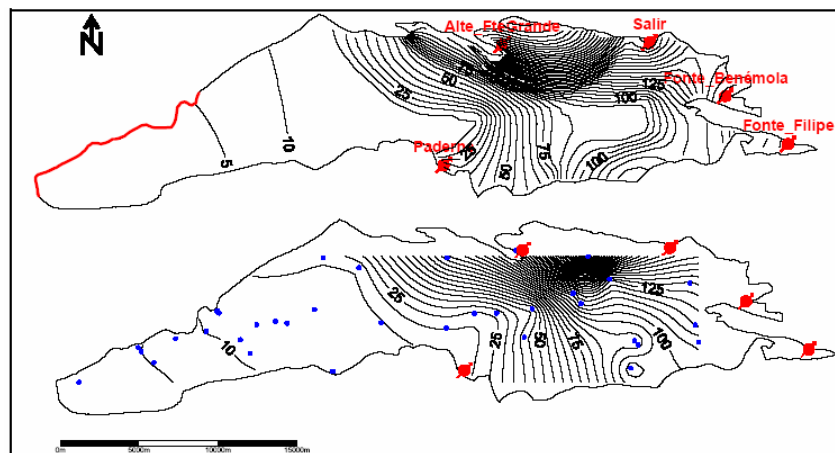


Figura 21- Mapa de isopiezas do sistema aquífero Querença-Silves construído com dados de campo (em baixo) e mapa de potencial hidráulico simulado matematicamente (em cima) (retirado de Monteiro *et al.*, 2007)

Em anexo (Anexo 6) encontram-se alguns gráficos de níveis piezométricos de estações pertencentes ao INAG e disponíveis online. Pela observação desse gráficos é possível verificar que existe uma boa relação entre períodos de seca e os níveis piezométricos. O decréscimo dos níveis piezométricos resulta de dois factores, uma diminuição da recarga natural do aquífero e um aumento da captação do mesmo.

Para este relatório obteve-se um mapa de potencial hidráulico com a utilização da média (01/10/1970 – 30/09/2000) de piezometria de 53 pontos da base de dados *online* do SNIRH-INAG (<http://snirh.inag.pt>). Efectuou-se uma interpolação dos pontos através do método das distâncias inversas ponderadas em células de 100 metros, pela utilização de software SIG. Em anexo encontram-se os dados dos pontos SNIRH-INAG utilizados (Anexo 7). O resultado final é o apresentado na Figura 22 e será este mapa de isopiezas utilizado em várias análises do relatório.

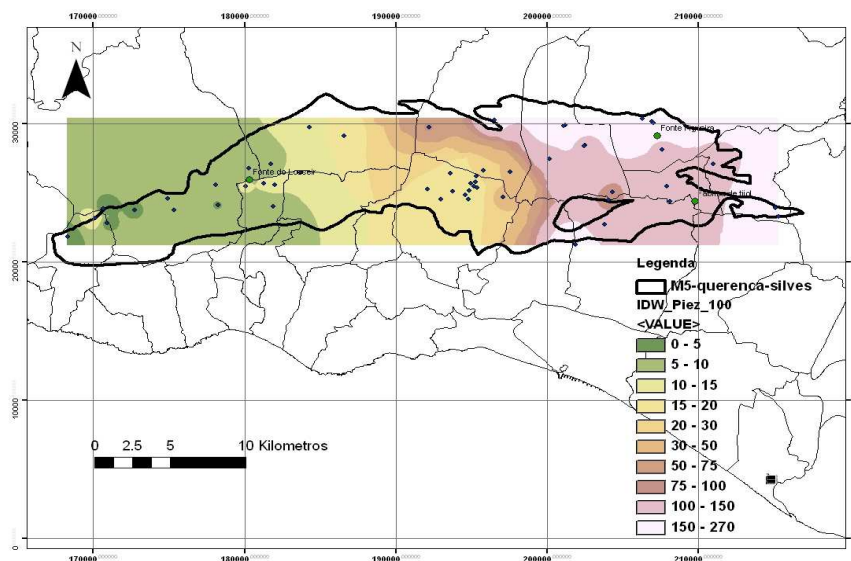


Figura 22 – Nível piezométrico do sistema aquífero Querença-Silves obtido por interpolação usando o método das diferenças inversas ponderadas

5.4.2. Características qualitativas da água

Os processos de dissolução dos carbonatos são os principais responsáveis pela definição dos parâmetros qualitativos do sistema aquífero Querença-Silves. A Tabela 11 (retirada do trabalho do INAG) apresenta os valores estatísticos de 11 parâmetros de qualidade que servem como base para a caracterização físico-química da água do sistema.

Tabela 11 – Dados estatísticos de parâmetros físico-químicos da água do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Almeida *et al.*, 2000)

	n	Média	Desvio-Padrão	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Condutividade Eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	55	1225	2239	302	632	729	849	13290
pH	354	7,8	0,3	6,8	7,6	7,8	7,9	8,9
Bicarbonato (mg/L)	74	385	50	75	366	385	403	549
Cloreto (mg/L)	383	137	417	16	50	64	92	6390
Sulfatos (mg/L)	117	75	166	6	21	28	46	1280
Nitratos (mg/L)	117	16	28	0	7	10	17	283
Dureza Total (mg/L)	95	470	360	103	331	365	420	2420
Sódio (mg/L)	329	91	394	1	27	33	50	3600
Potássio (mg/L)	327	4,1	21	0,4	0,9	1,1	1,7	284
Cálcio (mg/L)	74	114	65	1	88	96	111	562
Magnésio (mg/L)	74	50	70	1	26	31	36	461

A Figura 23, que foi retirada do trabalho do INAG (Almeida *et al.*, 2000), representa o Diagrama de Piper da água do Sistema Aquífero Querença-Silves.

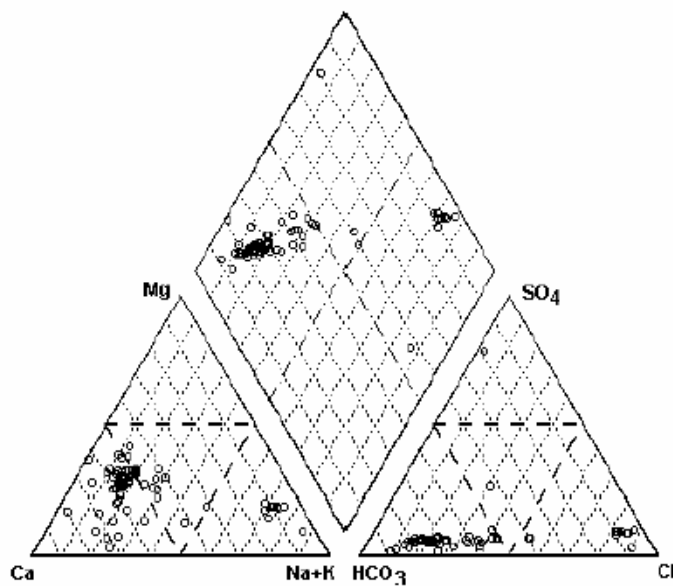


Figura 23 – Diagrama de Piper da água do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Almeida *et al.*, 2000)

A análise da qualidade da água do sistema aquífero Querença-Silves como água de origem para a produção de água para abastecimento público é feita na secção 5.4.6.2.

5.4.3. Balanço Hidrológico

O estudo do balanço hidrológico do sistema aquífero Querença-Silves é feito tendo em conta três processos do ciclo hidrológico: A precipitação, a recarga natural do sistema aquífero e a captação do aquífero. Os dois últimos processos serão analisados ao pormenor nas secções 5.4.4 e 5.4.5, respectivamente.

De acordo com os valores retirados do site do SNIRH (<http://snirh.inag.pt>) a precipitação média na região (período de 1940/41 a 1999/2000) é de 670 mm/ano. Este valor foi obtido pela média de quatro valores médios de estações udométricas da região (cf. Tabela 12)

Tabela 12 – Precipitação média anual de quatro posto udométricos

Estação Udométrica	Precipitação Média Anual (mm/ano)
Barragem do Arade	618
Vale da Barriga	698
São Bartolomeu de Messines	706
Paderne	664

O trabalho do INAG (Almeida *et al.*, 2000) refere que a precipitação média da região é de 650 mm/ano considerando as mesmas quatro estações. Verifica-se que a diferença entre os dois valores não é significativa.

Oliveira (2004) definiu recarga de um sistema aquífero como a “quantidade de água que é acrescentada à zona saturada da água subterrânea”. A recarga apresenta uma grande importância

no ciclo hidrológico, pois se não houvesse recarga do sistema aquífero depois de captações este ficaria esgotado. Visto que a recarga dos aquíferos se dá em profundidade é impossível medir directamente os seus valores e logo toda a sua medição é feita mediante métodos indirectos. Este assunto é abordado mais especificamente na secção seguinte.

A captação do sistema aquífero Querença-Silves é analisada neste trabalho segundo dois pontos, a análise quantitativa e a análise da qualidade da água para produção de água de consumo humano.

5.4.4. Recarga Natural

Diferentes métodos são propostos para medir a recarga natural de um sistema aquífero. No início, para o sistema aquífero Querença-Silves efectuou-se o cálculo da recarga por um balanço utilizando a obtenção directa de outros valores do ciclo hidrológico que influenciam a recarga, ou seja, pelo balanço entra as entradas (precipitação) e as saídas (captações, nascentes) do aquífero, no entanto este método rapidamente se verificou ser bastante impreciso. De seguida a recarga média do Querença-Silves passou a ser calculado pela análise da superfície geológica e consequente modelação da recarga. No trabalho do INAG (Almeida *et al.*, 2000) foi considerado que dos 318 km² de área do aquífero 47 km² seriam rochas de baixa permeabilidade ou impermeáveis e assim obteve-se um valor de recarga de 40±10 % da precipitação anual ou seja uma recarga natural de 70±17 hm³/ano. De forma a se obter estes valores de precipitação foi utilizado o método dos polígonos de Thiessen. Viera *et al.* (2003 em Monteiro, 2005) utilizou uma melhor aproximação de modelo de recarga e de análise da área superficial do aquífero (cf. Figura 24) e pela utilização dos mapas digitais de precipitação de Nicolau (2002 em Monteiro, 2005) obteve uma recarga média anual do sistema aquífero Querença-Silves de 93 hm³/ano.

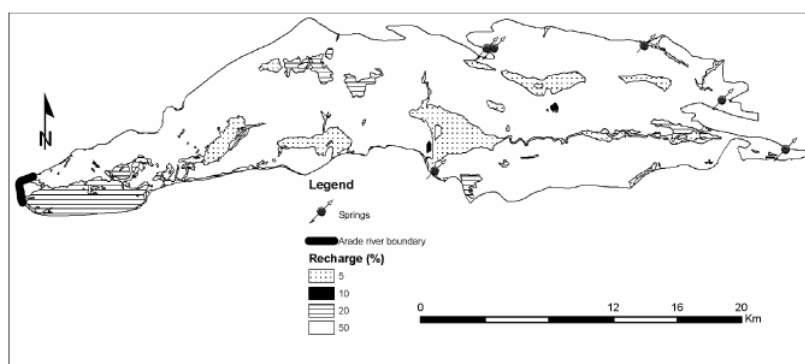


Figura 24 – Percentagem de recarga de várias zonas do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de Monteiro *et al.*, 2006a)

Os modelos atrás apresentados funcionam num passo temporal mensal. Com a finalidade de obter uma estimativa diária mais recente, Lobo-Ferreira (1981) desenvolveu o modelo BALSEQ, um modelo sequencial diário de avaliação da recarga natural de um sistema aquífero e aplicou nos aquíferos da ilha de Porto Santo no arquipélago da Madeira. Ao longo dos anos este método tem sido aperfeiçoado e aplicado em diferentes sistemas aquíferos.

A secção 5.4.5 é dedicada a uma explicação mais detalhada do modelo BALSEQ e à aplicação do modelo ao sistema aquífero Querença-Silves.

5.4.5. Análise da recarga pela utilização do modelo BALSEQ

5.4.5.1. Introdução ao modelo BALSEQ

Lobo-Ferreira (1981) desenvolveu um modelo com o propósito de estimar a recarga natural dos sistemas aquíferos da ilha de Porto Santo na Madeira, denominando-o de BALSEQ (BALanço Sequencial diário). Ao longo dos anos este modelo tem sido desenvolvido e aplicado em diferentes áreas.

A configuração hidrológica utilizada pelo modelo BALSEQ é a representada na Figura 25.

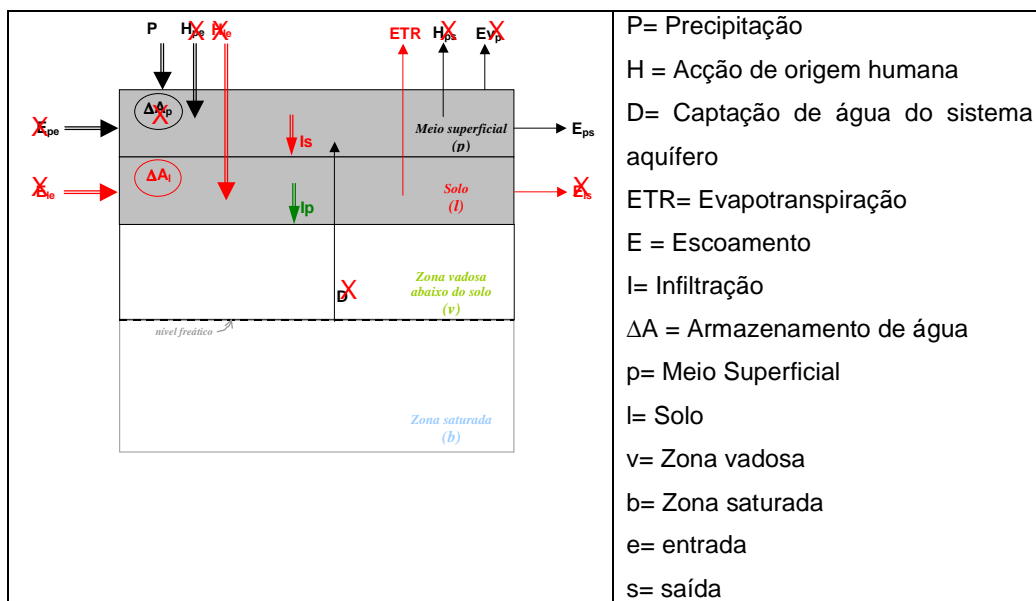


Figura 25 - Configuração hidrológica utilizada pelo modelo BALSEQ (retirado de Oliveira, 2004)

Esta configuração é obtida tendo em conta cinco considerações (Oliveira, 2004):

1. A única entrada de água no volume é a água de precipitação ($E_{pe}=0$, $E_{le}=0$, $H_{pe}=0$, $H_{le}=0$);
2. Não há descarga de águas subterrâneas para o meio superficial ($D=0$);
3. O escoamento no solo é vertical, pelo que não há saída lateral do volume de controlo por esse meio ($E_{ls}=0$);
4. Não há formas de armazenamento de água superficial pelo que também não há evaporação de água superficial ou ambas são desprezáveis ($\Delta A_p=0$, $E_{vp}=0$);
5. Não há extracção de água superficial ($H_{ps}=0$).

Estas cinco considerações permitem a simplificação da equação do balanço hidrológico aplicada ao volume de controlo acima representado na equação 5.1.

$$I_p = P - E_{ps} - ETR - \Delta A_l \quad \text{Eq. 5.1.}$$

Também devido às considerações acima apresentadas é possível concluir que o valor da Infiltração Profunda (I_p) será igual à recarga do aquífero (R) e assim a equação 5.1 transforma-se na

equação 5.2.

$$R = P - E_{ps} - ETR - \Delta A_l \quad \text{Eq. 5.2.}$$

A aplicação do modelo só é possível se o nível freático não atingir a zona do solo.

Uma explicação mais pormenorizada do modelo BALSEQ encontra-se em Lobo-Ferreira (1981) e Oliveira (2004), tal não é efectuado no relatório visto que se encontra fora dos objectivos propostos.

Verifica-se, então, necessário, para a aplicação do modelo, o conhecimento de valores de precipitação, da evapotranspiração real e do tipo de solo (e suas características) e da cobertura do solo. Considera-se ainda a geologia da região visto que uma correcta aproximação da realidade é através da soma do valor do escoamento directo quando as condições geológicas assim o permitem (e.g. aquíferos altamente carsificados).

5.4.5.2. Aplicação do modelo ao caso estudo e resultados

Para aplicação do BALSEQ ao sistema aquífero Querença-Silves utilizaram-se diferentes dados disponíveis. Notou-se, no entanto, a necessidade de se utilizar uma versão mais desenvolvida do BALSEQ para o caso estudo, esta denomina-se BALSEQ_MOD e tem como entrada o mesmo tipo dados mas o desenvolvimento é efectuado de uma diferente forma. A aplicação do modelo BALSEQ_MOD ao sistema aquífero Querença-Silves foi feita no âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaterNet e os resultados obtidos foram utilizados neste relatório para um diferente entendimento da recarga natural do sistema aquífero em questão.

Os valores diários de precipitação utilizados pertencem à estação automática de São Bartolomeu de Messines da Rede Nacional de estações meteorológicas automáticas do Instituto de Meteorologia português e cujos dados se encontram disponíveis *online* na página do SNIRH - INAG (<http://snirh.inag.pt>). O balanço foi efectuado com valores diários de precipitação dos anos hidrológicos desde Outubro de 1941 até Setembro de 1991.

Para a evapotranspiração de referência utilizou-se os dados de 50 anos da estação meteorológicas da Praia da Rocha (Portimão) visto ser a estação mais próxima do caso de estudo.

O mapa dos solos utilizados foi o mapa produzido pelo IHERA à escala 1:25 000.

A informação referente à ocupação do solo utilizada corresponde aos mapas à escala 1:100 000 providenciados pelo Corine Land Cover (<http://www.igeo.pt>) e produzidos pelo Centro Nacional de Informação Geográfica (CNIG) e aos mapas Soil Occupation Map [COS'90] à escala 1:25 000 igualmente produzidos pelo CNIG (Oliveira, 2004). Em anexo encontra-se o mapa de ocupação de solo [COS'90] (Anexo 8) e Corine Land Cover (Anexo 9) da área em estudo e à escala considerada.

O modelo BALSEQ_MOD encontra-se preparado para trabalhar com a informação de ocupação de solos COS'90 mas tal não se encontrava disponível para o Querença-Silves e logo foi necessário converter os dados de solos Corine Land Cover em COS'90. Para tal utilizou-se o trabalho de Oliveira (2004) e os solos dos sistemas aquíferos de Quarteira e Albufeira - Ribeira de Quarteira (i.e. os casos de estudo do trabalho Oliveira, 2004).

O resultado final é o que se apresenta na Figura 26. O valor de recarga anual média obtida através da média ponderada das diferentes áreas consideradas do sistema aquífero foi 323 mm/ano

(102,82 hm³/ano).

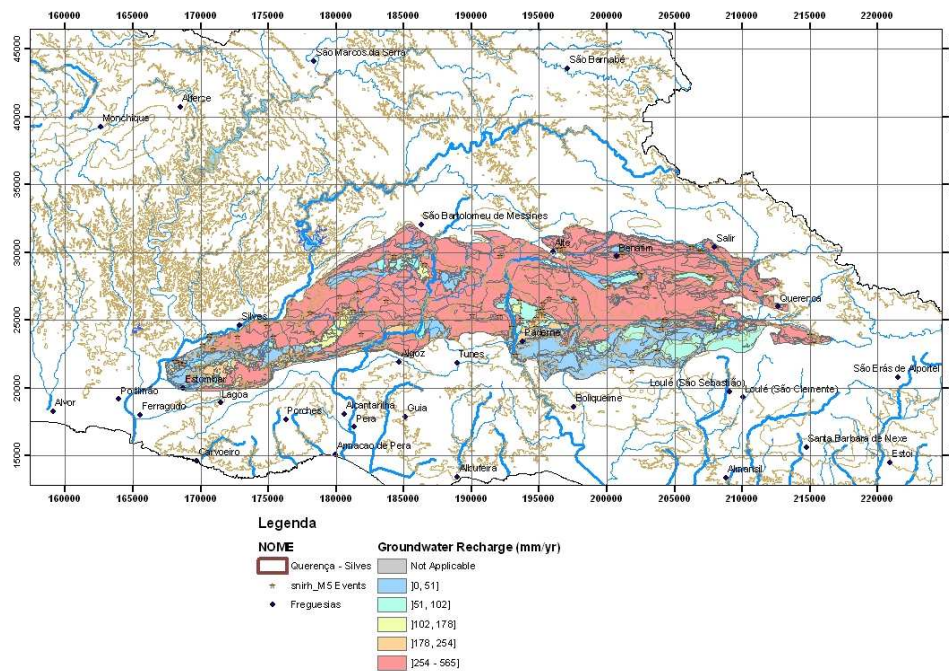


Figura 26 – Distribuição espacial da recarga natural do sistema aquífero Querença-Silves pela aplicação do modelo BALSEQ_MOD

5.4.5.3. Análise crítica dos resultados

Alguns comentários críticos e conclusões poderão ser efectuados através da análise dos resultados.

Algo a ter em conta é facto de se ter utilizado várias aproximações de forma a se obter a modelação para o sistema aquífero. Estas aproximações devem-se ao facto de que o sistema aquífero Querença-Silves, apesar de ser o maior e mais importante sistema aquífero do Algarve, não apresenta tantos dados de piezometria quanto a sua importância. Verifica-se ainda a indisponibilidade da maioria dos dados.

De entre as aproximações efectuadas destacam-se duas, a utilização da evapotranspiração de referência da estação da Praia da Rocha (Portimão) e a conversão dos dados de ocupação de solo à escala 1:100 000 providenciados pelo Corine Land Cover em dados de ocupação de solo Soil Occupation Map [COS'90] à escala 1:25 000. Em relação à primeira aproximação verifica-se que a distância entre Portimão e o sistema aquífero em estudo não é muito significativa e logo pode-se considerar uma boa aproximação. A conversão de dados com informação e escala diferente poderia ser considerada uma má aproximação, no entanto, o facto de se ter utilizado os solos de sistemas aquíferos próximos do Querença-Silves (de Quarteira e Albufeira-Ribeira de Quarteira) verifica uma realidade de solo semelhante.

Pode verificar-se que na generalidade o sistema aquífero pertence ao intervalo [254;565] mm/ano, ou seja, o intervalo superior da recarga. Um possível razão para este resultado é o facto de o sistema aquífero Querença-Silves ser bastante carsificado e de forma a se obter uma boa

aproximação da realidade adicionou-se o valor do escoamento directo, quando a geologia assim o permitia (e.g. zonas carsificadas), ao valor de recarga obtido de forma a obter o total de recarga.

O modelo BALSEQ é funcional quando o nível freático é inferior ao nível do terreno, no entanto, a realidade dos sistemas aquíferos é de que isso não acontece sempre e o caso do Querença-Silves não é excepção. O sistema aquífero Querença-Silves é atravessado por várias ribeiras e apresenta nos seus limites algumas das nascentes mais importantes do Algarve Central. Essas ribeiras estão em estreita ligação com o sistema aquífero Querença-Silves (como se verifica na Figura 19), mas a recarga natural calculada pelo modelo não considera estas entradas e saídas. No entanto, esta particularidade não é um problema significativo pelo facto de que a área ocupada pelas ribeiras representa um valor muito pequeno comparativamente com a área total do sistema aquífero.

Em relação ao valor total obtido para a recarga natural anual média verifica-se que o resultado obtido foi superior aos calculados pelo INAG (Almeida *et al.*, 2000) e por Viera *et al.* (2003 em Monteiro, 2005).

5.4.6. Captação de água

5.4.6.1. Análise quantitativa

O sistema aquífero Querença-Silves é, como mencionado anteriormente, o maior e mais importante sistema aquífero da região do Algarve e logo é normal que durante a seca extrema de 2004/2005 este aquífero tenha servido como reservatório natural de água de emergência. Monteiro (2005) estimou que durante o ano de 2005 a taxa de captação na zona do Vale da Vila (campo de captação do sistema aquífero Querença-Silves) foi de 500 L/s.

No histórico dos recursos dos hídricos no Algarve, apresentado na secção 5.3.1, foi referido que a década de 60 se deu início a uma alta exploração dos sistemas aquíferos algarvios. Os dados provenientes do ex-Inventário Nacional de Saneamento Básico (INSB- INAG), que actualmente são apresentados no relatório do Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais (INSAAR- INAG), de 1994 apresentam uma captação total do sistema aquífero Querença-Silves de $12 \cdot 10^6 \text{m}^3$, por parte dos quatro municípios do aquífero (Silves – $7,3 \cdot 10^6 \text{m}^3$, Albufeira – $2,5 \cdot 10^6 \text{m}^3$, Lagoa – $2,2 \cdot 10^6 \text{m}^3$ e Loulé – $2,5 \cdot 10^5 \text{m}^3$).

Depois de 2000 com o decréscimo da importância dos sistemas aquíferos a captação por parte dos municípios foi inferior. Pela utilização de 69 pontos do ex-INSB verifica-se para o ano de 2002 uma captação total de $6,2 \cdot 10^6 \text{m}^3$ no Querença-Silves por parte dos mesmos quatro municípios (ou seja, quase metade do volume captado no ano de 1994).

Durante o período de seca de 2004/2005 aumentou a importância dos furos na zona do Vale da Vila de forma a se extrair água para abastecimento público. Monteiro *et al.* (2006a) estimou que o volume de extracção do sistema aquífero Querença-Silves durante aquele período seco foi de $50,29 \cdot 10^6 \text{m}^3$. Na Tabela 13 apresentam-se os utilizadores que foram responsáveis pela extracção do volume atrás mencionado.

Tabela 13 – Volume e percentagem de água captada do sistema aquífero Querença-Silves durante o ano seco de 2004/2005

	Volume de água captada (*10 ⁶ m ³ /ano)	Percentagem do total captado
Agricultura	23,79	47,31%
Abastecimento Urbano- Sistema Regional do Algarve	14,25	28,34%
Abastecimento Urbano – concelhos locais	12,25	24,36%
Utilizadores privados	Não disponível	-
Total	50,29	100%

5.4.6.2. Análise Qualitativa

Nesta secção será abordada a análise qualitativa da água do sistema aquífero Querença-Silves do ponto de vista da análise de água de origem para produção de água para consumo humano, ou seja, segundo o Decreto-Lei n.º 236/98 apresentado no capítulo 4.

Como foi referido no capítulo 4, o Decreto-Lei n.º 236/98 divide a água de origem para produção de água para consumo humano em três classes: A1, A2 e A3. Sendo a classe A1 a referente a água com melhor qualidade e logo necessitando de tratamentos menos exigentes para ser considerada água de consumo humano e a classe A3 a referente à água com pior qualidade. Todas as águas que tenham qualidade inferior a A3 não podem ser utilizadas para a produção de água para consumo humano. O mesmo Decreto-Lei refere que no caso da água ser de origem subterrânea apenas a água com qualidade A1 é considerada origem para produção de água para consumo humano (como algumas excepções referidas no capítulo 4).

O INAG efectua regularmente análises aos diferentes recursos hídricos e disponibiliza-os online na página do SNIRH (<http://snirh.inag.pt>). Nesta análise é feita a divisão das origens de água em quatro tipos, conforme a sua qualidade: A1, A2, A3 e qualidade inferior a A3. A Figura 27 representa a percentagem de ocorrência anual de cada uma das quatro classes entre 1995 e 2005.

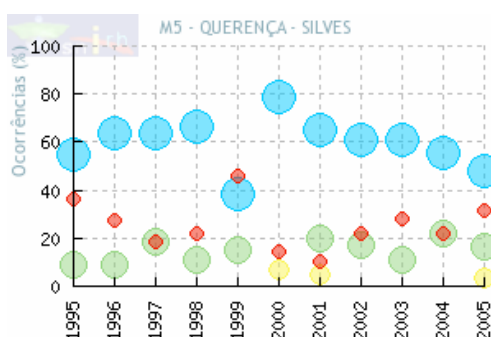


Figura 27 – Percentagem de ocorrências de quatro classes de qualidade de água ao longo dos anos do sistema aquífero Querença-Silves (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

Na Figura 27 os pontos azuis correspondem a ocorrências com qualidade A1, os verdes à qualidade A2, os amarelos à A3 e os pontos vermelhos à pior qualidade (inferior a A3).

É possível através da análise da figura que na maioria dos anos se verifica uma alta percentagem de ocorrência de água com a qualidade mais alta (A1) e com excepção do ano de 1999

a ocorrência é sempre superior a 40% do total. Uma explicação para a inversão da qualidade verificada em 1999 é o facto de que o ano hidrológico de 1998/1999 foi considerado um ano de seca moderada a severa em todo o país (cf. Tabela 6).

Como a seca é um dos objectos de estudo deste trabalho e a seca mais recente foi a seca severa de 2004/2005 é necessário verificar como reagiu o sistema aquífero Querença-Silves a essa seca. A qualidade e a quantidade da água subterrânea são influenciados de uma forma posterior pelas secas, i.e. quando uma seca aflige uma região os sistemas aquíferos não se ressentem imediatamente na sua qualidade e quantidade. Assim, de forma entender a influência da seca de 2004/2005 no Querença-Silves é necessário verificar os dados de 2005.

A Figura 28 representa os locais de análise no Querença-Silves e a qualidade obtida para esses pontos de acordo com as quatro classes apresentadas acima. Nesta figura verifica-se a presença de um grande número de análises com qualidade de água A1 na zona Centro-Oeste do aquífero. Estes pontos são o Vale da Vila, local que serviu de captação de emergência durante a seca de 2004/2005. De notar, ainda, na zona Oeste do sistema aquífero a enorme presença de análises com qualidade de água inferior a A3. No relatório (Anexo 10) que acompanha esta figura no site do SNIRH (<http://snirh.inag.pt>) é referido que aqueles pontos pertenciam àquela classe visto que o parâmetro da condutividade eléctrica ultrapassava os valores admissíveis.

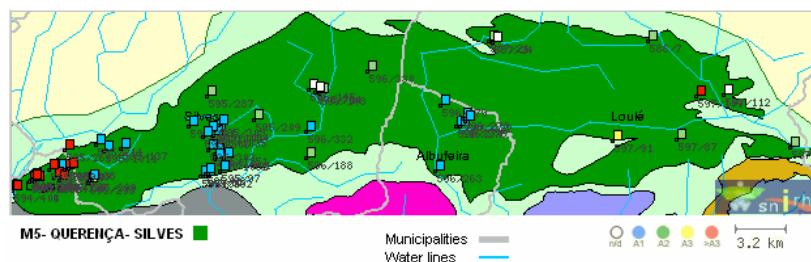


Figura 28 – Qualidade da água subterrânea do sistema aquífero Querença-Silves no ano de 2005, segundo as classes do Decreto-Lei 236/98 (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

Uma possível razão à presença excessiva do parâmetro condutividade eléctrica, indicador da presença de iões, naqueles pontos é o facto de que o estuário do rio Arade se encontrar em contacto com a zona mais Oeste do sistema aquífero Querença-Silves.

5.4.7. Análise da Vulnerabilidade do Sistema Aquífero à poluição

5.4.7.1. Introdução ao Método DRASTIC

Lobo-Ferreira *et al.* (1991) definiram vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição como “a sensibilidade da qualidade das águas subterrâneas a uma carga poluente, função apenas das características intrínsecas do aquífero”, criando assim uma distinção entre vulnerabilidade e risco à poluição. É possível haver um aquífero com alta vulnerabilidade à poluição mas com baixo risco devido à ausência de fontes poluidoras e em oposição uma constante descarga poluente coloca o sistema aquífero em grande risco de ficar poluído mesmo que não tenha grande valor de vulnerabilidade à poluição. O conhecimento da vulnerabilidade de um sistema aquífero para a poluição é muito importante para a correcta utilização do aquífero. Se um aquífero apresentar um

valor de vulnerabilidade à poluição muito alto é necessário considerar qualquer empreendimento que envolva esse aquífero, podendo este ser mesmo considerado um aquífero com estatuto de protecção (garantindo uma melhor da qualidade da água do aquífero).

Existem diferentes metodologias de análise da vulnerabilidade de um sistema aquífero à poluição. Um dos mais utilizados é o método DRASTIC, desenvolvido por Aller *et al.* (1987) a partir de quatro suposições:

1. O poluente é descarregado à superfície;
2. O poluente apenas se movimenta verticalmente por acção da infiltração da água;
3. O poluente tem uma mobilidade semelhante à da água;
4. A área mínima que pode ser avaliada é 0,4 km².

O método DRASTIC permite avaliar várias áreas (conforme a escala utilizada) de um sistema aquífero segundo oito intervalos de vulnerabilidade, sendo o intervalo [23-79] correspondente à vulnerabilidade mais baixa e [200-226] à vulnerabilidade mais alta.

Esta metodologia é aplicada através de sete parâmetros devidamente pesados:

D- Profundidade ao nível freático (Depth to the water table)

Refere-se à distância necessária a ser percorrida por um poluente desde a superfície até ao nível saturado do sistema aquífero. Aller *et al.* (1987) considera que a avaliação do parâmetro D é feita de acordo com a Tabela 14.

Tabela 14 – Equivalência entre o parâmetro “Distância ao nível freático” e o valor DRASTIC

D- Distância ao nível freático (m)	Valor
<1,5	10
1,5-4,6	9
4,6-9,1	7
9,1-15,2	5
15,2-22,9	3
22,9-30,5	2
>30,5	1

R- Recarga do aquífero (Net recharge)

O R corresponde à distribuição espacial da recarga natural de um sistema aquífero. A Tabela 15 relaciona o valor DRASTIC com a recarga natural anual do aquífero (mm/ano) (Aller *et al.*, 1987).

Tabela 15 - Equivalência entre o parâmetro “Recarga do aquífero” e o valor DRASTIC

R- Recarga do aquífero (mm/ano)	Valor
< 51	1
51-102	3
102-178	6
178-254	8
>254	9

A- Material do aquífero (Aquifer Media)

O parâmetro A é referente à capacidade do material do aquífero em reduzir o efeito de um determinado poluente. Aller *et al.* (1987) considera nove tipos de materiais de aquífero e a sua relação com os valores DRASTIC a atribuir está presente na Tabela 16.

Tabela 16 - Equivalência entre o parâmetro “Material do aquífero” e o valor DRASTIC

A- Material do aquífero	Valor
Xisto argiloso, argilito	1-3 (2)
Rocha metamórfica/ígnea	2-5 (3)
Rocha metamórfica/ígnea alterada	3-5 (4)
Arenito, calcário e argilito estratificados	5-9 (6)
Arenito maciço	4-9 (6)
Calcário maciço	4-9 (6)
Areia e balastro	4-9 (8)
Basalto	2-10 (9)
Calcário carsificado	9-10 (10)

Este parâmetro não considera um valor exacto por material de aquífero mas um intervalo de valores em que o valor a atribuir depende da realidade do aquífero (e.g. um calcário maciço poderá ser mais ou menos fracturado e assim mais ou menos vulnerável). Entre parêntesis estão os valores tipicamente atribuídos quando não se conhece pormenorizadamente a realidade do aquífero.

S- Tipo de solo (Soil Media)

Apesar do solo ter um grande impacto na recarga do sistema aquífero (i.e. no parâmetro R) este é diferenciado no método DRASTIC pelo facto de que um solo pode ter um papel atenuador nos efeitos do poluente. A Tabela 17 apresenta onze tipos de solos e o seu valor DRASTIC correspondente, criado por Aller *et al.* (1987).

Tabela 17 - Equivalência entre o parâmetro “Tipo de solo” e o valor DRASTIC

S-Tipo de solo	Valor
Fino ou ausente	10
Balastro	10
Areia	9
Turfa	8
Argila agregada e/ou expansível	7
Franco arenoso	6
Franco	5
Franco siltoso	4
Franco argiloso	3
“Muck”	2
Argila não agregada e não expansível	1

T- Topografia (Topography)

O parâmetro topografia corresponde ao declive da área de ocorrência do sistema aquífero. A Tabela 18 criada por Aller *et al.* (1987) apresenta qual a correspondência entre o valor DRASTIC e a percentagem do declive.

Tabela 18 - Equivalência entre o parâmetro “Topografia” e o valor DRASTIC

T- Topografia (%)	Valor
<2	10
2-6	9
6-12	5
12-18	3
>18	1

I- Influencia da zona vadosa (Impact of the vadose zone media)

Este parâmetro considera a influência que a zona vadosa tem no tempo de percolação vertical de um poluente. A relação entre o valor DRASTIC e onze tipos de materiais da zona não saturada está presente na Tabela 19. Também neste parâmetro aplicam-se intervalos de valores de DRASTIC a atribuir e um valor típico no caso de não se conhecer a realidade do aquífero.

Tabela 19- Equivalência entre o parâmetro “Influência da zona vadosa” e o valor DRASTIC

I- Influencia da zona vadosa	Valor
Camada confinante	1
Argila/Silte	2-6 (3)
Xisto argiloso, argilito	2-5 (3)
Calcário	2-7 (6)
Arenito	4-8 (6)
Arenito, calcário e argilito estraticados	4-8 (6)
Areia e balastro com percentagem significativa de silte e argila	4-8 (6)
Rocha metamórfica/ígnea	2-8 (4)
Areia e balastro	6-9 (8)
Basalto	2-10 (9)
Calcário carsificado	8-10 (10)

C- Condutividade hidráulica do aquífero (Hydraulic conductivity of the aquifer)

A condutividade hidráulica do aquífero influencia a vulnerabilidade à poluição porque esta determina o escoamento do sistema aquífero. Seis intervalos de condutividade são considerados por Aller *et al.* (1987) para a atribuição dos valores DRASTIC e que estão presentes na Tabela 20.

Tabela 20- Equivalência entre o parâmetro “Condutividade hidráulica do aquífero” e o valor DRASTIC

C- Condutividade hidráulica do aquífero (m/dia)	Valor
<4.1	1
4.1-12.2	2
12.2-28.5	4
28.5-40.7	6
40.7-81.5	8
>81.5	10

Estes sete parâmetros são pesados com valores entre 1 (menor importância) até 5 (maior importância) (cf. Tabela 21). O método DRASTIC considera pesos diferentes para cada poluente, apresentando a tabela os valores para pesticidas e um outro poluente.

Tabela 21 – Pesos de ponderação de cada parâmetro DRASTIC

Parâmetro	D	R	A	S	T	I	C
Peso Normal	5	4	3	2	1	5	3
Peso de Pesticida	5	4	3	5	3	4	2

Depois de atribuído o valor de cada parâmetro DRASTIC a cada área do aquífero obtém-se os valores DRASTIC através da equação 5.3, ou seja, uma soma ponderada dos vários parâmetros.

$$DRASTIC = D_p * D_i + R_p * R_i + A_p * A_i + S_p * S_i + T_p * T_i + I_p * I_i + C_p * C_i \quad \text{Eq. 5.3.}$$

Na equação 5.3 o índice p corresponde ao valor de ponderação (peso) de cada parâmetro e o índice i corresponde ao valor atribuído para cada parâmetro segundo as tabelas acima apresentadas.

5.4.7.2. Aplicação do método DRASTIC ao caso estudo e resultados

A obtenção dos valores DRASTIC para as zonas de ocorrência do Querença-Silves foi efectuada através da manipulação em sistemas de informação geográfica de várias informações.

Para a obtenção da distância ao nível freático (parâmetro D) foi necessário fazer uma interpolação de dados. Utilizou-se, para tal, 53 pontos da base de dados *online* do SNIRH-INAG (<http://snirh.inag.pt>) onde se encontram identificados a altitude, as suas coordenadas X e Y e os valores de piezometria. Através da diferença entre a altitude e a piezometria média de cada ponto obteve-se a distância média ao nível freático em cada ponto, considerando que o sistema aquífero se encontra maioritariamente livre. A interpolação de cada distância média foi feita pelo método das distâncias inversas ponderadas com células de 100 metros. A Figura 29 apresenta o resultado da interpolação efectuada.

Para o parâmetro R, ou seja recarga do sistema aquífero, utilizou-se os valores obtidos no modelo BALSEQ, na secção 5.4.5.

A caracterização do material do aquífero (parâmetro A) efectou-se com a carta geológica à escala 1:50 000.

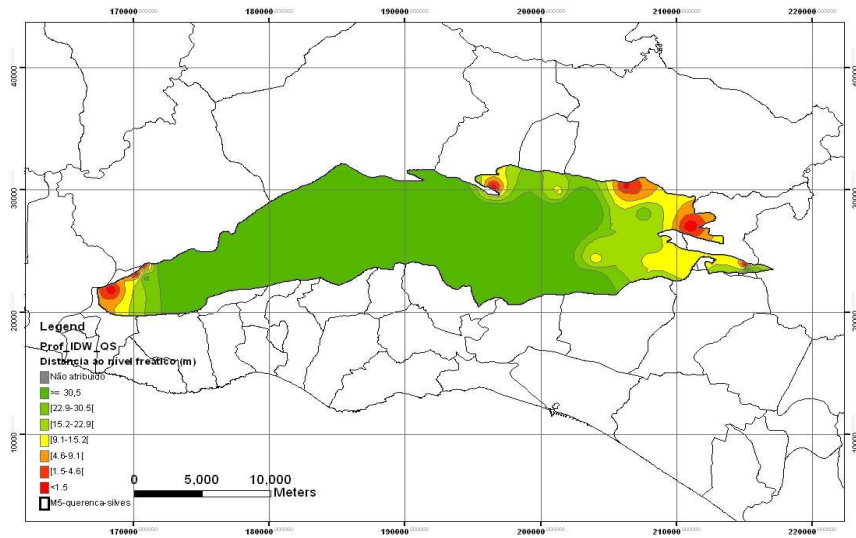


Figura 29 – Mapa da profundidade ao nível freático do sistema aquífero Querença-Silves

Para o parâmetro S, referente ao tipo de solo, utilizou-se a mesma carta que foi utilizada para a modelação do BALSEQ aplicado ao sistema aquífero Querença-Silves, a carta de solos produzida pela IHERA à escala 1:25 000.

A caracterização da topografia (declive) foi efectuada pela utilização das cartas militares de curvas de nível à escala 1: 25 000 do Instituto do Geográfico do Exército.

Em relação ao parâmetro I que corresponde à influência da zona vadosa os dados obtidos basearam-se nos dados sobre o material do aquífero (parâmetro A) e logo as mesmas cartas.

O parâmetro referente à condutividade (C) baseou-se em duas informações. Por um lado utilizou-se os valores fornecidos pelo INAG e apresentados anteriormente e por outro lado utilizou-se a mesma informação geológica utilizada para os parâmetros A e I de forma a se poder diferenciar zonas com maior ou menor condutividade hidráulica.

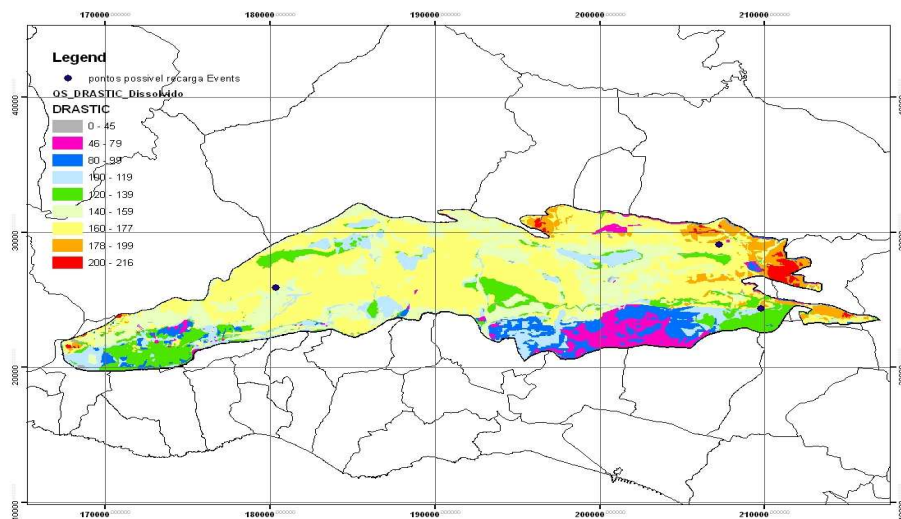


Figura 30 – Resultado da aplicação do método DRASTIC ao sistema aquífero Querença-Silves

O resultado final da aplicação do método DRASTIC ao sistema aquífero Querença-Silves

apresenta-se na Figura 30.

Uma análise crítica aos dados utilizados para aplicação do método e consequentes resultados obtidos é efectuada na secção seguinte.

5.4.7.3. Análise crítica aos resultados obtidos

Alguns comentários críticos e conclusões poderão ser efectuados à vulnerabilidade do sistema aquífero através da análise dos resultados.

Em relação aos dados utilizados é possível verificar que várias aproximações tiveram de ser efectuadas e como tal apresentam erro associado.

Uma das aproximações foi a utilização de diferentes escalas para a aplicação do método (e.g. escala 1:50 000 para o parâmetro A, I e C e escala 1:25 000 para os parâmetros S e T). Tal aproximação não apresenta grande erro associado visto que as escalas são muito próximas.

Uma aproximação com grande influência nos resultados finais foi o do parâmetro da distância ao nível freático. Como é possível verificar-se na Tabela 21 o parâmetro D é, a par com o parâmetro I, o parâmetro com maior peso no resultado final do DRASTIC. Esta conclusão é possível verificar-se na figura do resultado final (Figura 30) onde as zonas com maior valor DRASTIC são as zonas onde existem nascentes, ou seja, a distância ao nível freático é igual, ou aproximadamente, zero.

Assim duas críticas relacionadas com o parâmetro D poderão ser efectuadas ao valor final do DRASTIC aplicada ao sistema aquífero Querença-Silves. O facto de se ter obtido a distância ao nível freático pela interpolação de dados médios leva à existência de vários erros (e.g. interpolação) no resultado final. Outra crítica é o facto de o método DRASTIC estar desenhado para poluentes colocados à superfície e que efectuem uma percolação ao longo da zona não vadosa até chegar ao nível freático, no entanto, em sistemas aquíferos muito carsificados ou fracturados (como é o caso do sistema aquífero Querença-Silves) a percolação é um passo facilmente ultrapassável e assim um poluente colocado à superfície rapidamente chega ao nível freático em zonas muito carsificadas ou fracturadas, colocando a distância entre a superfície e o nível freático com pouca influência.

Outro parâmetro com potencial erro associado é o parâmetro R visto que este partiu da utilização do método BALSEQ que se baseia na utilização de variáveis que podem apresentar erros.

Da análise da figura do resultado final do método DRASTIC aplicado ao sistema aquífero Querença-Silves (Figura 30) verifica-se que o sistema se encontra maioritariamente em zonas de vulnerabilidade média-alta, sendo o intervalo 160-177 predominante.

Apesar de vários erros associados à aplicação do método esta é uma primeira aproximação de análise espacial de vulnerabilidade à poluição ao sistema aquífero Querença-Silves.

6. Aplicação da técnica ao caso de estudo

6.1. Apresentação do capítulo

A resolução de um problema envolve o correcto entendimento dos vários intervenientes. Para tal é necessário identificá-los e colocar certas questões:

i) O problema – O que o provocou? Que impactos tem? É temporário? É um problema constante ou é a primeira vez que este acontece? As consequências deste são reversíveis?

ii) O objecto de estudo – Quais são as suas características naturais? De que forma sofre com os impactos do problema? Este está abrangido por algum estatuto especial?

iii) A solução para o problema – Que tipo de solução é: técnica, política, económica? Quais as suas vantagens e desvantagens? Que tipo de restrições poderá haver para a sua aplicação?

Muitas outras questões terão de ser feitas de forma a atingir uma boa resolução do problema.

A caracterização dos vários intervenientes relacionados com o tema deste relatório está realizada. O problema (i.e. as secas) foi caracterizado no Capítulo 2, no Capítulo 3 foram apresentadas técnicas que podem servir como solução para o problema (i.e. recarga artificial e armazenamento subterrâneo), o objecto de estudo (i.e. o sistema aquífero Querença-Silves e o Algarve) foi identificado e devidamente caracterizado no Capítulo 5 e o Capítulo 6 explica as restrições legislativas que a aplicação da solução poderá ter no objecto de estudo.

Assim, é necessário encontrar uma ligação entre os vários “actores”, ou seja, analisar se a aplicação de recarga artificial e armazenamento subterrâneo no sistema aquífero Querença-Silves irá colmatar o problema da falta de água devido a uma seca no Algarve.

A ideia de efectuar armazenamento subterrâneo de água para períodos de emergência não é nova. Noutros países do mundo essa ideia já foi posta em prática com as estações de furos de armazenamento subterrâneo e extracção aplicados a sistemas aquíferos, explicados no Capítulo 3.

Com esse propósito diferentes análises serão efectuadas neste capítulo havendo, no entanto, uma margem de estudo maior àquela presente no relatório.

De forma a verificar a aplicabilidade da técnica ao caso estudo as análises efectuadas neste capítulo são: 1) a escolha de áreas para a recarga artificial no Querença-Silves, esta é feita com a utilização de dois factores, a análise dos dados recolhidos durante uma viagem de campo e a “Metodologia de identificação preliminar de áreas candidatas para recarga artificial”, 2) verificação da características qualitativas e quantitativas da origem de água para a recarga, 3) a averiguação do tempo de residência da água no sistema aquífero Querença-Silves para o caso específico e 4) análise de outros factores que poderão restringir ou favorecer a aplicação da solução.

6.2. Escolha da área de recarga

De forma a verificar a aplicabilidade da recarga artificial ao Querença-Silves é necessário proceder à verificação da existência de áreas que possam ser utilizadas como locais para a recarga artificial.

Esse objectivo foi concretizado com dois estudos, um no campo, realizado com uma visita de campo ao Querença-Silves e a aplicação Metodologia de identificação preliminar de áreas candidatas

para recarga artificial desenvolvida no âmbito do projecto GABARDINE (cf. Lobo-Ferreira *et al.*, 2007) com desenvolvimento prévio pela análise das áreas de infiltração máxima publicado em Oliveira *et al.* (2002).

6.2.1. Visita de campo

A visita de campo ao caso de estudo efectuou-se no dia oito de Maio de 2007 com os principais objectivos de conhecer a realidade do caso em estudo e seleccionar possíveis áreas para recarga artificial e a sua localização relativa à Barragem do Arade.

A visita iniciou-se pela zona Este do sistema aquífero pela estrada de Salir sendo o primeiro ponto de paragem duas fábricas de tijolo (uma em funcionamento e outra desactivada) na aldeia de Tôr onde se verificou que a extracção do solo para a produção de tijolo levou à formação de lagoas onde a água presente poderá ter duas origens, o armazenamento de água das chuvas ou do facto de se ter atingido o nível freático com a escavação. Esta segunda possibilidade tem hipóteses de ser real visto que se verifica na Figura 29 que a zona das fábricas de tijolo não apresenta grande distância ao nível freático.

De seguida a viagem percorreu-se para Norte até a uma zona de grande depressão de terreno denominada Nave do Barão, a Sudoeste de Salir.

Seguiu-se para Salir encontrando entretanto uma zona com uma grande densidade de noras e onde foi possível verificar-se numa delas que apresentava um nível freático alto, sendo a distância entre a superfície de terreno e o nível de água de cerca de 2,5 metros. Esta zona localiza-se perto de uma aldeia denominada Fonte Figueira.

O próximo ponto de paragem foi a Vila de Salir, seguindo pela zona Norte do sistema aquífero até à zona da Pena (onde se localizam algumas zonas com estatuto de protecção ambiental) e por fim à vila de Alte. Nesta última paragem verificou-se que as fontes da vila, ou seja, a Fonte Grande de Alte e a Fonte Pequena de Alte apresentavam um bom caudal, sendo estas fontes nascentes da ribeira do Alte (ribeira que percorre o sistema aquífero Querença-Silves de Norte a Sul).

O percurso continuou directo a Messines de Baixo, seguindo-se de São Bartolomeu de Messines.

As paragens seguintes foram nas barragens do Funcho e do Arade de forma a se ter uma ideia da realidade do sistema Arade-Funcho e da localização do novo túnel Funcho-Odelouca.

Seguiu-se uma paragem na cidade de Silves tentando-se percorrer o percurso do rio Arade desde a barragem do Arade até à cidade.

Houve então a necessidade de se conhecer um pouco mais da zona mais interior do sistema aquífero e como tal a direcção a seguir foi Este passando pelo Vale da Vila (local que já foi referida a sua importância noutras secções) até à vila de Algoz. No percurso verificou-se a existência de um local com consideráveis áreas desocupadas, possivelmente antigos locais de cultivo abandonados. Este local, denominado *Fonte de Louseiros* (cf. Figura 31), verificou-se ser relativamente próximo do sistema Arade-Funcho e com a presença de algumas “noras”. Foi impossível verificar as condições do nível da água nas “noras”, visto que estas tinham sido desactivadas e como tal encontravam-se cobertas ou inacessíveis.



Figura 31 – Localização do possível ponto para a recarga artificial (obtido pelo Google Earth)

A visita de campo terminou seguindo para Este de forma a entrar na estrada IC1.
 O percurso efectuado na visita de campo encontra-se esquematizado no Anexo 11.

6.2.2. Metodologia de identificação preliminar de áreas candidatas para recarga artificial

Oliveira *et al.* (2002) desenvolveram um índice com o intuito de determinar as áreas mais favoráveis à infiltração. Este índice, denominado IFI, baseia-se na informação geológica, de solos, de ocupação do solo e na topografia da região em estudo. Com esta informação obtém-se o tipo de solo da região, a quantidade máxima de água disponível no solo para evapotranspiração (AGUT), o declive e as zonas carsificadas ou muito fracturadas. A atribuição de cada valor IFI é feita de acordo com as equivalências apresentadas na Figura 32.

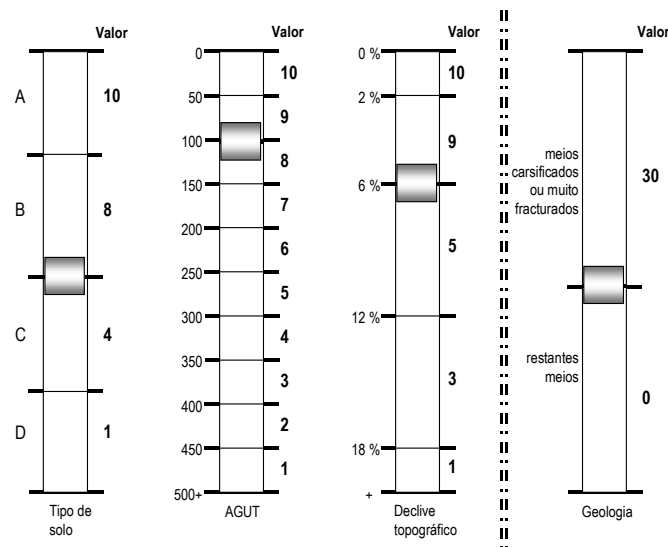


Figura 32 – Parâmetros do Índice de Facilidade de Infiltração (retirado de Oliveira *et al.*, 2002)

Caso o meio seja carsificado ou muito fracturado o valor final do IFI atribuído é 30. Se outro tipo de geologia estiver presente no meio o valor final do IFI é calculado pela soma dos parâmetros tipo de solo, AGUT e declive topográfico.

No caso do sistema aquífero Querença-Silves a forte predominância de meios carsificados colocam a área subjacente ao sistema aquífero em boa posição para infiltração natural, havendo assim a predominância do valor mais alto de IFI (30). O resultado final do IFI para toda a área do sistema aquífero Querença-Silves é apresentado na Figura 33.

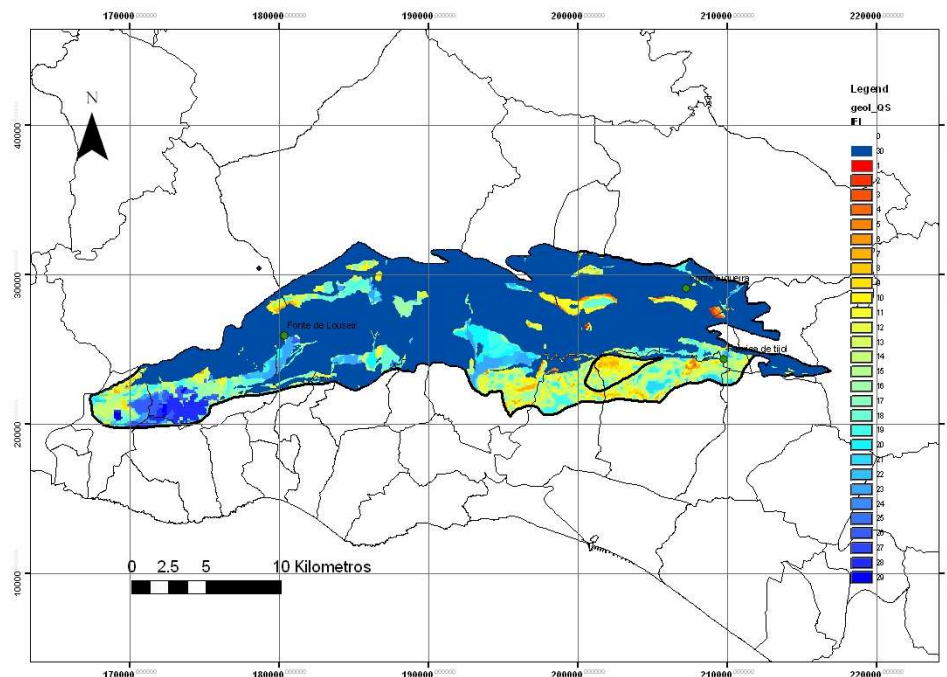


Figura 33 – Aplicação do Índice de Facilidade de Infiltração (IFI) ao sistema aquífero Querença-Silves

Se se considerar as estruturas para a recarga artificial o índice IFI deixa de fazer sentido porque a construção de bacias de infiltração envolvem a escavação do solo e logo a alteração das características naturais do solo. A infiltração no solo também não tem influência em métodos de recarga artificial em profundidade (e.g. furos de injeção).

Os estudos da componente portuguesa do projecto GABARDINE que se encontra em desenvolvimento pelo LNEC no sistema aquífero da Campina de Faro, no Algarve (cf. http://www.dha.lnec.pt/nas/pdf/Projecto_Gabardine_ing.pdf) levaram ao melhoramento do índice IFI que foi apresentado durante o encontro anual do GABARDINE em Barcelona, Março 2007. Visto que o índice IFI apenas determina quais as áreas com melhor ou pior facilidade para a infiltração natural, tornou-se necessário verificar de que forma é possível verificar a melhor ou pior localização de uma área para a recarga artificial.

Outros parâmetros foram criados de forma a se obter as melhores áreas para uma correcta recarga artificial (Lobo-Ferreira *et al.*, 2007):

- K: Condutividade hidráulica vertical;

Depende das características geológicas do meio entre a superfície da área da recarga artificial e o nível freático.

Os valores deste parâmetro são obtidos experimentalmente ou aproximados de tabelas que relacionam litologia com a condutividade hidráulica

- D: Profundidade ao nível freático;

Este parâmetro corresponde à distância entre a superfície e o nível freático podendo, portanto, ser medido directamente.

- E: Profundidade de escavação;

Quanto maior a escavação mais dispendioso fica a exploração daquela área e logo é um factor negativo, no entanto uma maior escavação diminui o tempo de percolação da água até atingir o nível freático (factor positivo). Como a distância de percolação já se encontra considerada no parâmetro D, uma maior profundidade de escavação pode ser considerada um factor penalizador. Em vez da profundidade de escavação pode ser considerado o preço da escavação.

- O: Distância a uma origem de água;

Quanto maior a distância a uma origem de água menos favorável se encontra uma área.

Assim é necessário considerar o que se entende por origem de água, quer em termos quantitativos como em termos qualitativos. A alternativa à distância pode ser a avaliação do preço da água (captação, transporte e tratamento).

- L: Ocupação do solo;

Uma correcta análise da ocupação actual do solo é importante para se verificar a disponibilidade da área para ser utilizada para a recarga artificial. Por exemplo,

- tt: Tempo de transporte em condições saturadas quando a frente saturada atinge o nível freático; é dado pela relação D/K .

Este parâmetro pode ser analisado de duas maneiras:

- Se o interesse for apenas produzir a maior quantidade de recarga no aquífero então interessa um menor tempo de transporte;

-Se o interesse for, para além da recarga do aquífero, fazer com que o meio geólogo funcione como um filtro de forma a “limpar” microorganismos patogénicos então interessa um maior tempo de transporte para um melhor funcionamento dessa função. No entanto o tempo de transporte não deverá exceder um certo valor de forma a garantir que haja uma taxa de recarga aceitável.

Uma questão importante a ser colocada para os parâmetros D, K e tt é “Considera-se o D e o K individualmente ou em conjunto (D/K) no parâmetro tt?”. A resposta a esta questão depende de caso para caso. Por exemplo, um tempo de transporte de 10 dias pode significar $D= 10$ m e $K= 1$ m/dia ou $D=1$ m e $K= 0.1$ m/dia. Assim, é necessário avaliar de caso para caso se é indiferente ter os parâmetros D e K diferentes, desde que se mantenha o mesmo tt ou se não é indiferente.

Como se conjugam estes novos seis parâmetros na escolha da melhor área para recarga artificial? De forma a responder a esta questão é necessário analisar a importância relativa de cada um dos parâmetros, que segundo Lobo-Ferreira *et al.* (2007) é a seguinte: $tt > O > E > L$

qualitativa dos terrenos de forma a se analisar a presença de resíduos agrícolas.

6.3. Origem de água para recarga

6.3.1. Análise Quantitativa

A utilização de furos para armazenamento subterrâneo e extracção efectuado em todo o Mundo é feita com diferentes origens de água para a recarga. Das várias opções disponíveis destaca-se a utilização da água excedentária de albufeiras nos anos húmidos, da água residual tratada e das águas pluviais de grandes cidades.

A hipótese estudada para o presente caso de estudo é a utilização de água excedentária do sistema Arade-Funcho nos anos húmidos para recarga artificial do sistema aquífero Querença-Silves. Esta escolha é óbvia por várias razões, a utilização de excedentário não coloca em causa a qualidade da água das albufeiras por diminuição do volume destas, as barragens situam-se bastante próximas do sistema aquífero Querença-Silves e estas apresentam no seu histórico alguns períodos excedentários de água durante os anos húmidos.

De forma a verificar se existe excedentário de água do sistema Arade-Funcho é necessário verificar quando a água atinge níveis excessivamente altos na albufeira e é necessário efectuar-se uma descarga da barragem. Visto que a barragem do Funcho apresenta a jusante a barragem do Arade toda a descarga da primeira vai para a albufeira da segunda. No entanto, a barragem do Arade é a barragem mais a jusante do rio Arade e logo sempre que se efectua uma descarga de emergência, devido a excesso de água, esta vai parar ao rio Arade indo directamente para o mar, havendo assim água doce que é “perdida”.

Como referido na secção 5.3.2, o INAG apresenta todos os dados hidrológicos do país e estes dados estão, na maioria das vezes, disponíveis no Sistema Nacional de Recursos Hídricos do INAG (SNIRH-INAG). No site do SNIRH-INAG (<http://snirh.inag.pt>) é possível obter-se os dados do volume das descargas de cada uma das barragens portuguesas, quer sejam descargas à superfície ou em profundidade.

Antes da seca de 2004/2005, verificou-se que o ano hidrológico de 2000/2001 foi um ano bastante húmido com uma precipitação média de 835 mm/ano na zona do sistema aquífero Querença-Silves, em comparação com a média de 670 mm/ano retirado de quatro estações udométricas (cf. Secção 5.4.3.). Visto ter sido um ano bastante húmido certas barragens atingiram o seu limite e viram obrigadas a descarregar o excesso de água. A barragem do Arade também foi obrigada a descarregar nesse ano vários hectómetros cúbicos de água, quer em descarga de superfície, quer em descarga em profundidade. A Tabela 22 apresenta os valores da descarga da barragem do Arade nesse ano hidrológico segundo os dados disponíveis no SNIRH-INAG (<http://snirh.inag.pt>).

Tabela 22- Volume de descarga de água da barragem do Arade no ano hidrológico de 2000/2001 (obtido em <http://snirh.inag.pt>)

Barragem	Ano hidrológico	Descarga em profundidade (10^3 m^3)	Descarga de superfície (10^3 m^3)	Descarga total (10^3 m^3)
ARADE	2000/2001	37.499,20	19.256,70	56.755,90

É de notar que o volume descarregado pela barragem do Arade e perdido para o mar é aproximadamente igual ao volume captado no sistema aquífero Querença-Silves durante a seca de 2004/2005 (cf. Tabela 13)

Tabela 23- Volume de descarga de água da barragem do Arade nos anos hidrológicos de 1995/96, 1996/97 e 1997/98 (obtido em <http://snirh.inag.pt>)

Barragem	Ano hidrológico	Descarga em profundidade (10^3 m^3)	Descarga de superfície (10^3 m^3)	Descarga total (10^3 m^3)
ARADE	1995/96	0	81.255,39	81.255,39
	1996/97	0	42.599,62	42.599,62
	1997/98	8.556,65	113.762,30	122.318,97
TOTAL ($*10^3 \text{ m}^3$)				246.173,98

Também em três anos hidrológicos da década de 90 houve um excesso de precipitação e logo certas barragens foram forçadas a descarregar parte do seu volume. Nos anos hidrológicos desde 1995 a 1998 a barragem do Arade descarregou um total de 250 hm^3 de água (cf. Tabela 23).

Toda esta água que foi “perdida” para o mar nestes quatro anos hidrológicos analisados podia ter sido utilizada para a recarga artificial de sistemas aquíferos. Verifica-se ainda que esta sucessão de “anos húmidos – anos secos” tem sido constante ao longo dos anos e assim se prevê que continue, segundo relatórios recentes sobre o clima e as mudanças climáticas.

6.3.2. Análise Qualitativa

A análise qualitativa da origem de água para a recarga é feita utilizando dois meios: Análise dos resultados qualitativos disponíveis pelo INAG para o recurso hídrico considerado e a análise da vulnerabilidade das bacias hidrográficas a montante da albufeira do Funcho e da albufeira da futura Barragem de Odelouca, pela utilização do método WRASTIC.

Verifica-se que este é um assunto muito sensível e algo problemático. A sub-bacia do Arade tem tido vários problemas de poluição por culpa da água residual urbana mas a maior fonte de poluição do meio hídrico são as suiniculturas que, por vezes, nem uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) própria têm. Retirando um parágrafo do Plano de Bacias das Ribeiras do Algarve “*O maior problema de poluição do meio hídrico resulta da actividade suinícola, com instalação disseminadas um pouco por toda a região do Algarve, embora mais concentrada nos concelhos de Monchique e Silves. Salienta-se que grande parte das suiniculturas, algumas delas de grande dimensão, não possuem ETAR, descarregando para o meio efluentes com cargas orgânicas muito elevadas. Este facto resulta numa estimativa de cargas poluentes muito elevadas nas sub-bacias correspondentes às barragens da Bravura e do Arade (Ribeira de Odelouca e barragem do Funcho)*”

Estas fontes de poluição resultam em meios hídricos altamente concentrados em matéria orgânica o que provocam défices de oxigénio na água, aumento exagerado da concentração de componentes limitantes (e.g. Nitratos) provocando em última instância a eutrofização dos meios hídricos.

6.3.2.1. Resultados qualitativos disponíveis pelo Instituto da Água

Como referido no capítulo 5, o Instituto da Água é a instituição responsável pela obtenção, armazenamento, organização e disponibilização dos dados referentes aos recursos hídricos.

Dos vários dados disponíveis encontram-se os de qualidade de água superficial quer em análise individual de vários parâmetros (e.g. pH) quer em análise geral caracterizando a água na sua qualidade. No site do SNIRH-INAG (<http://snirh.inag.pt>) estão disponíveis os dados sobre a qualidade da água para usos múltiplos das albufeiras de Portugal diferenciados em cinco classes de A (excelente qualidade) a E (muito má qualidade) (cf. Classificação no Anexo 12). Estes dados apresentam-se online em forma de gráfico com a informação do(s) parâmetro(s) responsável pela sua atribuição (no caso de tal se verificar), i.e. se a água apresentar qualidade inferior a A, haverá uma explicação sobre que parâmetros físico ou químico ultrapassam os limites aceitáveis.

Na Figura 36 visualiza-se o histórico desde 1995 a 2005 da qualidade da água (conforme as cinco classes) nas albufeiras das barragens do Arade e Funcho.

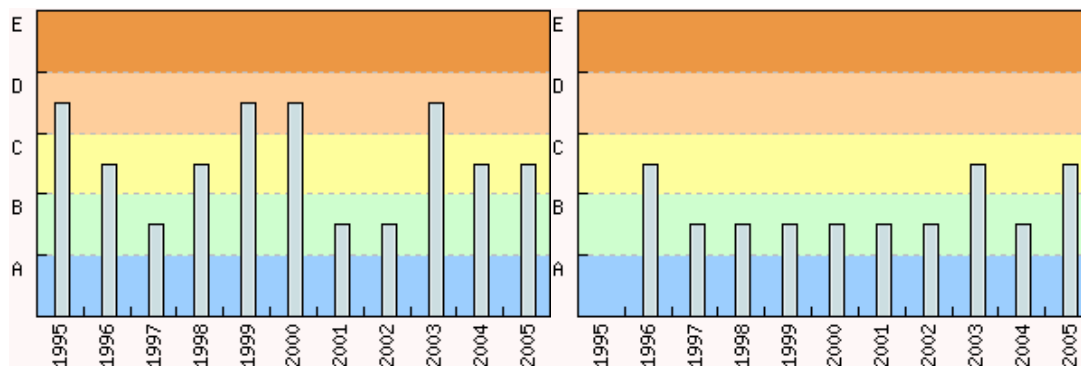


Figura 36- Histórico de qualidade da água da albufeira da barragem do Arade (esquerda) e do Funcho (direita) (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

Verifica-se na figura anterior que durante esses dez anos a qualidade falhou sempre num ou mais parâmetros sendo a qualidade da água das albufeiras localizada sempre em classe B ou pior. Através da análise da informação para cada ano constata-se que a falha da qualidade máxima da água é muitas vezes devido à passagem dos limites do parâmetro Oxidabilidade e de Sólidos Suspensos Totais (SST), por vezes devido à presença de bactérias fecais e esporadicamente devido à passagem dos limites de concentração de Nitratos. Estes resultados são explicados, como referido no início desta secção, devida a uma enorme presença de suiniculturas de média e grande dimensão que, por vezes, não apresentam ETAR's próprias e descarregam toda a matéria orgânica residual para os leitos dos rios.

A oxidabilidade é um parâmetro de análise química que permite analisar a quantidade de oxigénio necessária para oxidar quimicamente, em determinadas condições, a matéria orgânica presente numa água. Assim, quanto maior a matéria orgânica presente maior é a necessidade de oxigénio podendo a massa de água atingir à posteriori problemas de eutrofização.

Os gráficos permitem ainda verificar que a albufeira da barragem do Arade é, de uma forma

geral, água com pior qualidade. Este resultado é, ligeiramente, compreensível visto que a barragem do Arade tem como objectivo fornecer água para a irrigação, água sem necessidade de boa qualidade e logo com cuidados de qualidade inferiores. Em contraponto a barragem do Funcho fornece água para produção de água para consumo humano e logo os cuidados são maiores.

A tabela dos parâmetros responsáveis pela classificação referente aos gráficos da Figura 36 apresenta-se em anexo (Anexo 13).

6.3.2.2. Análise da vulnerabilidade de bacias hidrográficas pela utilização do método WRASTIC

De forma a se avaliar o potencial, e consequente vulnerabilidade, para a poluição duma bacia hidrográfica a “American Water Works Association – “Watershed Control Program, of the Guidance Manual for Compliance with the Filtration and Disinfection Requirements for Public Water Systems Using Surface Water Sources”” desenvolveu para a agência de protecção ambiental (Environmental Protection Agency) dos Estados Unidos da América (EPA-US), em 1991, uma metodologia denominada WRASTIC, sendo posteriormente adaptada pelo New Mexico Environment Department - Drinking Water Bureau (NMED/DWB), (NMED/DWB, 2000).

O método WRASTIC avalia a vulnerabilidade das águas superficiais para a contaminação através de sete parâmetros, que correspondem a cada letra do nome do método:

- W - Descarga de efluentes de águas residuais (**W**astewater discharges)
- R – Actividades recreativas (**R**ecreational activities)
- A – Actividades agrícolas (**A**gricultural activities)
- S – Área da bacia (**S**ize of the watershed)
- T – Estruturas de transportes (**T**ransportation avenues)
- I – Actividades industriais (Industrial activities)
- C – Cobertura vegetal do solo (Amount of vegetative ground **C**over)

Cada parâmetro é avaliado com valores entre 1 e 5 com excepção do parâmetro I que é avaliado entre 1 e 8. Os valores atribuídos são ponderados com pesos entre 4 (parâmetro mais importante) e 1 (parâmetro menos importante) (cf. Tabela 24, Tabela 25 e Tabela 26)

O método WRASTIC é aplicado a uma secção da bacia obtendo-se no final um único valor que permite avaliar a sub-bacia em termos de vulnerabilidade à poluição.

Para o nosso caso de estudo a aplicação do método WRASTIC foi feita para duas sub-bacias da bacia do rio Arade. Estas sub-bacias têm como estações hidrométricas a estação da Casa da Queimada e a estação de Monte de Pachecos, que correspondem à albufeira da barragem do Funcho (e consequentemente da barragem do Arade) e à albufeira da futura barragem de Odelouca, respectivamente.

Tabela 24 - Parâmetros do método WRASTIC respectivo valor e peso (parte I)

Parâmetros WRASTIC (I)	Classe dos parâmetros	Valor	Peso
Descarga de efluentes de águas residuais (W)	Efluentes da rede pública de esgotos introduzidos na área da bacia e presença de fossas sépticas	5	3
	Efluentes da rede pública de esgotos introduzidos na área da bacia	4	
	> 50 fossas sépticas	3	
	< 50 fossas sépticas	2	
	Ausência de descargas de águas residuais na bacia	1	
Actividades recreativas (R)	Actividades aquáticas motorizadas permitidas	5	2
	Actividades aquáticas não motorizadas permitidas	4	
	Acesso permitido a veículos	3	
	Acesso proibido a veículos	2	
	Sem actividades recreativas	1	
Actividades agrícolas (A)	5 ou mais actividades presentes	5	2
	4 Actividades presentes	4	
	3 Actividades presentes	3	
	2 Actividades presentes	2	
	1 Actividades presentes	1	

Tabela 25 - Parâmetros do método WRASTIC respectivo valor e peso (parte II)

Parâmetros WRASTIC (II)	Classe dos parâmetros	Valor	Peso
Área da bacia (S)	> 1942.35 km ²	5	1
	388.47 - 1942.35 km ²	4	
	155.39 – 388.47 km ²	3	
	38.85 – 155.39 km ²	2	
	<38.85 km ²	1	
Estruturas de transportes (T)	Caminho-de-ferro ou auto-estrada que atravessam a área da bacia	5	1
	Auto-estradas que atravessam a área da bacia	4	
	Vias rápidas ou outras estradas pavimentadas que atravessam a área da bacia	3	
	Estradas não pavimentadas que atravessam a área da bacia	2	
	Sem estradas que atravessem a área da bacia	1	

Tabela 26 - Parâmetros do método WRASTIC respectivo valor e peso (parte III)

Parâmetros WRASTIC (III)	Classe dos parâmetros	Valor	Peso
Actividades industriais (I)	A indústria produz muitas descargas ou tem um impacto muito grande no meio envolvente	8	4
	A indústria produz descargas importantes ou tem impacto no meio envolvente	6	
	A indústria produz descargas moderadas ou tem um impacto moderado no meio envolvente	4	
	A indústria produz poucas descargas ou tem um impacto mínimo no meio envolvente	2	
	Inexistência de indústrias na bacia	1	
Cobertura vegetal do solo (C)	0 - 5 % Cobertura do solo	5	1
	6 – 19 % Cobertura do solo	4	
	20 – 34 % Cobertura do solo	3	
	35 - 49 % Cobertura do solo	2	
	> 50 % Cobertura do solo	1	

Para a bacia referente à albufeira da barragem do Funcho (e da barragem do Arade) verificou-se a seguinte atribuição dos parâmetros WRASTIC:

- W: No INSAAR-INAG verificou-se a ausência de ETARs ou descarga de águas residuais na área mas existem certas suiniculturas de média e grande dimensão. Facto que também é possível verificar na qualidade da água da barragem do Funcho que nos últimos anos verificou a presença de Coliformes Fecais. Valor WRASTIC - 3;

-R: Este parâmetro obteve-se pela observação do estatuto da albufeira do Funcho onde as actividades motorizadas são proibidas mas outras actividades de lazer são permitidas de uma forma restrita. Valor WRASTIC - 4;

-A: Das actividades consideradas verificou-se, pela observação de mapas de ocupação de solo disponíveis pelo Corine Land Cover e pelo conhecimento da área, que existem pastagens, agricultores individuais, produção de gado (suiniculturas), grandes campos de irrigação e campos com presença de pesticidas (aliás, esse é um dos grandes problemas na qualidade de muitos sistemas aquíferos da região). Valor WRASTIC - 5;

-S: Verificou-se que a área da bacia a montante da albufeira da barragem do Funcho (e do Arade) é aproximadamente de 224 km². Valor WRASTIC - 3;

-T: Verifica-se que a Autoestrada A2 (principal ligação Lisboa-Algarve) e a única ligação ferroviária de Lisboa ao Algarve atravessam tanto esta bacia como a bacia da albufeira de Odelouca. Valor WRASTIC - 5;

-I: Verifica-se que não existem grandes indústrias nesta área mas existem suiniculturas de média e grande dimensão (que tiveram, igualmente, a sua influência nos parâmetros W e A) e logo deverá considerar-se um valor intermédio. Valor WRASTIC - 3;

-C: A área está bastante (> 50%) coberta de florestas, sobreiros e outras plantas/árvores. Não

apresenta grandes zonas urbanas. Valor WRASTIC- 1.

Para a bacia referente à albufeira da futura barragem de Odelouca verificou-se a seguinte atribuição dos parâmetros WRASTIC:

- W: No INSAAR-INAG verificou-se a presença de ETARs e descarga de águas residuais na área, para além da existência de suiniculturas de média e grande dimensão. Valor WRASTIC- 5;

-R: Para este parâmetro considerou-se que sendo a barragem de Odelouca para fins de reservatório para produção de água para consumo humano deverá ter o mesmo estatuto que a barragem do Funcho. Valor WRASTIC - 4;

-A: Obteve-se o resultado semelhante à análise efectuada para a bacia da albufeira da barragem do Funcho. Valor WRASTIC - 5;

-S: Verificou-se que a área da bacia a Montante da albufeira de Odelouca é aproximadamente de 393 km². Valor WRASTIC - 4;

-T: Obteve-se o resultado semelhante à análise efectuada para a bacia da albufeira da barragem do Funcho: Valor WRASTIC - 5;

-I: Obteve-se o resultado semelhante à análise efectuada para a bacia da albufeira da barragem do Funcho. Valor WRASTIC - 3;

-C: Obteve-se o resultado semelhante à análise efectuada para a bacia da albufeira da barragem do Funcho. Valor WRASTIC - 1.

Os resultados finais obtidos para cada uma das bacias foram de 52 para a bacia a montante da estação hidrométrica da Casa Queimada (Arade e Funcho) e de 59 para a bacia a montante da estação hidrométrica de Monte do Pachecos (Odelouca). Ambos os valores são considerados valores de vulnerabilidade alta.

6.4. Análise preliminar da velocidade de percurso de água

Pretende-se, nesta secção, verificar se uma possível água recarregada no sistema aquífero Querença-Silves residiria o tempo suficiente para ser utilizada anos à posteriori antes de sair do sistema em nascentes ou para um ribeiro. Para tal estudo vários métodos podem ser utilizados sendo o mais simples e prático, mas com resultados aceitáveis para obtenção da velocidade horizontal de fluxo, a lei de Darcy.

A lei de Darcy, proposta por o engenheiro francês Henry Darcy, é descrita pela equação 6.1.

$$Q = K.A.\frac{(h_1 - h_2)}{\Delta L} = K.A.i \quad \text{Eq. 6.1}$$

Na equação 6.1. Q representa o caudal médio, K a condutividade hidráulica, A a área da secção onde se pretende aplicar a Lei de Darcy, h_1 a piezometria num ponto mais a montante, h_2 a piezometria num ponto mais a jusante do fluxo do aquífero, ΔL a distância entre os dois pontos (1 e 2) e i o gradiente piezométrico entre os dois pontos (1 e 2).

Sabendo que o caudal de uma determinada secção é obtido pela multiplicação da velocidade dessa secção pela sua área obtém-se da equação 6.1. a velocidade de Darcy (v) dada pela equação 6.2.

$$v = K \cdot i \quad \text{Eq. 6.2.}$$

Assim, se for conhecida a condutividade hidráulica da região e o gradiente piezométrico entre dois pontos consecutivos na direcção do fluxo é possível obter a velocidade de Darcy entre os dois pontos, sendo esta velocidade aparente no meio. Dividindo a velocidade de Darcy pela porosidade efectiva obtém-se a velocidade efectiva do meio, sendo essa aproximadamente a velocidade média entre os dois pontos.

Sabendo que a região Oeste do Querença-Silves apresenta uma condutividade hidráulica média de 50 m/dia foi-se verificar o tempo para percorrer 1000 metros no sistema aquífero na região de *Fonte de Louseiros*. Para tal utilizou-se a piezometria média dos vários pontos do SNIRH-INAG (já referidos no capítulo 5), efectuou-se uma interpolação com o método do inverso das distâncias com células de 50 metros e obteve-se o resultado presente na Figura 37 para a zona de *Fonte de Louseiros*.

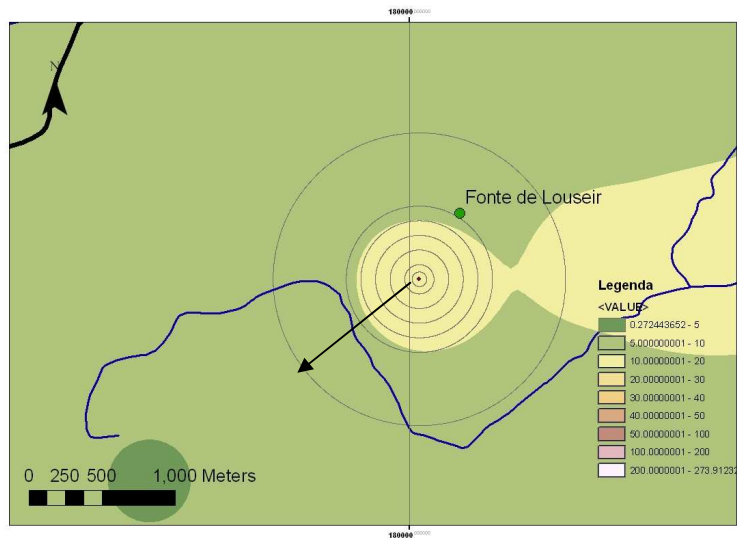


Figura 37 - Mapa de análise da velocidade de percurso no ponto *Fonte de Louseiros* do sistema aquífero Querença-Silves

Com circunferências de diferentes raios e centro no piezómetro, número 595/55, do SNIRH-INAG (<http://snirh.inag.pt>) foi-se calcular qual seria o tempo a percorrer as distâncias referentes às circunferências. As distâncias foram de 50, 100, 200, 300, 400, 500 e 1000 metros e mediou-se, no sentido do fluxo da água no sistema aquífero, os níveis piezométricos (cf. Figura 37).

O ponto 595/55 apresenta um nível piezométrico médio de 10.99 m mas visto que a recarga provoca uma elevação no nível piezométrico considerou-se um valor superior. Para tal, utilizaram-se os resultados obtidos para a componente portuguesa do projecto GABARDINE que se encontra em desenvolvimento pelo LNEC-NAS no sistema aquífero da Campina de Faro, no Algarve (cf. http://www.dha.lnec.pt/nas/pdf/Projecto_Gabardine_ing.pdf) onde foi demonstrado que em recarga por injeção numa “nora” existe uma elevação de cerca de cinco metros quando esta é efectuada durante sete horas com um caudal de bombagem de 20 m³/hora. Assim, considerou-se um nível piezométrico para o ponto inicial (595/55) aproximadamente de 15 metros. Os valores de nível de piezometria para cada distância do ponto inicial estão presentes na Tabela 27.

Tabela 27 – Nível piezométrico em cada distância do ponto inicial

	0m	50m	100 m	200 m	300 m	400 m	500 m	1000 m
Nível piezométrico (m)	15.00	10.87	10.82	10.63	10.41	10.08	9.72	8.03

Pela aplicação da lei de Darcy obtiveram-se diferentes velocidades de Darcy entre os sete percursos. Utilizando os limites do coeficiente de armazenamento do sistema (entre $5 \cdot 10^{-3}$ e $3 \cdot 10^{-2}$) como aproximações para os valores de porosidade efectiva obtém-se a velocidade efectiva máxima e a mínima nos percursos. Consequentemente, obteve-se o tempo de percurso mínimo e máximo para cada distância. A Tabela 28 apresenta as velocidades (Darcy, efectiva máxima e efectiva mínima) e o tempo de cada percurso.

Tabela 28 – Análise das velocidades e tempo de percurso para cada distância

	0m-50 m	50m-100 m	100m-200 m	200m-300 m	300m-400 m	400m-500 m	500m-1000 m
Velocidade de Darcy (m/dia)	4.13	0.05	0.09	0.11	0.17	0.18	0.17
Velocidade efectiva máxima (m/dia)	826.00	10.00	18.00	22.00	34.00	36.00	34.00
Velocidade efectiva mínima (m/dia)	137.67	1.67	3.00	3.67	5.67	6.00	5.67
Tempo de percurso mínimo (dias)	0.06	5.00	5.56	4.55	2.94	2.78	14.71
Tempo de percurso máximo (dias)	0.36	30.00	33.33	27.27	17.65	16.67	88.24

O somatório do tempo dos sete percursos permitiu obter um tempo de percurso total para 1000 metros, ou seja, um quilómetro, na região de *Fonte de Louseiros*. O valor total máximo obtido foi aproximadamente de 7 meses para percorrer um quilómetro (cf. Tabela 29). E o mínimo de 36 dias (cf. Tabela 30).

Tabela 29 – Total máximo do tempo de percurso de um quilómetro na zona de *Fonte de Louseiros*

Total de tempo máximo de percurso para 1 km (dias)	214
Total de tempo máximo de percurso para 1 km (meses)	7

Tabela 30 - Total mínimo do tempo de percurso de um quilómetro na zona de *Fonte de Louseiros*

Total de tempo mínimo de percurso para 1 km (dias)	36
Total de tempo mínimo de percurso para 1 km (meses)	1

Se se considerar o tempo (máximo) de percurso de 7 meses/km e uma distância a percorrer pela água subterrânea injectada de 10 km, de *Fonte de Louseiros* a Silves, obtém-se um tempo de permanência no sistema de cerca de 6 anos (70 meses) i.e. um tempo de período de recorrência de

secas no Algarve (cf. Figura 14 e Tabela 6)

Se se considerar o tempo mínimo de percurso, i.e. 1 mês/km, então os resultados obtidos dão a entender que o sistema aquífero Querença-Silves será impróprio para a prática apresentada. No entanto, apesar de haver velocidades bastante elevadas, o sistema aquífero apresenta uma boa capacidade de regularização interanual de água no reservatório (boa capacidade de armazenamento entre anos). Estes factos contraditórios são explicados devido à grande complexidade do sistema aquífero em questão. O comportamento hidráulico do Querença-Silves caracteriza-se por: (1) infiltração concentrada nas falhas e difusa no solo, (2) fluxo concentrado nas falhas e condutas e difusa na massa rochosa e (3) uma descarga difusa para formações de outros sistemas e massas de água superficial e concentrada em nascentes cársicas.

6.5. Análise legal

Vários assuntos foram abordados no capítulo dedicado à legislação portuguesa e europeia (capítulo 4) e como tal serão abordados de forma a analisar a envolvimento legal da proposta.

Inicialmente foi referido que a Lei da Água faz referência à recarga artificial quando menciona que esta prática necessita de uma licença prévia e não pode comprometer os objectivos ambientais propostos para o sistema aquífero. Os objectivos ambientais propostos para os sistemas aquíferos são expostos no artigo 47º da Lei da Água e apresentados na secção 4.2. Em relação ao sistema aquífero Querença-Silves o Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (PBHRA, 2000) refere que este é o sistema aquífero mais importante da região e menciona, ainda, que existe uma tendência para o aumento da concentração de Nitratos (2.5 mg/L por ano) na água deste sistema aquífero. Esta tendência vai contra os objectivos ambientais referidos na Lei da Água visto que uma das obrigações é a inversão de *“quaisquer tendências significativas persistentes para o aumento da concentração de poluentes que resulte do impacte da actividade humana (...).”*

Também o Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve (PROT - Algarve) refere que o sistema aquífero Querença-Silves é *“a todos os títulos o mais importante da região”*. Este relatório coloca o Querença-Silves no grupo de sistemas aquíferos com menor vulnerabilidade à poluição visto que este grupo se caracteriza por serem aquíferos de grande dimensão ou com grande taxa de renovação

Em relação à Decreto-Lei nº 197/2005 verifica-se que, utilizando os dados do ano hidrológico de 2000/2001, seria necessário efectuar um estudo de impacto ambiental para se pôr em prática este projecto.

Relacionado com a conservação da natureza verifica-se que existem duas áreas que gozam do estatuto de áreas de interesse ambiental na região. Estas são: a área protegida do Rio Arade/Odelouca e o Sítio classificado da Rocha da Pena na freguesia de Salir. A área protegida do Rio Arade/Odelouca é uma zona húmida com cerca de 1000ha, um BIÓTOPO CORINE de 2000ha (excluindo o rio Arade) e um sítio proposto para a Rede Natura 2000 com 2200ha (segundo o PROT-Algarve). Este regime de interesse ambiental é importante para reforçar a importância da qualidade da água das albufeiras das barragens do Arade, Funcho e Odelouca. A Rocha da Pena apesar de ter o estatuto de protecção ambiental encontra-se numa zona que não seria afectada pelo projecto.

Como analisado no capítulo 5, na Figura 27 existe uma grande percentagem de ocorrência de água de qualidade A1 no sistema aquífero Querença-Silves ao longo dos anos e assim sendo, segundo o Decreto-Lei nº236/98, a água pode ser usada para a produção de água para consumo humano. Mesmo com água com qualidade inferior (e.g. A2), a importância do sistema aquífero e o pouco volume de água superficial disponível na região levam à possibilidade da utilização da água para fins de produção de água para consumo humano (cf. Secção 4.4.3).

Uma questão a ser colocada é: *Será que a recarga artificial afectaria a qualidade da água captada?* Esta questão depende da qualidade da água que se utilizaria para recarregar. Se os objectivos ambientais proposto para o sistema aquífero forem cumpridos e se existir uma correcta análise das reacções entre a água recarregada e o meio natural do sistema aquífero de forma a averiguar que a capacidade depuradora do sistema aquífero não é inviável então garante-se a continuidade da qualidade da água captada.

6.6. Outros factores

Outros factores deverão ser considerados sobre a possibilidade da aplicação de recarga artificial no sistema aquífero Querença-Silves como solução de prevenção contra os efeitos de seca no Algarve.

Um dos problemas verificados em várias estações de recarga artificial e armazenamento subterrâneo é o movimento do terreno devido à aplicação da prática, i.e. rebaixamento do terreno devido às captações. O movimento do nível piezométrico devido a uma captação provoca uma alteração na pressão hidrostática vertical. Se se considerar que a pressão total vertical se mantém constante (e.g. não há construção de estruturas à superfície, etc.) verifica-se que há uma necessidade da pressão efectiva do meio alterar a sua intensidade para se manter o equilíbrio.

No caso do sistema aquífero Querença-Silves não estão registados casos de subsidência do terreno devido às suas várias captações, que são de grande volume em alguns anos (e.g. seca de 2004/2005), o que pressupõe uma boa capacidade de reacção por parte do material do sistema aquífero à alteração da pressão hidrostática (situação normal em sistemas calcários).

Outro assunto a ter em causa é a possibilidade de subida do nível freático de tal maneira que alague o terreno provocando zonas húmidas. Considerando o ponto *Fonte de Louseiros* como o local possível para a recarga verifica-se que a profundidade ao nível freático é grande e como tal, a hipótese de alagamento de terreno é pouco provável.

Uma análise social é um factor a ser considerado sobre a possibilidade de aplicação do projecto proposto.

A aplicação deste projecto envolveria a necessidade de uma melhor aplicação das práticas agrícolas, uma melhor gestão das captações privadas na região e um correcto diálogo com os habitantes da região de forma a haver uma consciencialização dos efeitos (positivos e negativos) que possam advir da nova estrutura (entre outros assuntos). Haveria, igualmente, a necessidade de envolver as várias instituições que estariam directa ou indirectamente ligadas ao projecto (e.g. A.B. de Silves, Lagoa e Portimão devido à barragem do Arade) num entendimento conjunto e com vista a uma gestão integrada.

Outro factor que deverá ser considerado para a verificação da aplicação do projecto é a componente económica.

Como referido no capítulo 3 as estruturas ASR utilizam o mesmo furo para a injeção e para a posterior captação da água e como tal existe uma maior eficiência económica visto que se evita construir furos extras. Esta técnica apesar de mais barata necessita que o sistema aquífero tenha uma boa capacidade de depuração e de retenção da água. As estruturas ASTR minimizam os dois problemas atrás referidos mas são mais dispendiosos porque necessitam de furos extra (i.e. uns para a injeção e outros para a captação). Se a decisão da recarga artificial fossem técnicas em superfície o preço de construção das estruturas seria inferior mas havia uma necessidade de utilização de furos para a captação posterior. Outro problema económico resultante da utilização de técnicas em superfície para a recarga artificial é o facto das taxas de recarga serem inferiores nestas técnicas e logo haver uma necessidade de estruturas maiores para a retenção da água de recarga.

Para o caso em estudo há dois assuntos importantes a focar: 1. a região apresenta várias “noras”, poços de grande diâmetro, que poderiam ser aproveitados como furos para a injeção e posterior captação, evitando-se assim a construção de novos furos; 2. a região de *Fonte de Louseiros* localiza-se perto do local que serviu de emergência para a seca de 2004/2005, as captações Vale da Vila. Estes furos no Vale da Vila poderiam ser explorados para uma possível estrutura de ASR ou ASTR, havendo assim uma poupança.

Outro assunto a ter em conta diz respeito à necessidade de se reter a água antes da recarga artificial. Visto que um sistema aquífero apresenta uma determinada taxa de recarga, que tem de ser respeitada, é necessário criar estruturas que armazenem água entre os picos de cheias da barragem do Arade e a recarga artificial.

O sistema aquífero Querença-Silves é altamente carsificado e como tal apresenta uma taxa de recarga bastante elevada. Como referido anteriormente, a componente portuguesa do projecto GABARDINE (cf. http://www.dha.lnec.pt/nas/pdf/Projecto_Gabardine_ing.pdf) desenvolvido pelo LNEC, obteve experimentalmente as taxas de recarga para o sistema aquífero da Campina de Faro de 150 m³/dia em bacias de 100 m² de área e a taxa da recarga artificial em profundidade de 480 m³/dia, pela utilização de “noras” (área de 20 m²) (cf. Diamantino *et al.*, 2007). Se se considerar que, devido às suas características, o sistema aquífero Querença-Silves tem aproximadamente uma taxa 40% superior ao da Campina de Faro, obtém-se taxas de infiltração de 210 m³/dia por bacia de infiltração e 670 m³/dia por “nora”. Estes valores, eventualmente, permitirão evitar a construção de grandes reservatórios de retenção de água, antes da recarga.

7. Conclusão e Recomendações

Com o intuito de verificar a aplicabilidade de uma ***solução para uma gestão adequada de bacias hidrográficas e de sistemas aquíferos, em cenários de escassez hídrica extrema*** no Algarve, pela utilização do sistema aquífero Querença-Silves, efectuaram-se diferentes estudos de uma forma integrada. Estes permitiram a obtenção de certas conclusões.

Em Portugal os impactos da seca não podem ser dissociados do enquadramento legislativo e da intervenção política e da sociedade. Não existem formas de precaver os efeitos de uma seca potencial e logo verifica-se que o princípio do “antes prevenir que remediar” não é posto em funcionamento. Esta realidade foi verificada antes, durante e após a seca do ano hidrológico de 2004/2005. É necessário a criação e aplicação de planos de risco de seca para Portugal através da utilização de métodos de gestão integrada de recursos hídricos.

O Algarve é uma das regiões portuguesas mais fustigadas pelo problema das secas. Apenas uma ligação correcta entre os recursos hídricos Algarvios disponíveis, superficiais e subterrâneos, através de um plano integrado de gestão dos recursos hídricos, permitirá responder a casos de crise hidrológica como as secas.

Em relação ao sistema aquífero Querença-Silves obtiveram-se diversos resultados que ajudaram a uma melhor compreensão do caso em estudo.

Para o caso da vulnerabilidade à poluição, obtida através do método DRASTIC, conclui-se que os resultados podem ter um efeito contraditório. Se por um lado, a categorização de uma enorme área com o valor de vulnerabilidade média-alta pode impedir a concretização do projecto proposto, por outro lado, estes valores podem levar à atribuição de um estatuto de protecção ambiental ao sistema aquífero e assim garantir uma melhor qualidade de água.

Comparando a vulnerabilidade à poluição obtida pelo método DRASTIC com a classificação proposta pelo PROT-Algarve verifica-se que existe uma ligeira diferença na avaliação final. O método DRASTIC, que permite uma visualização espacial da vulnerabilidade de um sistema aquífero, permitiu verificar que o Querença-Silves tem a maior parte da sua área classificada acima de vulnerabilidade média-alta. Já a classificação obtida pelo PROT-Algarve, que é uma classificação geral de cada sistema aquífero, define o Querença-Silves como um sistema aquífero de menor vulnerabilidade à poluição. Esta avaliação contraditória deve-se ao facto da utilização de diferentes características dos aquíferos para a avaliação, i.e. o estudo do PROT-Algarve verifica menor vulnerabilidade devido à sua taxa de renovação e tamanho, enquanto o DRASTIC conta com vários parâmetros diferentes do estudo atrás referido.

Em relação aos resultados obtidos, pela aplicação do modelo BALSEQ, para a recarga natural do sistema aquífero verifica-se que o valor final de recarga é superior aos registados anteriormente para aquele aquífero. É de realçar que o método aplicado apresenta um rigor de cálculo bastante elevado.

A escolha de uma possível área para a recarga artificial regeu-se por vários factores que foram apresentados ao longo do relatório. Apesar da assinalável quantidade de factores utilizada, podiam ter sido usados muitos outros factores (e.g. sociais ou económicos) para a escolha, assim como a aplicação de outro método mais específico para a selecção de áreas.

Em relação à qualidade da origem da água para a recarga artificial há diferentes aspectos importantes a referir nesta secção.

O valor WRASTIC obtido e os resultados qualitativos verificados para a bacia do rio Arade são preocupantes. A baixa qualidade da água das albufeiras do Arade e do Funcho resultantes da actividade humana e das más práticas na região podem comprometer os objectivos ambientais propostos para as massas de água. Estes resultados negativos indicam que deverá haver um controlo mais rigoroso sobre as fontes de poluição. Também há uma necessidade de melhoramento das práticas agrícolas.

Como origem de água para a recarga artificial, a albufeira do Arade poderá ter o referido problema de qualidade. Tal poderá ser um impedimento à sua utilização. É de destacar que a qualidade da água na origem, que deverá ser correctamente tratada, é um dos factores mais importantes a considerar para a recarga artificial.

São necessárias análises mais pormenorizadas sobre possíveis reacções físico-químicas resultantes da inserção artificial de água tratada no meio do sistema aquífero Querença-Silves.

Os valores reais do tempo de percurso podem vir a revelar-se baixos, devido às altas velocidades calculadas no cenário menos optimista (cf. Tabela 30). Verifica-se, no entanto, que o sistema aquífero Querença-Silves apresenta, segundo diversos autores, uma capacidade de regularização interanual de dezenas de anos e como tal, as velocidades calculadas neste trabalho não são conclusivas. É de realçar que os cálculos efectuados para a obtenção do tempo de percurso são bastante simples e como tal, não consideram outros factores que podem influenciar o valor final obtido. Propõe-se que, devido à complexidade do sistema aquífero, se utilize métodos experimentais (e.g. método do traçador) para um melhor entendimento das características do sistema e uma correcta obtenção de tempo de percurso.

É necessário evitar o risco de intrusão salina que, apesar de não ser uma constante, foi um problema potencial durante a seca de 2004/2005 e que muita polémica gerou. Uma possível proposta, que necessita de bastante aprofundamento, é a aplicação de uma barreira hídrica com água residual devidamente tratada na zona Oeste do sistema aquífero quando o problema se colocar.

Conclui-se que não existem impedimentos legais à aplicação da técnica proposta. Será, no entanto, obrigatório cumprir todos os requisitos necessários, tais como, estudos de impacto ambiental ou o cumprimento dos objectivos ambientais.

Apresentando a técnica proposta assinalável impacto em várias vertentes, necessita de uma

análise abrangente e profunda. Assim, torna-se necessária uma maior e mais pormenorizada quantidade de estudos. É fundamental envolver análises sociais, económicas, químicas e hidráulicas para a correcta validação da aplicabilidade da técnica proposta.

Esta solução técnica apresenta, no entanto, uma enorme envolvimento governamental e política. Assuntos como a necessidade de uma legislação mais severa e rigorosa para as suiniculturas, o encerramento de fossas sépticas com a devida construção de estruturas correctas de saneamento básico, o controlo apertado das captações ilegais ou a implementação de práticas de agricultura sustentável são alguns dos assuntos de cariz político que influenciam esta proposta e que precisam que ser considerados para região.

Conclui-se, por fim, ser a solução técnica proposta neste estudo viável e merecedora de ser considerada na implementação de uma gestão integrada de recursos hídricos, fazendo parte do leque das soluções para minimização da escassez de água no Algarve, em situações de seca extrema.

Referências Bibliográficas

- Aller, L.; Bennet, T.; Lehr, J.H. e Petty, R.J. (1987) – “DRASTIC: a standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings”. United State Environmental Protection Agency report nº 600/2-85/018. Springfield, Environmental Protection Agency.
- Almeida, C.A.C. (1985) – “Hidrologia do Algarve Central”. Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau Doutor em Geologia. Lisboa, Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa.
- Almeida, C.; Mendonça, J.J.L.; Jesus, M. R. e Gomes, A. J. (2000) – “Actualização do Inventário dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental”. Lisboa, Instituto da Água – Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
Disponível na WWW:
<http://snirh.inag.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/principal.php?t_ema=link1>, (Consultado em 8 Jan. 2007).
- Brown, C. J.; Hatfield, K. e Newman, M. (2006) – “Lessons Learned from a Review of 50 ASR Projects from The United States, England, Australia, India, and Africa”. Artigo da “Annual Conference of the Universities Council on Water Resources”. Santa Fé (New Mexico), Universities Council on Water Resources.
Disponível na WWW:
<[http://www.ucowr.siu.edu/proceedings/2006%20Proceedings/2006%20Conference%20Proceedings/Tuesday%20Sessions%2011-14/Session%20\(12\)/12.4.%20Brown.pdf](http://www.ucowr.siu.edu/proceedings/2006%20Proceedings/2006%20Conference%20Proceedings/Tuesday%20Sessions%2011-14/Session%20(12)/12.4.%20Brown.pdf)>, (Consultado a 21 Jan. 2007).
- Correia, F. N.; Santos, M. A. e Rodrigues, R. R. (1988) – “Risk Analysis and Regional Characterization of Droughts”. Memória nº 709. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Diamantino, C. (2005) – “Metodologias de Recarga Artificial de Aquíferos”. Apresentado no 7º “Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa”. Évora, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Diamantino, C.; Lobo Ferreira, J. P. e Leitão, T. (2007) - “Artificial Aquifer Recharge Experiments in the Portuguese Campina de Faro Case-Study Area”. in “XXXV Congress of International Association of Hydrogeologists: Groundwater and Ecosystems”. Lisboa, International Association of Hydrogeologists.

- Dillon, P. e Molloy, R. (2006) – “Technical Guidance for ASR - Developing Aquifer Storage and Recovery (ASR) Opportunities in Melbourne”. CSIRO Land and Water Science Report 4/06, Australia, CSIRO Land and Water.
Disponível na WWW:
<http://www.smartwater.com.au/downloaddocs/Technical_Guidelines_for_ASR.pdf>,
(Consultado em 23 Jan. 2007)
- Domingos, S. I. S. (2006) – “Análise do Índice de Seca Standardized Precipitation Index (SPI) em Portugal Continental e Sua Comparação com o Palmer Drought Severity Index (PDSI)”. Tese de licenciatura em Meteorologia, Oceanografia e Geofísica Interna – variante Meteorologia. Lisboa, Faculdade de Ciências - Universidade de Lisboa.
- Ferreira, A. M. P. J. (2000) – "Dados Geoquímicos de Base de Sedimentos Fluviais de Amostragem de Baixa Densidade de Portugal Continental: Estudo de Factores de Variação Regional". Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para a obtenção do grau de Doutor em Geociências. Aveiro, Universidade de Aveiro. Cap. 2, pp. 19-61.
Disponível em WWW:
<http://e-geo.ineti.pt/geociencias/edicoes_online/teses/antonio_ferreira/antonio_ferreira.htm>,
(Consultado em 7 Mar. 2007)
- INAG (2001) – “Plano Nacional da Água”. Lisboa, Instituto da Água – Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
Disponível em WWW:
<http://www.inag.pt/inag2004/port/a_intervencao/planeamento/pna/pna.html>, (Consultado em 10 Jan. 2007)
- Lobo Ferreira, J.P.C. (1981) – “Modelação Matemática do Balanço Hídrico Sequencial Diário. Exemplo de Aplicação à Região Algarvia (Faro)”. In Seminário “Os Recursos Hídricos Subterrâneos e a sua Utilização. O Caso do Algarve”. Lisboa, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Lobo Ferreira, J.P.C. (1995) – “Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal”. Conferência realizada no Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos da Universidade do Porto, em Março de 1995.
- Lobo Ferreira, J. P. C. (2006) – “ASEMWaterNet Coordination Action: Deliverable 1 - First Annual Activity Report of the Sub-Network Basin”. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

- Lobo Ferreira, J.P.C. e Cabral, M. (1991) – “Proposal for an Operational Definition of Vulnerability for the European Community’s Atlas of Groundwater Resources”. Apresentado no “Meeting of the European Institute for Water”. Brussels, Groundwater Work Group Brussels.
- Lobo Ferreira, J.P.C.; Oliveira, M.M. e Diamantino, C. (2007) – “GABARDINE project: Portuguese test site contribution to D24”. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Lopes, A. R.; Rodrigues, R. e Orlando, M. (2005) – “O Aproveitamento Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Sistema Aquífero Querença-Silves da Seca de 2004/2005”. Lisboa, Instituto da Água – Direção de Serviços de Recursos Hídricos, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
Disponível na WWW:
<http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/saquifero_m5_mar05.pdf>, (Consultado em 18 Jan. 2007)
- Mckee, T.B.; Doesken, N.J. e Kleist, J. (1995) – “Drought Monitoring with Multiple Time Scales”. Artigo apresentado na “9th Conference on Applied Climatology”. Dallas (Texas).
- Monteiro, J.P. (2004) - “O Golfe no Algarve. O Presente e o Futuro”. Faro, Faculdade de Ciências do Mar e do Ambiente – Universidade do Algarve. Coord. por Martins, M.V. e Correia, A.H. Notiforma. Capítulo do livro, pp. 7 – 41.
- Monteiro, J.P. (2005) – “A importância do Dimensionamento de Captações de Águas Subterrâneas no Algarve - Passado, Presente e Futuro”. Manual Técnico de Engenharia, Águas Subterrâneas e Efluentes Tratados da GRUNDFOS. Lisboa, Expresso Gráfico.
- Monteiro, J.P.; Silva, J.M.; Guerreiro, P.; Martins, J. e Reis, E. (2007) – “Modelação de Relações Entre Águas Superficiais e Subterrâneas nos Aquíferos do Algarve Central”. Artigo apresentado no “[Seminário sobre Águas Subterrâneas](#)”. Lisboa, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Monteiro, J.P.; Vieira, J.; Nunes, L. e Younes, F. (2006a) – “Inverse Calibration of a Regional Flow Model for the Querença-Silves Aquifer System (Algarve-Portugal)”. Artigo apresentado na conferência “Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development”. Marrakech, International Association of Hydrogeologists.

- New Mexico Environment Department - Drinking Water Bureau (2000) - "Source Water Assessment and Protection Program". Santa Fe (U.S.A), New Mexico Environment Department.
Disponível na WWW:
(http://www.nmenv.state.nm.us/dwb/Documents/SWAPP_2000.pdf) (Consultado em 16 Jul. 2007)
- Oliveira, M. J. P. M. (2004) – "Recarga de Águas Subterrâneas – Métodos de Avaliação", Dissertação apresentada à Universidade de Lisboa para a obtenção do grau Doutor em Geologia. Lisboa, Faculdade de Ciências – Universidade de Lisboa.
- Oliveira, M.M. e Lobo Ferreira, J.P. (2002) – "Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima". Artigo para o Vol.23 nº1 da Revista "Recursos Hídricos". Lisboa, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos. pp. 63-74.
- Orlando, M. (2001) – "Modelação Numérica do Escoamento no Sistema Aquífero Querença-Silves (M5)". Lisboa, Instituto da Água – Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
Disponível na WWW:
<http://snirh.inag.pt/snirh/download/relatorios/modela_aquif_m5.pdf>, (Consultado em 18 Jan. 2007).
- Palmer, W. C. (1965) – "Meteorological Drought". Paper nº 45. Washington D.C., Weather Bureau Research.
- Paulo, A.A.; Pereira, L.S. e Ferreira, E. (2003) – "O Índice de Palmer e o Índice Normalizado de Precipitação na Identificação de Períodos Secos", Apresentado no 6º "Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Língua Oficial Portuguesa", Praia (Cabo Verde). pp. 289 – 300.
- Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (2000) – "1ª Fase - Análise e Diagnóstico da Situação de Referência". Lisboa, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
Disponível na WWW:
<<http://www.ccdr-alg.pt/ccr/index.php?module=ContentExpress&func=display&ceid=287>>, (Consultado em 10 Jan. 2007)

- Plano Regional de Ordenamento do Território do Algarve (PROT-Algarve) (2007). Faro. Comissão de Coordenação de Desenvolvimento Regional do Algarve.
Disponível na WWW:
<<http://www.territorioalgarve.pt/Download.aspx>>, (Consultado em 4 Jul. 2007).
- Pyne, R.D.G. (1995) – “Groundwater Recharge and Wells: A Guide to Aquifer Storage Recovery”. Boca Raton, Lewis Publishers.
- Ribeiro, L. (2006) – “O Aquífero que Salvou o Algarve”. Poster apresentado na “Exposição no IST no âmbito do Roteiro para a Ciência - Tecnologias Limpas”. Lisboa, Instituto Superior Técnico.
Disponível na WWW:
<http://www.ist.utl.pt/html/iniciativas/teclimpas/files/gest_agua/aquifero_algarve.pdf>,
(Consultado em 27 Mar. 2007)
- Rodrigues, R.; Santos, M. A. e Correia, F. N. (1993) – “A Seca na Perspectiva da Investigação Hidrológica”. Artigo apresentado no “Simpósio Catástrofes Naturais”. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil
- Santos, M. A. B. A. (1981) – “On the Stochastic Characterization of Regional Droughts”. Tese apresentada a concurso para a obtenção do grau de "Especialista". Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil.
- Santos, M. A.; Correia, F. N. e Cunha, L. V. (1983) – “Drought characterization and drought impacts in Portugal”. Memória nº 591. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil,.
- Santos, M. J. J. (1998) – “Caracterização e Monitorização de Secas”. Lisboa, Instituto da Água – Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
Disponível na WWW:
<http://snirh.pt/snirh/estudos_proj/portugues/docs/download/CARACT_SECAS_PC.pdf>,
(Consultado em 9 Jan. 2007).

Legislação consultada:

- Assembleia da República (1987) – “Lei nº 11/87 de 7 de Abril, Lei de Bases do Ambiente – LBA”. Diário da República I Série. Publicação 81. pág. 1386 – 1397.
- Assembleia da República (2005), “Lei nº. 58/2005 de 29 de Dezembro, Aprova a Lei da Água”. Diário da República I Série A. Publicação 249. pág. 7280 – 7310.

- Governo (1993) – “Decreto-Lei n.º 19/93 de 23 de Janeiro, Rede Nacional de Áreas Protegidas”. Diário da República I Série A. Publicação 19. pág. 271 – 277.
- Governo (1997) – “Decreto-Lei n.º 226/97 de 27 de Agosto, Habitats naturais e da flora e fauna selvagens”. Diário da República I Série A. Publicação 197. pág. 4433- 4457
- Ministério do Ambiente (1998) - “Decreto-Lei n.º 236/98 de 1 de Agosto, Lei da qualidade da água”. Diário da República I Série A. Publicação 176. pág. 3677- 3722.
- Ministério do Ambiente (1999) – “Decreto-Lei n.º. 384-B/99 de 23 de Setembro, Zonas de protecção especial” Diário da República I Série A. Publicação 223. pág. 6644-(2) - 6644-(23).
- Ministério do Ambiente do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional (2005) – “Decreto-Lei n.º 197/2005 de 8 de Novembro, Altera o DL 69/2000 (AIA)”. Diário da República I Série A. Publicação 214. pág. 6411 – 6439.
- Parlamento Europeu/Conselho (2000)- “Directiva 2000/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 23 de Outubro, Quadro de acção no domínio da política da água”. JOCE. Publicação L 327. pág. 1 – 72.
- Parlamento Europeu/Conselho (2006) “Directiva 2006/118/CE do Parlamento Europeu e do Conselho de 12 de Dezembro, Protecção das águas subterrâneas contra a poluição”. JOL. Publicação 372. pág. 19- 32.

Sites consultados:

- Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional do Algarve
<http://www.ccdr-alg.pt/> (Última consulta em Setembro 2007)
- Grande Área Metropolitana do Algarve
<http://www.amal.pt/> (Última consulta em Fevereiro 2007)
- Instituto da Água
<http://www.inag.pt/> (Última consulta em Fevereiro 2007)
- Instituto Geográfico Português
<http://www.igeo.pt> (Última consulta em Julho 2007)
- Instituto Nacional de Estatísticas
<http://www.ine.pt> (Última consulta em Março 2007)

- Intergovernmental Panel on Climate Change da World Meteorological Organization
<http://www.ipcc.ch/> (Última consulta em Fevereiro 2007)
- International Strategy for Disaster Reduction
<http://www.unisdr.org/> (Última consulta em Fevereiro 2007)
- Inventário Nacional de Sistemas de Abastecimento de Água e de Águas Residuais do Instituto da Água
<http://insaar.inag.pt/> (Última consulta em Agosto 2007)
- National Drought Mitigation Center of the University of Nebraska – Lincoln (U.S.A.)
<http://www.drought.unl.edu/> (Última consulta em Janeiro 2007)
- Núcleo de Águas Subterrâneas do Departamento de Hidráulica e Ambiente do Laboratório Nacional de Engenharia Civil
<http://www.dha.lnec.pt/nas/> (Última consulta em Setembro 2007)
- Programa Regional de Ordenamento do Território do Algarve
<http://www.territorioalgarve.pt/> (Última consulta em Julho 2007)
- Sistema de Informação Documental Sobre Direito do Ambiente
<http://www.diramb.gov.pt/> (Última consulta em Setembro 2007)
- Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos do Instituto da Água
<http://snirh.inag.pt/> (Última consulta em Setembro 2007)
- World Meteorological Organization
<http://www.wmo.ch/> (Última consulta em Fevereiro 2007)

Anexo 1 – Anexos I e II do Decreto-Lei nº236/98 de 01 de Agosto de 1998

ANEXO I

Qualidade das águas doces superficiais destinadas à produção de água para consumo humano

Parâmetros	Expressão dos resultados	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	-
Cor (após filtração simples)	mg/l, escala Pt-Co	10	(O) 20	50	(O) 100	50	(O) 200
Sólidos suspensos totais	mg/l	25	-	-	-	-	-
Temperatura	°C	22	(O) 25	22	(O) 25	22	(O) 25
Condutividade	µS/cm, 20°C	1 000	-	1 000	-	1 000	-
Cheiro	Factor de diluição, a 25°C	3	-	10	-	20	-
Nitratos (*)	mg/l NO ₃	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 Fe	0,1	0,3	1,0	2,0	1,0	-
Manganês (*)	mg/l Mn	0,05	-	0,10	-	1,00	-
Cobre	mg/l Cu	0,02	(O) 0,05	0,05	-	1,00	-
Zinco	mg/l Zn	0,5	3,0	1,0	5,0	1,0	5,0
Boro	mg/l B	1,0	-	1,0	-	1,0	-
Berílio	mg/l Be	-	-	-	-	-	-
Cobalto	mg/l Co	-	-	-	-	-	-
Níquel	mg/l Ni	-	-	-	-	-	-
Vanádio	mg/l V	-	-	-	-	-	-
Arsénio	mg/l As	0,01	0,05	-	0,05	0,05	0,10
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	0,0010	0,0005	0,0010	0,0005	0,0010
Bário	mg/l Ba	-	0,1	-	1,0	-	1,0
Cianetos	mg/l CN	-	0,05	-	0,05	-	0,05
Sulfatos	mg/l So ₄	150	250	150	(O) 250	150	(O) 250
Cloreto	mg/l Cl	200	-	200	-	200	-
Substâncias tensoactivas (que reagem com o azul-de-metileno).	mg/l, sulfato de lauril e sódio	0,2	-	0,2	-	0,5	-
Fosfatos (*) (2)	mg/l P ₂ O ₅	0,4	-	0,7	-	0,7	-
Fenóis	mg/l C ₆ H ₅ OH	-	0,001	0,001	0,005	0,010	0,100
Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados	mg/l	-	0,05	-	0,20	0,50	1,00
Hidrocarbonetos aromáticos polinucleares	µg/l	-	0,2	-	0,2	-	1,0
Pesticidas totais (paratíon, hexaclorociclo-hexano, dieldrina e outros).	µg/l	-	1,0	-	2,5	-	5,0
Carência química de oxigénio (CQO) (*)	mg/l O ₂	-	-	-	-	30	-
Oxigénio dissolvido (*) (3)	% saturação de O ₂	70	-	50	-	30	-
Carência bioquímica de oxigénio a (CBO ₅ , 20°C) (*)	mg/l O ₂	3	-	5	-	7	-
Azoto Kjeldahl (excluindo o azoto de NO ₂ e NO ₃)	mg/l N	1	-	2	-	3	-
Azoto amoniacal	mg/l NH ₄	0,05	-	1,00	1,50	2,00	(O) 4,00
Substâncias extraíveis com clorofórmio	mg/l	0,1	-	0,2	-	0,5	-
Carbono orgânico total (COT)	mg/l C	-	-	-	-	-	-

Parâmetros	Expressão dos resultados	A1		A2		A3	
		VMR	VMA	VMR	VMA	VMR	VMA
Carbono orgânico residual após floculação e filtração através de membrana (5µm).	mg/l C	-	-	-	-	-	-
Coliformes totais	/100 ml	50	-	5 000	-	50 000	-
Coliformes fecais	/100 ml	20	-	2 000	-	20 000	-
Estreptococos fecais	/100 ml	20	-	1 000	-	10 000	-
Salmonelas		Ausência em 5 000 ml	-	Ausência em 1 000 ml	-	-	-

(O) Os limites podem ser excedidos em caso de condições geográficas ou meteorológicas excepcionais (n.º 1 do artigo 10.º).

(*) Os limites podem ser excedidos para os parâmetros marcados com * em lagos de 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 máximas diárias.

(2) Este parâmetro é incluído para satisfazer as exigências ecológicas de certos meios.

(3) Refere-se a um VmR.

VMR — valor máximo recomendado.

VMA — valor máximo admissível.

ANEXO II

Esquemas tipo de tratamento referentes às classes A1, A2 e A3 das águas superficiais

Classe A1 — tratamento físico e desinfecção.

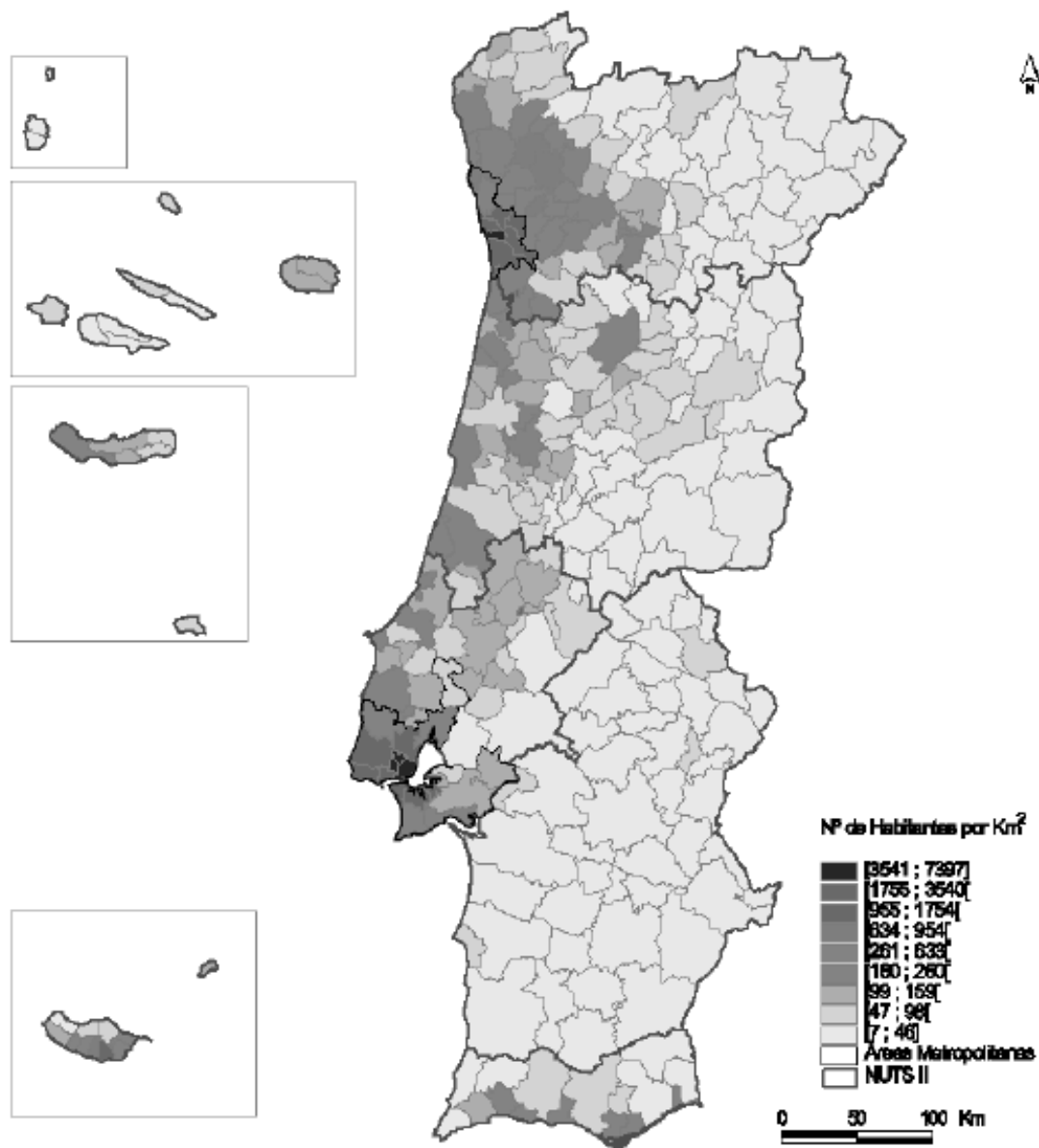
Classe A2 — tratamento físico e químico e desinfecção.

Classe A3 — tratamento físico, químico de afinação e desinfecção.

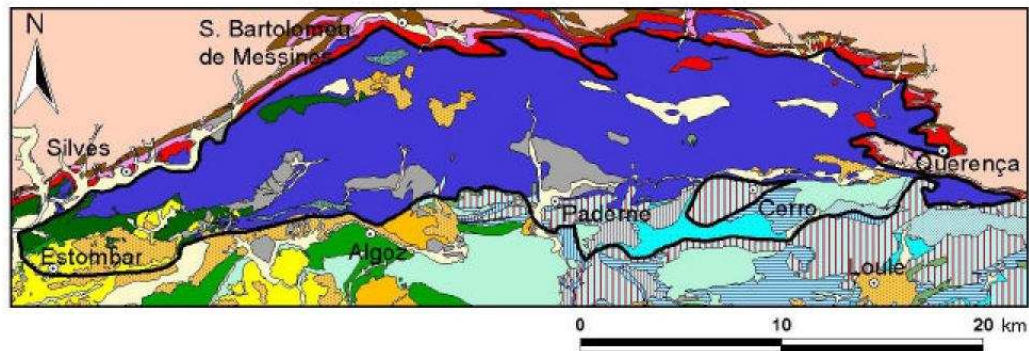
Anexo 2 – Bacias hidrográficas portuguesas segundo os Planos de Bacias Hidrográficas (retirado de <http://snirh.inag.pt>)



Anexo 3 – Densidade populacional em Portugal (retirado de <http://www.ine.pt>)



Anexo 4 – Mapa geológico do sistema aquífero Querença-Silves
(retirado de Almeida *et al.*, 2000)



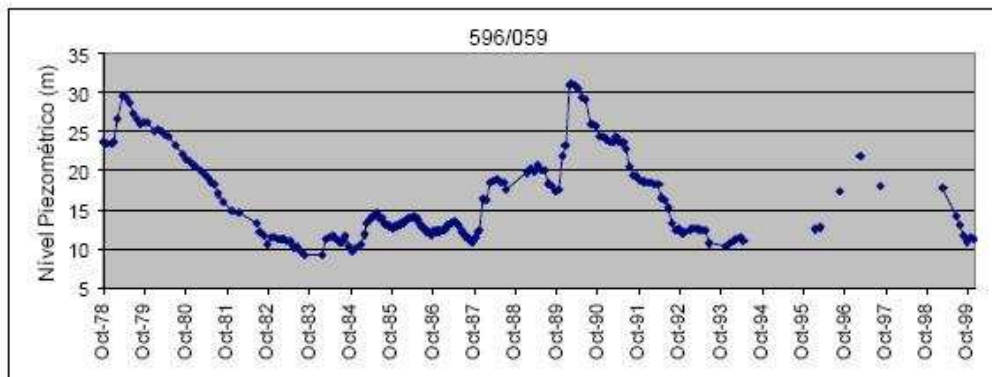
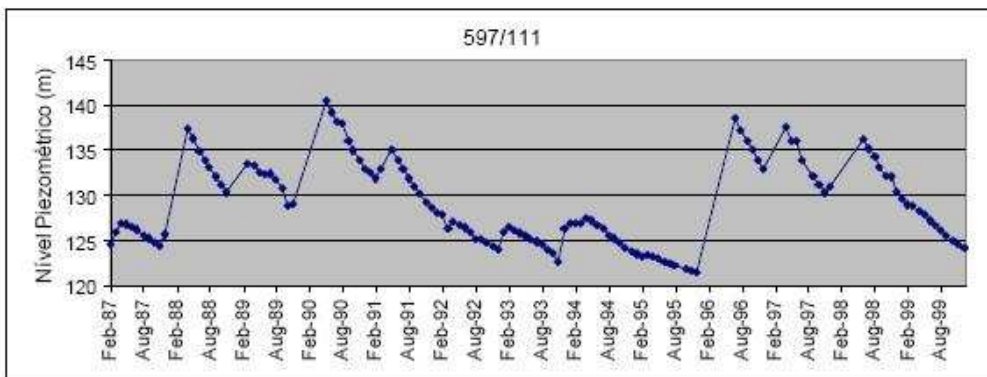
Localidades
Sistema aquífero Querença-Silves

- Aluviões (Recente)
- Cascalheiras, terraços e tufo calcários (Recente)
- Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira (Quaternário)
- Conglomerados de Galvanas e Siltes glauconíticos da Campina de Faro (Miocénico)
- Arenitos calcários e calcários com seixos (Miocénico)
- Conglomerados e Argilas da Guia (Oligocénico)
- Formações calco-margosas e detriticas (Cretácico)
- Calcários de Escarpão e Calcários com *Anchispirocyclus lusitanica* (Jurássico sup.)
- Dolomitos e Calcários Dolomíticos de Sta Bárbara de Nexe (Jurássico sup.)
- Calcários bioconstruídos de Cerro da Cabeça (Jurássico sup.)
- Calcários com nódulos de sílex de Jordana (Jurássico sup.)
- Arenitos e conglomerados do M^o Cotovio (Jurássico sup.)
- Calcários argilosos e margas de Peral (Jurássico sup.)
- Calcários de S. Romão (Jurássico sup.)
- Calcários e Margas de Telheiro (Jurássico médio)
- Calcários e Dolomitos de Almádena (Jurássico médio)
- Conglomerados de Odeáxere-Calcários de Vale de Lamas (Jurássico médio)
- Formação de Picavessa (Calcários de Alte) (Jurássico inf.)
- Complexo Vulcano-Sedimentar (Jurássico inf.)
- Pelitos, Calcários e Evaporitos de Silves (Triásico-Jurássico inf.)
- Arenitos de Silves (Triásico)
- Grupo do Flysh do Baixo Alentejo (Carbónico)
- Rochas eruptivas

Anexo 5 – Falhas tectónicas no sistema aquífero de Querença-Silves (retirado de Orlando, 2001)



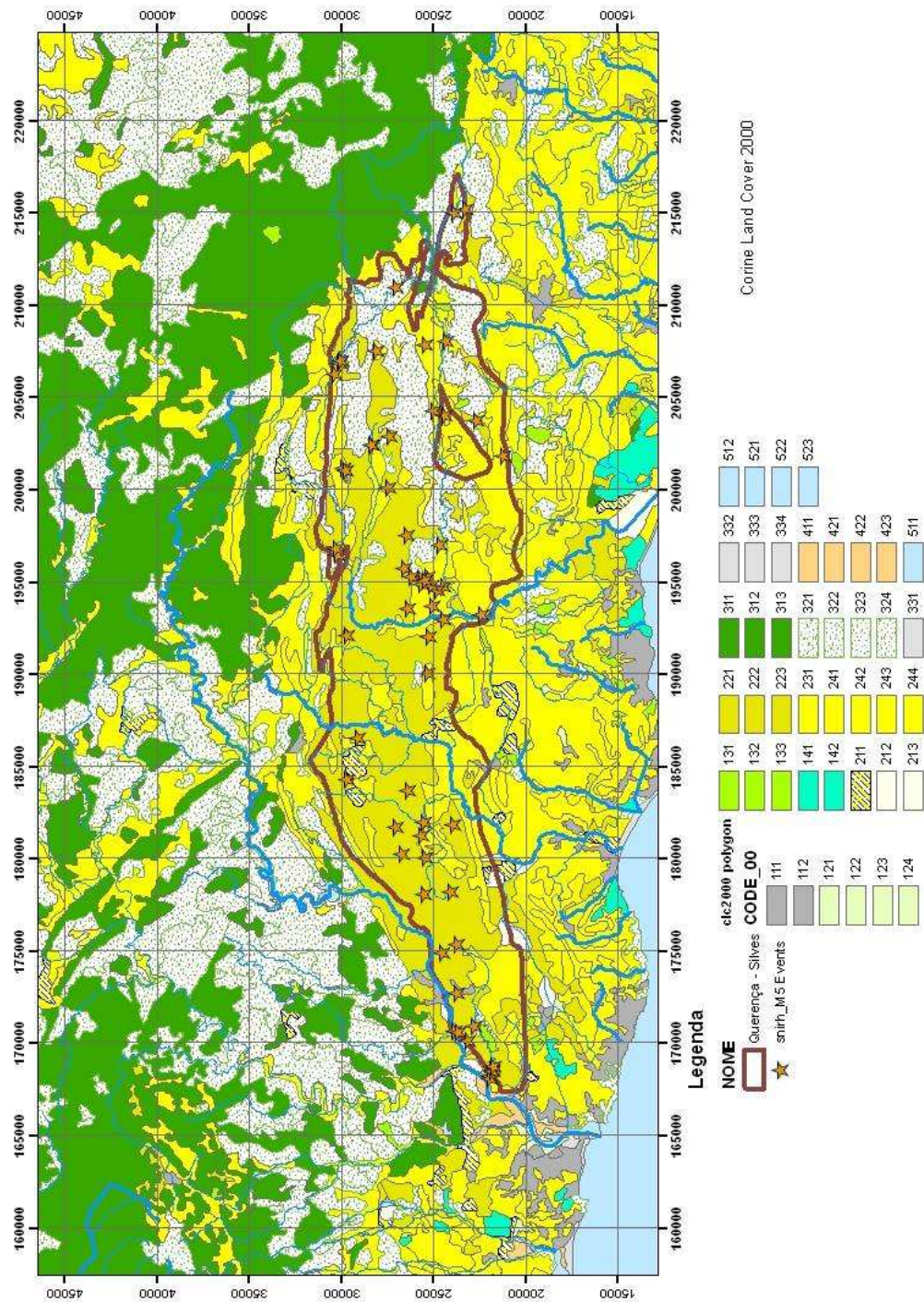
Anexo 6 – Históricos dos níveis piezométricos de estações 596/259, 597/111, 595/215 e 596/059, pertencentes ao INAG (retirado de Almeida *et al.*, 2000)



Anexo 7 – Dados dos pontos da rede de quantidade de água subterrânea do SNIRH-INAG pertencentes ao sistema aquífero Querença-Silves (obtido em <http://snirh.inag.pt>)

Referencia	Media nível piezométrico (m)	Altitude (m)	Coordenada X	Coordenada Y	Profundidade (m)
588/1	218.18	220.76	206900.00	30120.00	2.58
588/2	218.20	222.93	207030.00	30020.00	4.73
595/55	10.88	58.49	180070.00	25460.00	47.61
595/76	10.45	49.37	181270.00	25660.00	38.92
595/121	7.06	50.40	174930.00	24570.00	43.34
595/215	4.51	63.76	172750.00	23750.00	59.25
595/309	2.72	34.73	170950.00	22800.00	32.01
595/1016	6.17	79.99	181902.00	23989.00	73.82
595/1024	7.28	68.36	181730.00	27080.00	61.08
595/1025	7.24	72.84	180310.00	26740.00	65.60
595/1033	5.94	94.81	175360.00	23750.00	88.87
595/1056	4.72	92.80	178240.00	24100.00	88.08
596/272	12.99	63.95	194800.00	24500.00	50.96
596/273	17.48	68.62	194600.00	24850.00	51.14
596/275	9.93	71.30	194850.00	25150.00	61.37
596/276	19.19	69.10	195350.00	25360.00	49.91
596/277	19.17	68.56	195250.00	25750.00	49.39
596/278	17.07	69.01	194950.00	25650.00	51.94
596/279	18.06	70.14	193600.00	26400.00	52.08
596/284	15.87	67.18	193740.00	25100.00	51.31
596/302	19.39	66.71	195300.00	26200.00	47.32
596/322	17.83	69.06	195150.00	25450.00	51.23
597/80	86.46	97.95	204050.00	24450.00	11.49
597/83	273.95	282.48	201200.00	29900.00	8.53
597/92	256.44	313.20	201850.00	21250.00	56.76
597/95	134.48	195.00	202500.00	28400.00	60.52
597/138	93.21	110.00	204300.00	25020.00	16.79
597/362	189.37	230.00	215250.00	23300.00	40.63
597/364	114.76	132.69	207900.00	25450.00	17.93
597/365	256.55	276.00	201100.00	29800.00	19.45
597/112	140.00	140.00	210986.00	27051.00	0.00
597/113	190.00	190.00	215069.00	23890.00	0.00
587/23	192.00	192.00	196487.00	30222.00	0.00
595/1067	1.00	1.00	170686.00	23860.00	0.00
595/216	0.27	0.27	168344.00	21828.00	0.00
595/259	20.00	20.00	170150.00	23160.00	0.00
588/7	200.00	200.00	206300.00	30350.00	0.00
596/262	14.16	84.64	184300.00	29700.00	70.48
595/212	11.61	47.02	182000.00	25550.00	35.41
595/1028	6.27	91.32	178125.00	25560.00	85.05
595/80	13.34	69.59	183740.00	26440.00	56.25
596/59	15.74	85.26	186570.00	29100.00	69.52
596/19	44.40	75.34	197060.00	24680.00	30.94
596/24	28.41	69.53	195800.00	26590.00	41.12
596/35	39.66	94.64	197550.00	26480.00	54.98
596/51	20.38	60.97	192990.00	24500.00	40.59
596/243	76.61	134.25	192170.00	29700.00	57.64
596/259	18.68	80.25	192100.00	25250.00	61.57
597/81	111.35	181.58	200150.00	27450.00	70.23
597/96	123.73	182.52	202450.00	28350.00	58.79
597/111	128.81	155.26	207560.00	28120.00	26.45
597/87	106.28	119.57	208100.00	24350.00	13.29
597/121	104.31	144.00	203800.00	22700.00	39.69

Anexo 9 – Mapa de ocupação de solo do sistema aquífero Querença-Silves (dados utilizados: mapa Corine Land Cover)

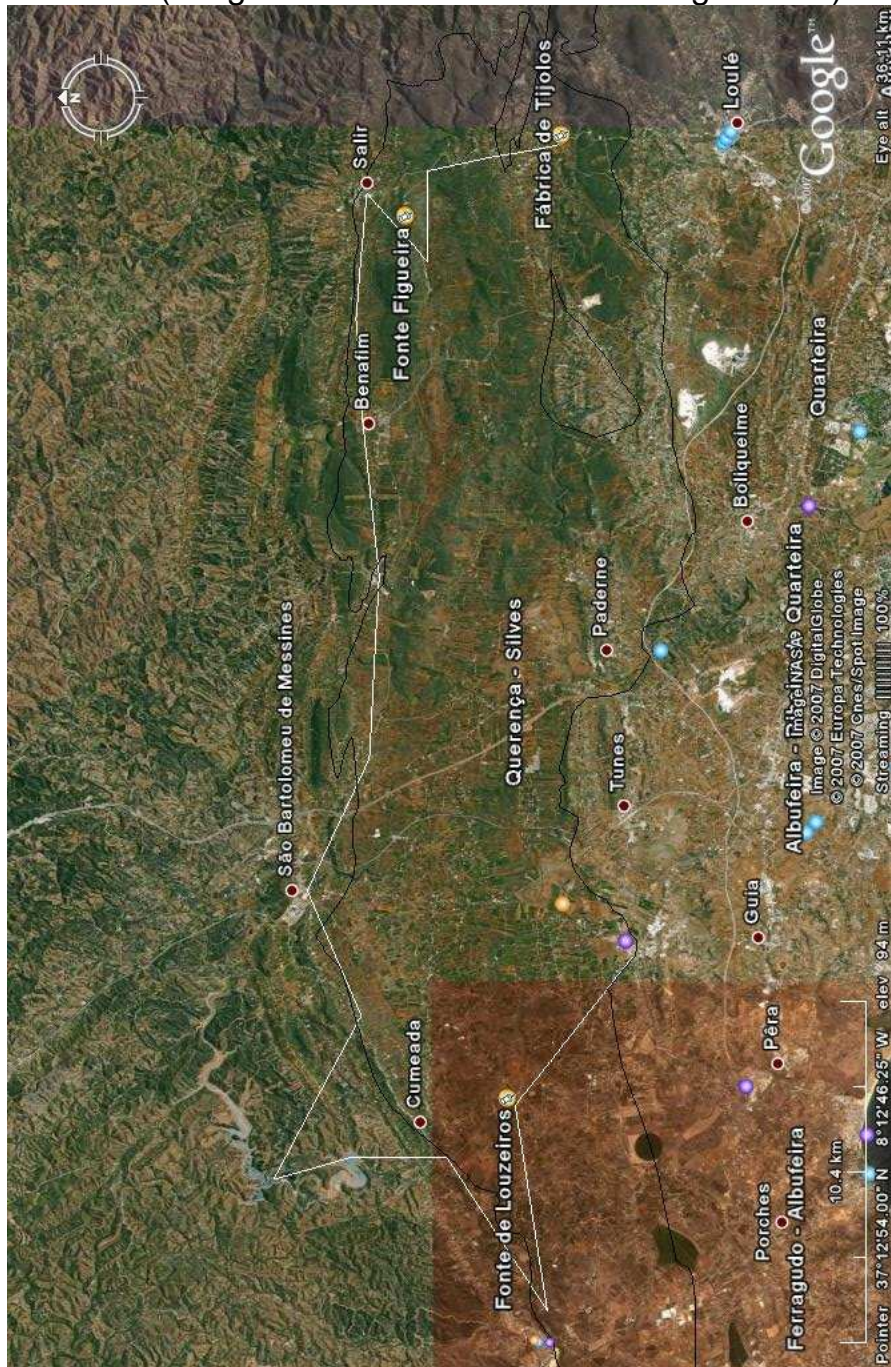


Código	Descrição		
	1 - Territórios artificializados		3 - Florestas e meios semi-naturais
	11 - Zonas com predominância de habitações:		31 - Florestas:
111	Tecido urbano contínuo	311	Folhosas
112	Tecido urbano descontínuo	3111	Sobreiro
	12 - Zonas com revestimento predominantemente artificial:	3112	Azinhreira
121	Espaços de actividades industriais, comerciais e de equipamentos gerais	3113	Sobreiro / Azinhreira
122	Redes rodoviárias e ferroviárias e terrenos associados	3114	Castanheiro
123	Zonas portuárias	3115	Carvalho
124	Aeroportos	3116	Eucalipto
	13 - Zonas alteradas artificialmente sem vegetação:	312	Resinosas
131	Pedreiras, zonas de extracção de areias, minas a céu aberto	3121	Pinheiro Bravo
132	Zonas de descargas industriais, zonas de espalhamento de lixos	3122	Pinheiro Manso
133	Estaleiros	313	Florestas mistas
	14 - Zonas verdes ordenadas:		32 - Zonas com vegetação arbustiva ou herbácea:
141	Espaços urbanos verdes	321	Pastagens pobres, trilhos
142	Zonas com equipamentos desportivos e de ocupação dos tempos livres	322	Pântanos e charnecas
	2 - Área com ocupação agrícola	323	Vegetação esclerófila (p. ex.: maquia, carrascal e esteval)
	21 - Áreas agrícolas com culturas anuais	324	Espaços florestais degradados
211	Zonas de utilização agrícola fora dos perímetros de rega		33 - Zonas descobertas sem ou com pouca vegetação:
212	Perímetros regados	331	Praias, dunas, areias e solos sem cobertura vegetal
213	Arrozais	332	Rochas nuas
	22 - Culturas permanentes	333	Estepes subdesérticas
221	Vinhhas	334	Zonas áridas recentemente
2212	Vinha + Pomar	335	Neves eternas e glaciares
2213	Vinha + Olival		4 - Meios aquáticos
222	Pomares		41 - Zonas húmidas continentais:
2221	Pomar + Vinha	411	Pântanos
2223	Pomar + Olival	412	Turfeiras
223	Olivais		42 - Zonas húmidas marítimas:
2231	Olival + Vinha	421	Sapais
2232	Olival + Pomar	422	Salinas
	23 - Pastagens:	423	Zonas intertidais
231	Pastagens		5 - Superfícies com água
	24 - Zonas agrícolas heterogéneas:	51	Zonas de água doce:
241	Culturas anuais associadas a culturas permanentes	511	Cursos de água
242	Sistemas culturais e parcelares complexos	512	Planos de água, lagos
243	Terras ocupadas principalmente por agricultura com espaços naturais importantes		52 - Zonas de água salgada:
244	Territórios agroflorestais	521	Lagunas e cordões litorais
		522	Estuários
		523	Mar e oceano

Anexo 10 – Relatório qualidade da água subterrânea do sistema aquífero Querença-Silves – Ano 2005 (obtido de <http://snirh.inag.pt>)

REFERÊNCIA	CLASSIFICAÇÃO	PARÂMETROS RESPONSÁVEIS PELA CLASSIFICAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA (2005)
587/21	A2	Azoto amoniacal, Coliformes fecais, Coliformes totais e Ferro
588/7	A2	Coliformes fecais, Coliformes totais e Estreptococos fecais
594/403	>A3	Condutividade
594/404	>A3	Condutividade
595/1011	A1	
595/1034	A1	
595/1035	A1	
595/1040	A1	
595/1047	A1	
595/1051	A1	
595/1052	A1	
595/1094	>A3	Cloretos e Condutividade
595/1095	>A3	Condutividade
595/137	A1	
595/171	A1	
595/192	>A3	Condutividade
595/193	>A3	Condutividade
595/197	>A3	Cloretos e Condutividade
595/198	>A3	Cloretos e Condutividade
595/209	A2	Coliformes totais
595/214	A1	
595/216	>A3	Condutividade
595/260	>A3	Condutividade
595/262	>A3	Cloretos e Condutividade
595/269	>A3	Condutividade
595/270	>A3	Condutividade
595/271	>A3	Condutividade
595/272	>A3	Condutividade
595/287	A2	Ferro
595/298	A3	Hidrocarbonetos dissolvidos ou emulsionados
595/299	A1	
595/301	A1	
595/303	A1	
595/305	A1	
595/306	A1	
595/362	A1	
595/95	A1	
595/959	>A3	Condutividade
595/96	A1	
595/97	A1	
596/143	A2	Ferro
596/188	A2	Azoto amoniacal
596/263	A1	
596/274	A1	
596/275	A1	
596/278	A1	
596/279	A1	
596/322	A1	
596/330	A2	Coliformes totais e Estreptococos fecais
596/332	A1	
597/109	>A3	Condutividade e Nitratos
597/113	A2	Coliformes fecais, Coliformes totais e Manganês
597/87	A2	Coliformes totais e Estreptococos fecais
597/91	A3	Coliformes totais e Manganês

Anexo 11 – Percurso da visita de campo no sistema aquífero Querença-Silves (imagem retirada do software Google Earth)



Anexo 12 – Classificação da água superficial de acordo com as suas características de qualidade para Usos Múltiplos (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

CLASSE:		A	B	C	D	E
		Excelente	Boa	Razoável	Má	Muito má
PARÂMETRO	Unidades					
pH		6.5 - 8.5*	5.5 - 9.0	5.0 - 10.00	4.5 - 11.0	
Condutividade	(uS/cm, 20°C)	<=750	751 – 1 000	1 001 - 1 500	1 501 - 3 000	>3 000
SST	(mg/l)	<=25.0	25.1 - 30.0	30.1 - 40.0	40.1 - 80.0	>80.0
Sat OD	(%)	>=90	89 - 70	69 - 50	49 - 30	<30
CBO5	(mg O ₂ /l)	<=3.0	3.1 - 5.0	5.1 - 8.0	8.1 - 20.0	>20.0
CQO	(mg O ₂ /l)	<=10.0	10.1 - 20.0	20.1 - 40.0	40.1 - 80.0	>80.0
Azoto Amoniacal	(mg NH ₄ /l)	<=0.50	0.51 - 1.50	1.51 - 2.50	2.51 - 4.00	>4.00
Nitratos	(mg NO ₃ /l)	<=5.0	5.0 - 25.0	25.1 - 50.0	50.1 - 80.0	>80.0
Azoto Kjeidahl	(mg N/l)	<=0.5	0.51 - 1.00	1.01 - 2.00	2.01 - 3.00	>3.00
Fosfatos	(mg P ₂ O ₅ /l)	<=0.40	0.41 - 0.54	0.55 - 0.94	0.95 - 1.00	>1.00
Fósforo Total	(mg P/l)	<=0.2	0.21 - 0.25	0.26 - 0.40	0.41 - 0.50	>0.50
Coliformes Totais	(/100 ml)	<=50	51 - 5 000	5 001 - 50 000	>50 000	-
Coliformes Fecais	(/100 ml)	<=20	21 - 2 000	2 001 - 20 000	>20 000	-
Estreptococos Fecais	(/100 ml)	<=20	21 - 2 000	2 001 - 20 000	>20 000	-
Ferro	(mg/l)	<=0.50	0.51 - 1.00	1.10 - 1.50	1.50 - 2.00	>2.00
Manganês	(mg/l)	<=0.10	0.11 - 0.25	0.26 - 0.50	0.51 - 1.00	>1.00
Zinco	(mg/l)	<=0.30	0.31 - 1.00	1.01 - 3.00	3.01 - 5.00	>5.00
Cobre	(mg/l)	<=0.050	0.051 - 0.2	0.201 - 0.5	0.501 - 1.000	>1.00
Crómio	(mg/l)	<=0.050	-	0.051 - 0.080	-	>0.080
Selénio	(mg/l)	<=0.01	-	0.011 - 0.050	-	>0.050
Cádmio	(mg/l)	<=0.0010	0.0011 - 0.0050		>0.0050	
Chumbo	(mg/l)	<=0.050	-	0.051 - 0.100	-	>0.100
Mercúrio	(mg/l)	<=0.00050	-	0.00051 - 0.001	-	>0.001
Arsénio	(mg/l)	<=0.010	0.011 - 0.050	-	0.051 - 0.100	>0.100
Cianetos	(mg/l)	<=0.050	-	0.051 - 0.080	-	>0.080
Fenóis	(mg/l)	<=0.0010	0.0011 - 0.0050	0.0051 - 0.010	0.011 - 0.100	>0.100
Agentes Tensioactivos	(Las-mg/l)	<=0.2	-	0.21 - 0.50	-	>0.50

*O pH, sendo um parâmetro muito dependente de características geomorfológicas, pode apresentar valores fora deste intervalo, sem contudo significar alterações de qualidade devidas à poluição.

Anexo 13 – Histórico dos parâmetros responsáveis pela classificação de qualidade da água das Albufeiras da barragem do Arade e do Funcho (retirado de <http://snirh.inag.pt>)

	Albufeira da barragem do Arade	Albufeira da barragem do Funcho
1995	SST	-
1996	Oxidabilidade	Sat OD
1997	CQO, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, SST e Oxidabilidade	CQO, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Sat OD e Oxidabilidade
1998	SST	CQO, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Sat OD e Oxidabilidade
1999	SST	CQO, Coliformes Totais e Sat OD
2000	SST	CQO, Coliformes Totais e Sat OD
2001	CQO, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Estreptococos Fecais e Oxidabilidade	CQO, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Estreptococos Fecais, Sat OD e Oxidabilidade
2002	CQO, Coliformes Totais e Estreptococos Fecais	CQO, Coliformes Fecais, Coliformes Totais, Estreptococos Fecais e Sat OD
2003	SST	Azoto Kjeidahl, CQO e Mercúrio
2004	Oxidabilidade	CQO, Coliformes Totais, Sat OD e Oxidabilidade
2005	Oxidabilidade	SST e Oxidabilidade

