



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/17372

ÁGUA, ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA

Uma abordagem integrada e participativa na definição de estratégias inovadoras e prospectivas de gestão integrada de recursos hídricos no Sul de Portugal – Prowaterman

Projecto n.º PTDC/AAC-AMB/105061/2008

Primeiro relatório temático – Caracterização geológica e hidrogeológica das áreas de estudo do Alentejo e Algarve

Estudo realizado para a FCT – Fundação para a Ciência e a Tecnologia
Ministério da Ciência, Tecnologia e Ensino Superior

Lisboa • Setembro de 2010

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 285/2010 – NAS



MINISTÉRIO DAS OBRAS PÚBLICAS, TRANSPORTES E COMUNICAÇÕES
Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P.

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE
Núcleo de Águas Subterrâneas

Proc. 0607/14/17372

**ÁGUA, ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA. UMA
ABORDAGEM INTEGRADA E PARTICIPATIVA NA DEFINIÇÃO DE
ESTRATÉGIAS INOVADORAS E PROSPECTIVAS DE GESTÃO
INTEGRADA DE RECURSOS HÍDRICOS NO SUL DE PORTUGAL –
PROWATERMAN**

Projecto n.º PTDC/AAC-AMB/105061/2008

**Primeiro relatório temático – Caracterização geológica e hidrogeológica das áreas
de estudo do Alentejo e Algarve**

Equipas do projecto:



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL



FACULDADE
DE CIÊNCIAS
UNIVERSIDADE DE LISBOA



Universidade
Atlântica



Lisboa, Setembro 2010

Estudo realizado para:

FCT Fundação para a Ciência e a Tecnologia
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR

**ÁGUA, ECOSISTEMAS AQUÁTICOS E ACTIVIDADE HUMANA: UMA
ABORDAGEM INTEGRADA E PARTICIPATIVA NA DEFINIÇÃO DE
ESTRATÉGIAS INOVADORAS E PROSPECTIVAS DE GESTÃO INTEGRADA DE
RECURSOS HÍDRICOS NO SUL DE PORTUGAL – PROWATERMAN**

**Primeiro relatório temático – Caracterização geológica e hidrogeológica das
áreas de estudo do Alentejo e Algarve**

Resumo

No presente relatório é apresentada a caracterização geológica e hidrogeológica dos vários sistemas aquíferos das áreas de estudo, incluindo as relações águas superficiais/subterrâneas, piezometrias, parâmetros hidráulicos, e balanços hídricos, integrado a informação mais recente de monitorização de campo e modelação matemática desenvolvida nestes aquíferos.

**WATER, AQUATIC ECOSYSTEMS AND HUMAN ACTIVITY: AN INTEGRATED
AND PARTICIPATORY FRAMEWORK TO DEFINE INNOVATIVE PROSPECTIVE
STRATEGIES FOR WATER RESOURCES MANAGEMENT IN SOUTH PORTUGAL
- PROWATERMAN**

**1st Thematic Report – Geological and hydrogeological characterization of
the case study areas of Alentejo and Algarve**

Abstract

This report presents the geological and hydrogeological characterization of the several aquifer systems composing the study areas of this project. This characterization encompasses the groundwater/surface water linkages, piezometric heads, hydraulic parameters and water budgets, integrating the most updated information obtained through field work and mathematical modelling performed in these aquifers.

**EAU, ECOSYSTEMES AQUATIQUES ET ACTIVITE HUMAINE: UN
ENQUADREMENT INTEGRE ET PARTICIPATIF POUR DEFINIR DES
STRATEGIES INOVATIVES ET PROSPECTIVES POUR LA GESTION DES
RESSOURCES HYDRIQUES DANS LE SUD DU PORTUGAL - PROWATERMAN**

**1^{er} Rapport Thématique – Caractérisation géologique et hydrogéologique
des régions d'étude de l'Alentejo et Algarve**

Sommaire

Dans ce rapport on présente la caractérisation géologique et hydrogéologique des systèmes aquifères des régions d'étude. Cette caractérisation comprend les relations eaux superficiels/souterraines, les piézométries, paramètres hydrauliques et bilans hydriques, en se soutenant des informations des plus récents travaux de monitorization et de simulation mathématique développé sur ces aquifères.

ÍNDICE DO TEXTO

1	Introdução	1
2	Climatologia.....	3
2.1	Zona Terminal do Rio Arade: Sistemas Aquíferos de Querença-Silves e de Mexilhoeira Grande-Portimão	3
2.2	Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha: Aquífero de Sines	4
3	Rede Hidrográfica	5
3.1	Zona Terminal do Rio Arade: Sistemas Aquíferos de Querença-Silves e de Mexilhoeira Grande-Portimão	5
3.2	Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha: Aquífero de Sines	7
4	Estatuto de Conservação	7
5	Geologia.....	10
5.1	Zona Terminal do Rio Arade: Sistemas Aquíferos de Querença-Silves e de Mexilhoeira Grande-Portimão	10
5.1.1	Aquífero de Querença-Silves	10
5.1.2	Aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão.....	14
5.1.3	Maciço Antigo	16
5.2	Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha: Aquífero de Sines	18
6	Hidrogeologia	25
6.1	Sistema Aquífero de Querença-Silves.....	25
6.1.1	Caracterização geral.....	25
6.1.2	Relação águas superficiais-subterrâneas	29
6.1.3	Piezometria	33
6.1.4	Parâmetros hidráulicos	37
6.1.5	Balanço hídrico	39
6.1.5.1	Recargas	39
6.1.5.2	Descargas	41
6.1.5.3	Balanço hídrico.....	43
6.1.6	Funcionamento do sistema aquífero.....	47
6.2	Sistema Aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão.....	54
6.2.1	Caracterização geral.....	54
6.2.2	Relação águas superficiais-subterrâneas	54
6.2.3	Piezometria.....	55
6.2.4	Parâmetros hidráulicos	58
6.2.5	Balanço hídrico	59
6.2.5.1	Recargas	59
6.2.5.2	Descargas	60
6.2.5.3	Balanço hídrico.....	60
6.2.6	Funcionamento do sistema aquífero.....	61
6.3	Formações do Maciço Antigo	62
6.3.1	Caracterização geral.....	62
6.3.2	Relação águas superficiais-subterrâneas	63
6.3.3	Piezometria.....	63
6.3.4	Parâmetros hidráulicos	64
6.3.5	Balanço hídrico	65
6.3.5.1	Recargas	65

6.3.5.2	Descargas	65
6.3.5.3	Balanço hídrico.....	66
6.3.6	Funcionamento do sistema aquífero.....	66
6.4	Sistema Aquífero de Sines	67
6.4.1	Caracterização geral.....	67
6.4.2	Relação águas superficiais-subterrâneas	68
6.4.3	Piezometria.....	71
6.4.4	Parâmetros hidráulicos	73
6.4.5	Balanço hídrico	76
6.4.5.1	Recargas	76
6.4.5.2	Descargas	77
6.4.5.3	Balanço hídrico.....	78
6.4.6	Funcionamento do sistema aquífero.....	78
	Bibliografia	85

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 – Localização da área de estudo no Algarve	1
Fig. 2 – Localização da área de estudo no Alentejo Litoral	2
Fig. 3 – Precipitação média plurianual mensal para o sistema aquífero Querença-Silves (série 1959/60–1990/91)	4
Fig. 4 – Gráficos termo-pluviométricos das estações meteorológicas de: A) Monte Velho (1973-1986); B) Sines (1971- 1990)	5
Fig. 5 – Rede hidrográfica do sistema aquífero de Querença-Silves	6
Fig. 6 – Rede hidrográfica do sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão	6
Fig. 7 – Mapa de Sítios da Rede Natura 2000, listagem de 2006	9
Fig. 8 – Zonas com estatuto de protecção na área do Algarve	10
Fig. 9 – Localização da Falha do Algibre e outras grandes estruturas tectónicas do sistema aquífero de Quereça-Silves	11
Fig. 10 – Mapa geológico e estrutural simplificado do Algarve	11
Fig. 11 – Mapa geológico do sistema aquífero Querença-Silves	12
Fig. 12 – Corte geológico do Algarve Central (extraído de Manupella <i>et al.</i> , 1987)	14
Fig. 13 – Mapa geológico do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão	15
Fig. 14 – Mapa geológico do maciço de Monchique	16
Fig. 15 – Tectónica das formações do soco antigo na zona do Algarve	17
Fig. 16 – Corte geológico da região de Sines	18
Fig. 17 – Principais acidentes tectónicos da região de Sines	19
Fig. 18 – Mapa geológico do sistema aquífero de Sines	24
Fig. 19 – Localização das nascentes monitorizadas no sistema aquífero Querença - Silves	27
Fig. 20 – Evolução dos caudais de descarga médios diários da nascente da Arrochela	27
Fig. 21 – Evolução dos caudais para as nascentes de Alvados e Fontes (a), Louseiros (b), Ponted e Tôr (c), Fonte Grande de Alte (d)	28
Fig. 22 – Evolução dos caudais para a nascente de Fontes de Estômbar	28
Fig. 23 – Troços influentes (a azul) e efluentes (a vermelho) das ribeiras que atravessam o sistema aquífero Querença-Silves	29
Fig. 24 – Localização das ribeiras que atravessam o sistema aquífero de Querença-Silves	30
Fig. 25 – Rede hidrográfica e zonas de contacto hidráulico entre o meio hídrico superficial e subterrâneo no sistema aquífero Querença-Silves e sistemas aquíferos vizinhos	31
Fig. 26 – Ribeira do Algibre e troços influentes e efluentes, com os respectivos sumidouros (a azul) e exurgências (a vermelho)	32
Fig. 27 – Piezometria do sistema aquífero Querença-Silves (topo: simulação matemática; base: dados de campo)	34
Fig. 28 – Evolução piezométrica de 4 pontos de água no sistema aquífero Querença-Silves	35
Fig. 29 – Variações da piezometria nos sectores oriental e ocidental do sistema aquífero de Querença-Silves	36
Fig. 30 – Zonamento das transmissividades no sistema aquífero Querença-Silves	38
Fig. 31 – Localização das principais zonas de captação para abastecimento urbano	39
Fig. 32 – Zonas de recarga e percentagens de precipitação eficaz para o sistema aquífero Querença-Silves	39
Fig. 33 – Distribuição espacial das zonas de recarga, incluindo as zonas de recarga artificial induzida pela irrigação para o sistema aquífero Querença-Silves	40

Fig. 34 – Superfície piezométrica do sistema aquífero Querença-Silves em condições de não extracção	44
Fig. 35 – Superfície piezométrica do sistema aquífero Querença-Silves em condições de extracção actuais a 1 (topo), 9 (centro topo), 12 (centro base) e 24 meses (base) em regime de seca	45
Fig. 36 – Superfície piezométrica do sistema aquífero Querença-Silves em condições de extracção com novas áreas de exploração/caudais aumentados a 1 mês (topo), 1 ano (centro) e 2 anos (base) em regime de seca	46
Fig. 37 – Localização das principais zonas de exploração de água para abastecimento doméstico e piezometria considerando apenas estas captações.....	47
Fig. 38 – Sentidos do fluxo do sistema aquífero Querença-Silves	49
Fig. 39 – Localização dos pontos de injeção e de amostragem do ensaio de traçadores.....	50
Fig. 40 – Oscilações de níveis em piezómetro no sistema aquífero Querença-Silves ilustrando o efeito de maré	53
Fig. 41 – Localização dos pontos e troços das linhas de água influentes e efluentes no sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão	55
Fig. 42 – Sentidos do fluxo do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão.....	56
Fig. 43 – Evolução piezométrica de 2 pontos de água no sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão.....	57
Fig. 44 – Variações da piezometria em 4 pontos do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão	57
Fig. 45 – Variações da piezometria no ponto 594/095 do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão.....	58
Fig. 46 – Localização de pontos de monitorização quantitativa da rede SNIRH.....	63
Fig. 47 – Distribuição dos valores de recarga na zona ocidental do Algarve	65
Fig. 48 – Conceptualização de balanço hídrico para o barlavento algarvio	66
Fig. 49 – Relação entre as ribeiras e as zonas de recarga do aquífero, marcadas a sombreado [a) para o aquífero superior freático; b) para o aquífero inferior carbonatado].....	69
Fig. 50 – Zonamento das diferentes áreas de conexão hidráulica no sistema aquífero de Sines...	70
Fig. 51 – Evolução piezométrica do ponto JKP12 no sistema aquífero de Sines.....	71
Fig. 52 – Superfície piezométrica e direcções de fluxo para o aquífero superficial do sistema aquífero de Sines	72
Fig. 53 – Evolução da superfície piezométrica no sistema aquífero de Sines.....	73
Fig. 54 – Direcções regionais de fluxo no sistema aquífero de Sines.....	79
Fig. 55 – Níveis piezométricos observados (a negro) e simulados por modelação matemática (a vermelho) para o sistema aquífero de Sines.....	83

ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 1 – Espessuras das unidades constituintes da formação de Calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto.....	23
Quadro 2 – Resumo das espessuras das formações do sistema Aquífero de Sines.....	25
Quadro 3 – Parâmetros estatísticos das produtividades no sistema aquífero Querença-Silves	38
Quadro 4 – Recargas por infiltração nas linhas de água em 3 subunidades do sistema aquífero Querença-Silves	41
Quadro 5 – Caudais de algumas nascentes do sistema aquífero de Querença-Silves.....	41
Quadro 6 – Extracções para diferentes tipos de consumos no sistema aquífero de Querença-Silves	42
Quadro 7 – Balanço hídrico para o sistema aquífero de Querença-Silves, segundo Reis <i>et al.</i> (2006).....	43
Quadro 8 – Balanços hídricos para o sistema aquífero de Querença-Silves, com base nos valores de recargas e extracções de Almeida <i>et al.</i> (2000), Monteiro (2006b) e Monteiro <i>et al.</i> (2006b)....	43
Quadro 9 – Caracterização estatística das transmissividades obtidas por ensaio de bombagem para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão.....	58
Quadro 10 – Caracterização estatística das transmissividades obtidas a partir de caudais específicos para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão	59
Quadro 11 – Caracterização estatística das produtividades específicas para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão	59
Quadro 12 – Volumes potenciais de recarga por infiltração nas linhas de água em 3 subunidades do sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão	59
Quadro 13 – Extracções para diferentes tipos de consumos no sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão	60
Quadro 14 – Balanço hídrico para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão	61
Quadro 15 – Registos do nível piezométrico do ponto 585/78 (Concelho de Monchique).....	64
Quadro 16 – Registos do nível piezométrico do ponto 587/101 (Concelho de Silves).....	64
Quadro 17 – Estatísticas das produtividades nas formações xistentas do Algarve	65
Quadro 18 – Transmissividades das formações do sistema aquífero de Sines.....	74
Quadro 19 – Valores do armazenamento permanente para as formações do sistema aquífero de Sines.....	74
Quadro 20 – Produtividades para as formações carbonatadas jurássicas do sistema aquífero de Sines.....	75
Quadro 21 – Caudais específicos no sistema aquífero de Sines.....	76
Quadro 22 – Recargas para o sistema aquífero de Sines	77
Quadro 23 – Disponibilidades hídricas e volumes extraíveis do sistema aquífero de Sines.....	78
Quadro 24 – Percentagens de consumos versus volumes extraíveis do sistema aquífero de Sines	78

AGRADECIMENTOS

Agradece-se ao Prof. José Paulo Monteiro, da Universidade do Algarve, e à Bolseira do Projecto PROWATERMAN na Universidade do Algarve Núria Salvador (MSc pela Cranfield University), a disponibilização de diversos artigos de projectos actualmente a decorrer, de que a Universidade do Algarve é parceira integrante, bem como de dados em SIG da área de estudo do Algarve.

1 Introdução

O projecto PROWATERMAN, a desenvolver no sul de Portugal em duas áreas de estudo – a bacia hidrográfica do rio Arade, no Algarve, e a área das sub-bacias da região hidrográfica do Alentejo/Sistema aquífero de Sines, Alentejo Litoral (Fig. 1 e Fig. 2) – tem a participação das seguintes instituições: Laboratório Nacional de Engenharia CIVIL (LNEC), Universidade do Algarve (UALg), Universidade Atlântica (UAtla) e Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFC/FC/UL).

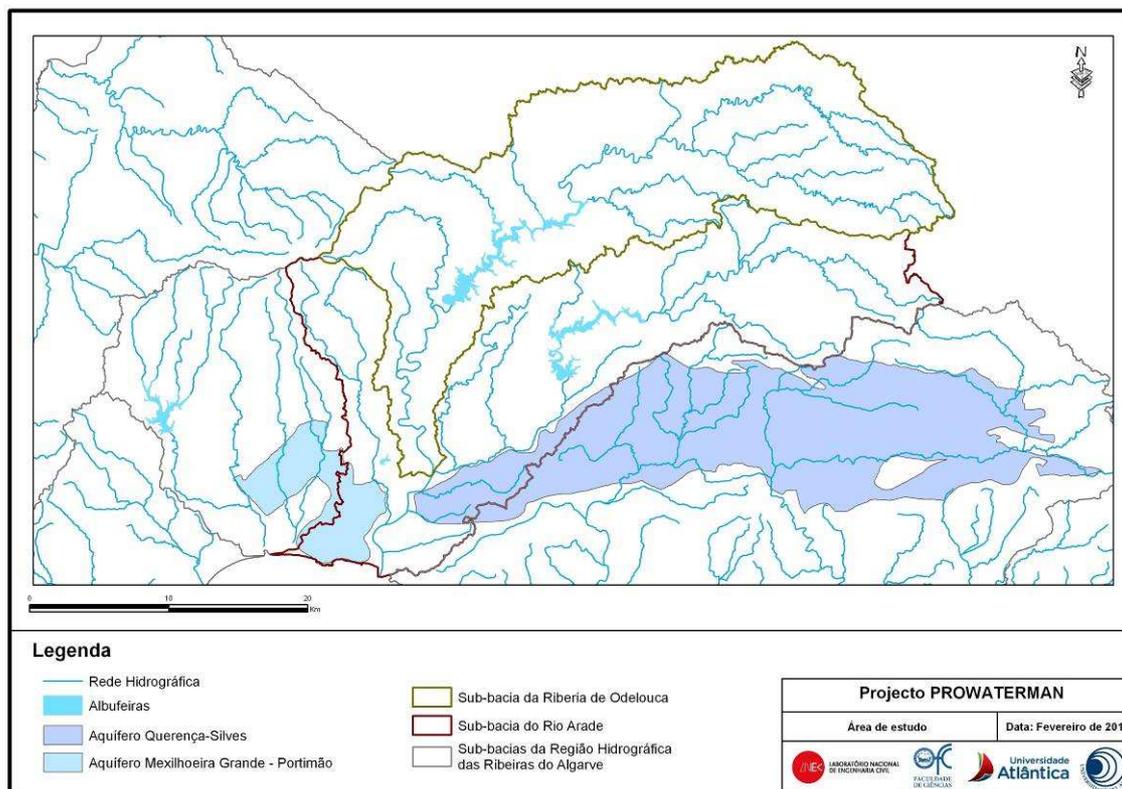


Fig. 1 – Localização da área de estudo no Algarve

Os objectivos principais deste projecto são:

- ◆ Analisar e compreender as dimensões ambientais, socioeconómicas e institucionais da sustentabilidade da água para garantir a qualidade deste recurso e aumentar a eficiência e equidade do seu uso, através de uma abordagem integrada da gestão dos recursos hídricos.
- ◆ Definir estratégias locais inovadoras para a gestão sustentável da água.
- ◆ Formular um conjunto de orientações de boas práticas para a conservação da qualidade e quantidade da água.

A justificação para a escolha destas duas áreas de estudo resulta do facto de que o sul de Portugal ser uma região onde a escassez de água e as condições climáticas extremas produzem uma forte vulnerabilidade ambiental. A procura crescente de recursos hídricos e as condições climáticas contribuem para uma crescente escassez de água, bem como para a degradação da sua qualidade. Nesta região, a diminuição da disponibilidade de água pode ter efeitos negativos no bem-estar das populações e no funcionamento dos ecossistemas aquáticos, pelo que a

gestão dos recursos hídricos assume um papel crucial para o desenvolvimento das populações locais.

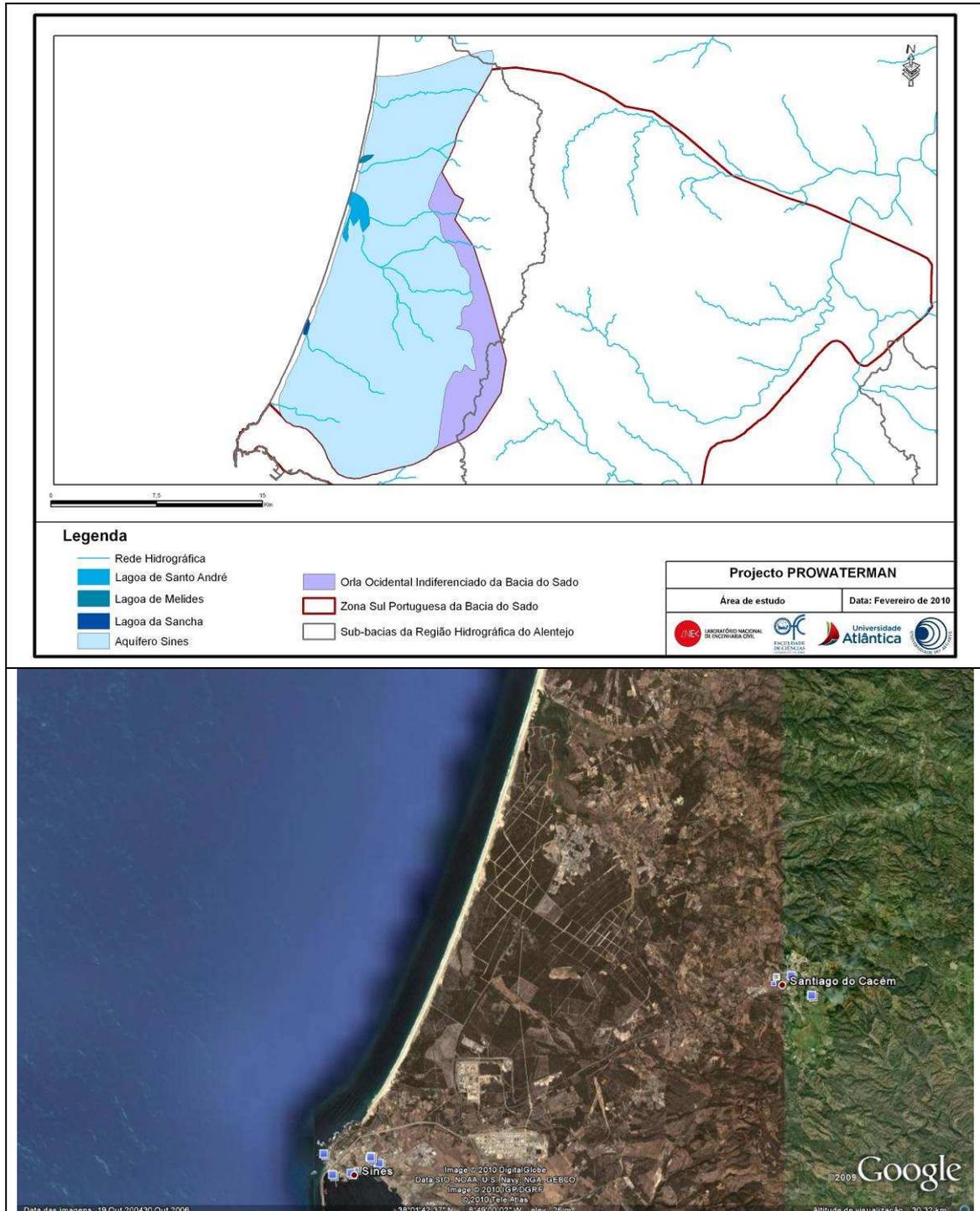


Fig. 2 – Localização da área de estudo no Alentejo Litoral

Para alcançar estes objectivos pretende-se realizar:

- ◆ Análise da vulnerabilidade das águas subterrâneas à exploração excessiva e à poluição enquanto parte integrante de uma estratégia sustentável de gestão dos recursos hídricos;

- ◆ Identificação e análise dos principais factores que conduzem à exploração excessiva e contaminação dos aquíferos, e que podem por em causa a subsistência das famílias e o funcionamento dos ecossistemas;
- ◆ Investigação do potencial de reutilização das águas residuais enquanto processo de redução da exploração dos aquíferos locais.
- ◆ Monitorização e avaliação da qualidade das águas superficiais, com recurso a macroinvertebrados e outros bioindicadores (perifíton, zooplâncton, crustáceos e anfíbios).
- ◆ Estudo das ligações entre o ambiente e a socioeconomia (necessário à compreensão conjunta dos sistemas socioeconómico e ambiental).
- ◆ Análise das interações natureza/sociedade baseada em metodologias inovadoras de conexão de Sistemas de Suporte à Decisão com tecnologia SIG (promoção da conservação e uso e gestão sustentáveis dos recursos hídricos).
- ◆ Desenvolvimento de cenários prospectivos (propor estratégias de gestão da água baseadas em indicadores de sustentabilidade; estes cenários serão orientados por uma abordagem de investigação participada, que garanta um fluxo de informação entre os *stakeholders* e os investigadores).

Neste projecto, além das tarefas de coordenação, o LNEC desenvolverá actividade no âmbito das disponibilidades hídricas e vulnerabilidade: realizando os seguintes estudos:

- ◆ Estimativa da recarga de aquíferos utilizando o modelo BALSEQ (balanço sequencial diário), fazendo a integração de informação cartográfica relativa a: precipitação, evapotranspiração potencial, uso do solo, solos.
- ◆ Mapeamento das disponibilidades hídricas e qualidade da água.
- ◆ Definição de potenciais origens de água alternativas para recarga artificial, incluindo a determinação das áreas mais apropriadas para a recarga artificial – índice GABA-IFI.
- ◆ Produção de mapas de vulnerabilidade e análise de risco.
- ◆ Mapeamento das disponibilidades hídricas considerando as alterações climáticas.
- ◆ Proposta de recomendações de gestão e protecção dos recursos hídricos com base nos resultados obtidos no âmbito desta tarefa.

2 Climatologia

2.1 Zona Terminal do Rio Arade: Sistemas Aquíferos de Querença-Silves e de Mexilhoeira Grande-Portimão

Estes dois sistemas aquíferos são afectados por um clima mediterrânico quente, tendo Loureiro e Nunes (1980) determinado, para a globalidade da região algarvia, e para a série temporal de 1941/42-1973/74 temperaturas médias anuais de 15 a 17 °C e precipitações médias anuais de 653 mm/ano. Monteiro (2006a) determina que a evapotranspiração corresponderá a mais de 70% (ou seja, cerca de um pouco mais de 400 mm/ano), donde resulta que apenas 250 mm/ano são atribuídos ao escoamento superficial + recarga.

De acordo com Costa (1989) a precipitação média anual, para o **Sistema Aquífero de Querença-Silves**, varia entre os cerca de 550 mm/ano no extremo SW do sistema aquífero, aumentando para E e para NE, com precipitações de 800 mm/ano na bordadura SE do sistema aquífero, e valores acima dos 800 mm/ano em todo o sector oriental. Para o **Sistema Aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão**, segundo o mesmo trabalho, a precipitação média anual é

igual ou inferior a 500 mm/ano, com a excepção do extremo Norte, onde os valores são iguais a levemente superiores a 500 mm/ano; Costa (1989) indica valores entre os 500 mm/ano na zona litoral e os mais de 650 mm/ano no extremo N do sistema aquífero, havendo um aumento da precipitação de S para N, em direcção do litoral para o interior. Nicolau (2002) obteve o mesmo valor médio (653 mm/ano) que Loureiro e Nunes (1980) para a precipitação, mas para o período de 1959/60 a 1990/91 e para a totalidade deste sistema aquífero, similar ao obtido por Monteiro (2006b), que é de 663 mm/ano para a mesma série temporal; este autor apresenta ainda valores médios mensais para a totalidade do sistema aquífero, sendo que os valores mais baixos ocorrem em Julho e Agosto (abaixo de 10 mm) e os mais elevados em Novembro e Dezembro (rondando os 100 mm; cf. Fig. 3).

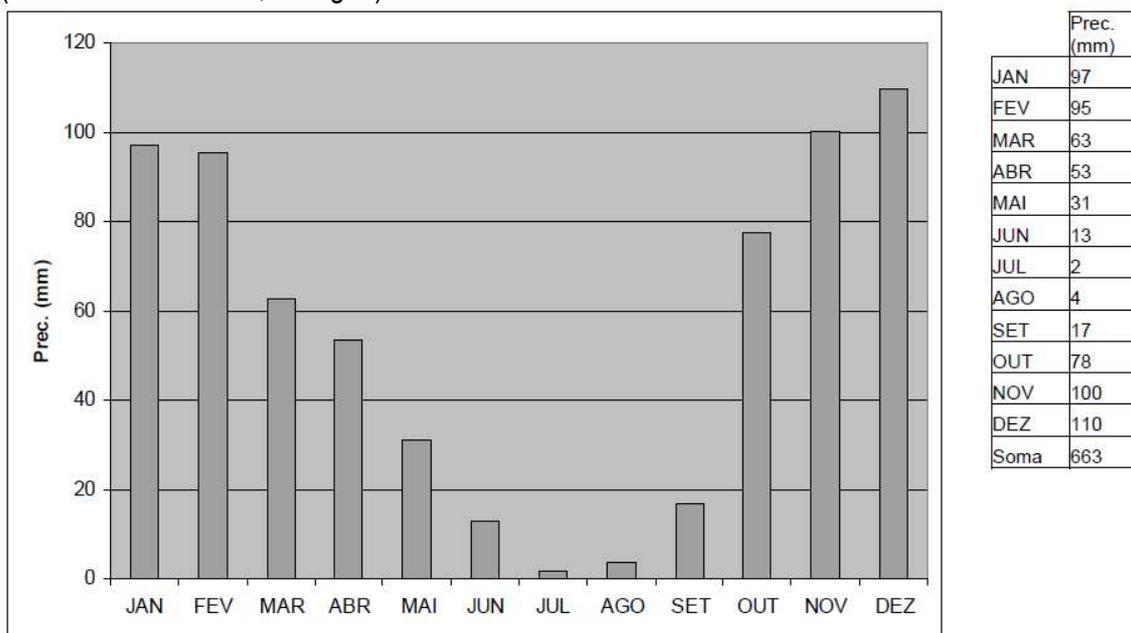


Fig. 3 – Precipitação média pluriannual mensal para o sistema aquífero Querença-Silves (série 1959/60–1990/91)

Fonte: Monteiro, 2006b

Considerando que na bibliografia é referida a ocorrência de uma grande seca em 1995 (Almeida *et al.*, 2000) e outra em 2005 (Monteiro, 2006b), parece haver indícios de uma tendência para a ocorrência de períodos mais intensos de seca com uma periodicidade de cerca de 10 anos.

2.2 Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha: Aquífero de Sines

O clima desta área é de características mediterrânicas, com forte influência marítima - verões não muito quentes, prolongados, com fraca precipitação, e invernos suaves, curtos, com precipitação moderada e com preponderância nos meses de Dezembro e Janeiro (Pinto, 1995, *in* CEZH/RNLSAS, 2004) – sendo classificado de termomediterrânico sub-húmido a seco. A estas características gerais adicionam-se os condicionamentos locais, como a proximidade ao Atlântico e factores topográficos (<http://portal.icnb.pt/ICNPportal/vPT2007-AP-LagoasSAndre/A+Reserva/Valores+Naturais/Geologia+Hidrologia+e+Clima/?res=922x691>).

A temperatura média anual ponderada é de 15,9 °C (máxima de 21,9 °C e mínima de) 9,8 °C e a precipitação média anual ponderada é de 621 mm (Plano de Bacia Hidrográfica do Sado, *in* CEZH/RNLSAS, 2004), sendo a sua distribuição em área: 800 mm/ano na região alta entre Santiago e Grândola; menos de 600 mm/ano na zona de Sines e ao longo da bordadura litoral,

registando-se em ambas as regiões 20 dias anuais de chuva com valores acima dos 10 mm (Inverno *et al.*, 1993), registando-se valores de 700 mm/ano no extremo NE da região (Costa, 1989). A distribuição mensal da precipitação e temperatura é apresentada na Fig. 4.

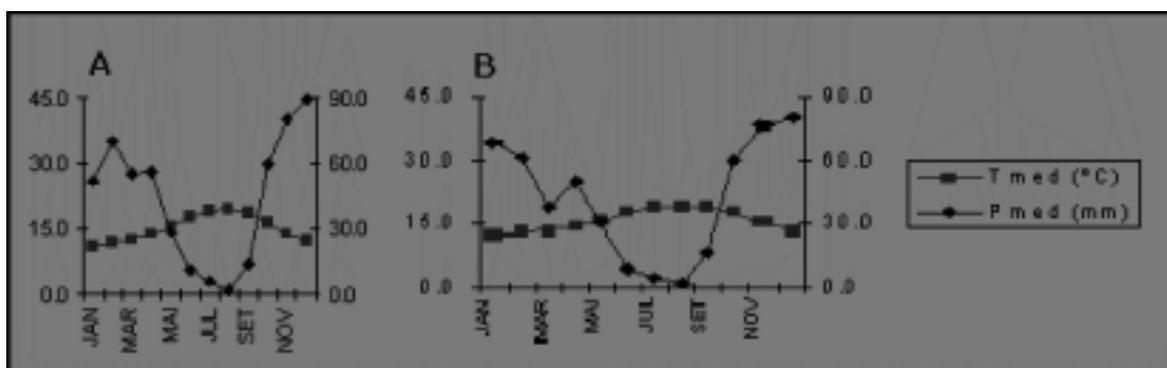


Fig. 4 – Gráficos termo-pluviométricos das estações meteorológicas de: A) Monte Velho (1973-1986); B) Sines (1971- 1990)

Fonte: CEZH/RNLSAS, 2004

Os valores médios mensais de humidade relativa do ar são muito elevados ao longo de todo o ano devido à entrada de massas de ar marítimo. A média anual para as estações em Sines e Monte Velho é de 81,3%; em Santiago do Cacém o valor médio anual (média de 30 anos) é de 72,6%. Junto ao litoral, a ocorrência de neblina (visibilidade entre 1 km e 2 km) é, em média, de 90 dias por ano, registando-se nevoeiros (visibilidade inferior a 1 km) durante 28 dias por ano (CEZH/RNLSAS, 2004).

A evapotranspiração de referência média anual ponderada na BH do Sado é de 1 144 mm, variando entre 183 mm em Julho e 29 mm em Dezembro (PBH do Sado 1999, in CEZH/RNLSAS, 2004). Em termos de distribuição espacial, a evapotranspiração real é da ordem dos 500 mm/ano na região montanhosa entre Santiago e Grândola e de 100 mm/ano na zona de Sines; para as mesmas regiões o escoamento superficial é, respectivamente, de 450 mm/ano e 100 mm/ano (Inverno *et al.*, 1993).

3 Rede Hidrográfica

3.1 Zona Terminal do Rio Arade: Sistemas Aquíferos de Querença-Silves e de Mexilhoeira Grande-Portimão

As linhas de água mais importantes que atravessam estes dois sistemas aquíferos, que se situam na região hidrográfica das Ribeiras do Algarve, são apresentadas nas Fig. 5 e Fig. 6, tendo um regime torrencial. No caso do sistema aquífero de Querença-Silves estas linhas de água têm sectores em que recebem contribuições de água do aquífero e sectores onde se infiltram para o aquífero, por vezes, em especial em anos mais secos, completamente em determinados troços (*cf.* subcapítulo 6.1.2).

3.2 Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha: Aquífero de Sines

Esta região situa-se na sub-região hidrográfica das bacias da Costa Alentejana, sendo os seus cursos de água mais importantes as ribeiras de Melides, da Cascalheira, da Ponte, do Forneco, do Azinhal, da Badoca, da Maria da Moita, da Sancha e dos Moinhos (Diamantino, 2001). As orientações das ribeiras são no geral de E para W, e no caso das ribeiras da Badoca e Maria da Moita, de SE para NW.

A **Lagoa de Melides** é alimentada pela ribeira de Melides. A **Lagoa de Santo André** recebe as águas de 5 ribeiras principais: Ribeiras da Cascalheira, da Ponte, do Forneco, do Azinhal, Maria da Moita e da Badoca (localmente chamada de Santo André), que definem uma bacia hidrográfica de forma triangular com cerca de 141,5 km² de área, 64,2 km de perímetro, com 16 Km de largura máxima e 14 km de comprimento e uma altitude média da ordem dos 100 m; esta bacia está confinada a Norte pela Lagoa de Melides, a Este pela bacia hidrográfica do Sado, e a Sul pela Lagoa da Sancha (Diamantino, 2001; <http://portal.icnb.pt/ICNPportal/vPT2007-AP-LagoasSAndre/A+Reserva/Valores+Naturais/Geologia+Hidrologia+e+Clima/?res=922x691> e CEZH/RNLSAS, 2004). Estas ribeiras, de regime torrencial – com caudais abundantes no Inverno e muito reduzidos no Verão, fundamentais na dinâmica da Lagoa, causando o aumento do nível das águas e a redução da salinidade durante os períodos de chuva – nascem na Serra de Grândola e a sua confluência faz-se através de dois vales: um a Norte, para onde conflui a ribeira da Cascalheira, e um a Sul, que se encontra inundado no Inverno, constituindo o prolongamento natural da lagoa, para onde confluem as restantes ribeiras. As várzeas são drenadas por um conjunto vasto de valas, as quais estão por sua vez ligadas às ribeiras. Existem ainda outras zonas com drenagem independentes das anteriormente referidas, como é o caso das águas provenientes da margem Norte da lagoa, através de uma rede mal definida, consequência de um substrato muito permeável que favorece a infiltração, ocorrendo situação semelhante na margem SW, junto ao sistema dunar de Monte Velho. A **Lagoa da Sancha** é alimentada por uma pequena bacia hidrográfica de cerca de 31,3 km² e perímetro de 37,7 km, sendo o principal tributário é a Ribeira da Sancha ou Barranco dos Bêbedos (<http://portal.icnb.pt/ICNPportal/vPT2007-AP-LagoasSAndre/A+Reserva/Valores+Naturais/Geologia+Hidrologia+e+Clima/?res=922x691>).

Estas lagoas estão inclusas na bacia sedimentar de Santo André, a qual se divide em duas zonas geomorfológicas (Diamantino, 2001): (1) W do alinhamento de Cascalheira Grande, Maria da Moita, Vale de Rainha e Monte Feio – marcada por declives muito suaves, reduzida rede de drenagem, ocorrência de lagunas, numerosos cordões dunares na bordadura litoral e ausência de afloramentos de rochas compactas; (2) zona a E do alinhamento de Cascalheira Grande, Maria da Moita, Vale de Rainha e Monte Feio – de relevos mais acentuados, com frequentes afloramentos de rochas calcárias e rede de drenagem muito mais desenvolvida.

4 Estatuto de Conservação

As duas áreas de estudo situam-se na zona sul de Portugal, em sedimentos jurássicos, embora em contextos geográficos e geológicos um pouco distintos:

1. Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha, sita no sistema aquífero de Sines, o qual se localiza na área das sub-bacias da Região Hidrográfica do Alentejo, em terrenos meso-cenozóicos do litoral alentejano pertencentes à Orla Meso-Cenozóica Ocidental.

2. Zona terminal do rio Arade, que inclui os sistemas aquíferos de Querença-Silves e Mexilhoeira Grande-Portimão, desenvolvidos em terrenos mezo-cenozóicos da Orla Meso-Cenozóica Meridional.

Do ponto de vista do estatuto de protecção da Natureza estas duas áreas têm também estatutos diversificados:

1. **Zona das Lagoas de Melides, Santo André e Sancha** – as lagoas de Santo André e Sancha pertencem à Rede Natura2000, sob o estatuto de Zonas de Protecção Especial (ZPE), tendo as designações PTZPE0013 (Lagoa de Santo André) e PTZPE0014 (Lagoa da Sancha) conforme referido em http://portal.icnb.pt/NR/rdonlyres/115C846F-C85F-4F57-8758-7DE8AA662E5A/0/%C3%81reasProtegidasestatutos_de_conservacao.pdf; cf. Fig. 7). Estas duas lagoas estão também classificadas como Sítios RAMSAR (http://www.icn.pt/dia_mundial_zonas_humidas.htm). No Atlas de Portugal a faixa litoral alentejana até N de Sines está referenciada como zona de protecção classificada como Sítio de Interesse Comunitário (http://www.igeo.pt/atlas/Cap1/Cap1e_4.html; http://www.igeo.pt/atlas/Cap1/Cap1e_p76_image.html). Fazem parte da área da Reserva Natural das Lagoas de Santo André e da Sancha, criada por Decreto Regulamentar nº 10/00, de 22 de Agosto (Henriques, 2006 in: http://portal.icnb.pt/NR/rdonlyres/115C846F-C85F-4F57-8758-7DE8AA662E5A/0/%C3%81reasProtegidasestatutos_de_conservacao.pdf).
2. **Zona terminal do rio Arade** – de acordo com o Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (PROCESL *et al.*, 2000 a) a albufeira do rio Arade tem o estatuto de Albufeira Classificada do Arade. Situado no sistema aquífero de Querença-Silves, entre as aldeias de Querença e Tôr, no Vale de Menalva, há ainda o Sítio Classificado da Fonte Benémola, ocupa uma área de 392 ha, conforme definido em Decreto-Lei nº 392/91, de 10 de Outubro (http://portal.icnb.pt/NR/rdonlyres/115C846F-C85F-4F57-8758-7DE8AA662E5A/0/%C3%81reasProtegidasestatutos_de_conservacao.pdf e http://www.cm-loule.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=244&Itemid=290).
3. **Sítio Classificado da Fonte Benémola** – criado por Decreto-lei nº 392/91, de 10 de Outubro (cf. http://mlking.cm-loule.pt/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=31; <http://dre.pt/pdf1sdip/1991/10/233A00/52815285.pdf>).

Na Fig. 8 apresenta-se a distribuição das zonas protegidas para a região do Algarve, conforme <http://algarvedir.com/CMS/section-blog/32-portuguese/160-guia-percursos-pedestres-lgarve.html> onde se incluem as diferentes zonas com estatuto de protecção ao longo do rio Arade.

Geologicamente, as duas áreas de estudo desenvolvem-se em terrenos da bordadura meso-cenozóica mas têm características e enquadramentos distintos que se discriminam no capítulo 5.

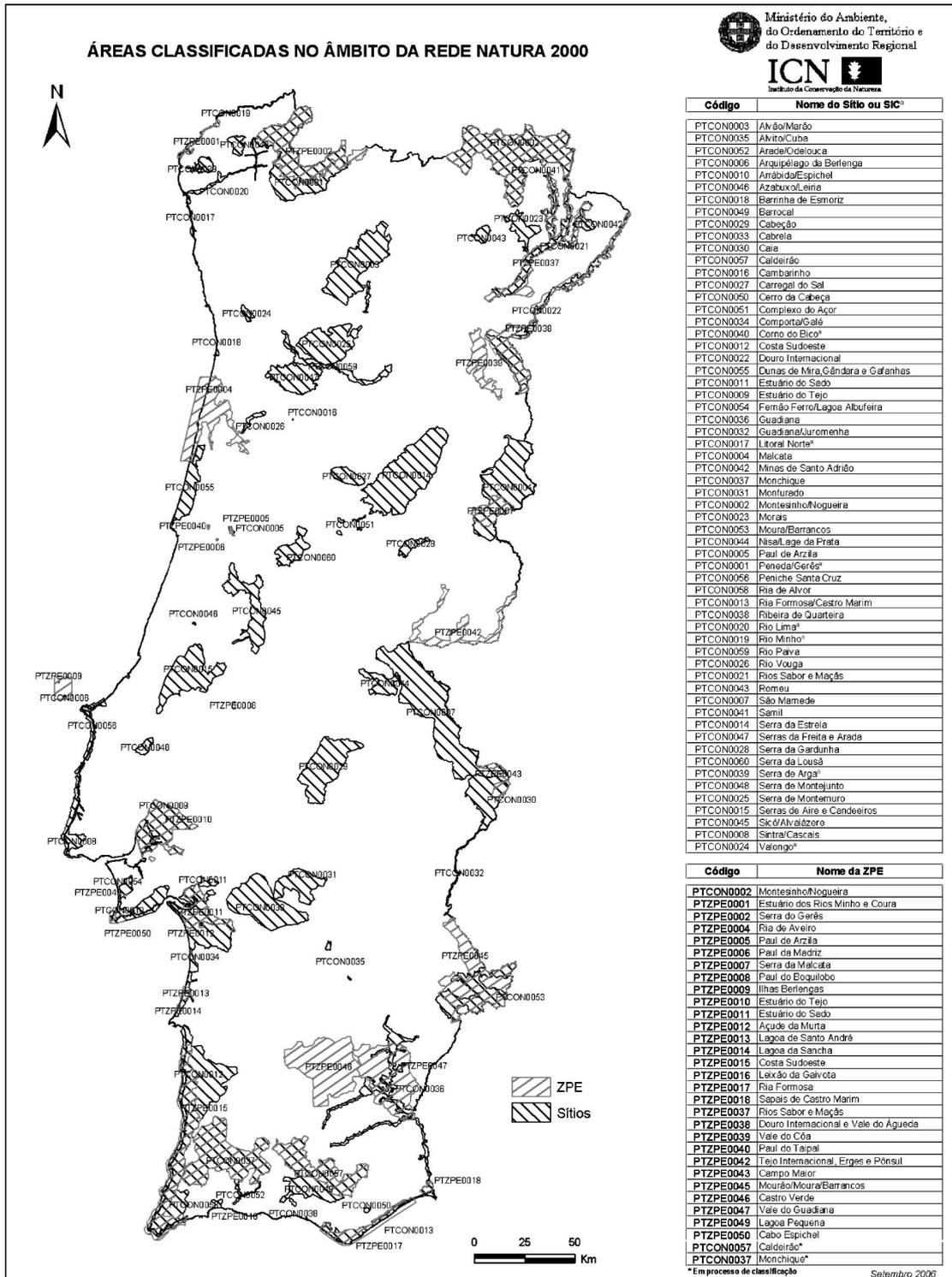


Fig. 7 – Mapa de Sítios da Rede Natura 2000, listagem de 2006

Fonte: Ministério do Ambiente e Ordenamento do Território (2006)



Fig. 8 – Zonas com estatuto de protecção na área do Algarve

Fonte: <http://algarvedir.com/CMS/section-blog/32-portuguese/160-guia-percursos-pedestres-algarve.html>

5 Geologia

5.1 Zona Terminal do Rio Arade: Sistemas Aquíferos de Querença-Silves e de Mexilhoeira Grande-Portimão

5.1.1 Aquífero de Querença-Silves

Este sistema aquífero tem uma área de 318 km², comprimento de cerca 45 km e largura variável mas que diminui no geral para Oeste (Mendonça e Almeida, 2003) e uma espessura de mais de 700 metros (Monteiro in <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home2222223>), estendendo-se numa faixa orientada E-W, entre Estombar e Querença, ao longo dos concelhos de Albufeira, Lagoa, Loulé e Silves. Intercepta as bacias hidrográficas do rio Arade e das Ribeiras do Sotavento (http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5). É limitado a N pelos Grés de Silves e a S pelos calcários margosos e margas do Caloviano-Oxfordiano-Kimeridgiano, que são ambas formações menos permeáveis (Andrade, 1989); por vezes os calcários assentam directamente sobre os xistos e grauvaques paleozóicos (Mendonça e Almeida, 2003).

Tectonicamente o sistema aquífero é intersectado por vários conjuntos de falhas que dividem este sistema em blocos, fornecendo-lhe uma geometria complexa. Estes conjuntos são (Almeida *et al.*, 2000):

1. **Falhas ENE-WSW**;
2. **Falhas E-W** – tanto as falhas ENE-WSW como as E-W têm grande expressão no bloco do Jurássico Inferior;
3. **Falhas NW-SE** – representadas principalmente pela falha de S. Marcos da Serra-Quarteira (que atravessa o sistema aquífero diagonalmente entre S. Bartolomeu de Messines e Paderne) e por um conjunto de falhas que afecta o Jurássico Superior a SE de Paderne;

4. **Falhas N-S** – o grupo de falhas com menor expressividade na zona.

Além da delimitação litológica, este aquífero é também limitado tectonicamente no seu bordo S, onde aliás apresenta maior espessura, pela falha do Algibre onde se instalou a ribeira do Algibre (Monteiro, 2006b; Monteiro 2010). Esta falha, que pertence ao grupo de falhas E-W (Oliveira *et al.*, 1984), é um cavalgamento do Jurássico Inferior sobre o Jurássico Superior (Terrinha, 1998, e Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000) como se pode observar na Fig. 9, adaptada a partir da Carta Geológica de Portugal de escala 1:100 000 do Algarve (<http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222223>).

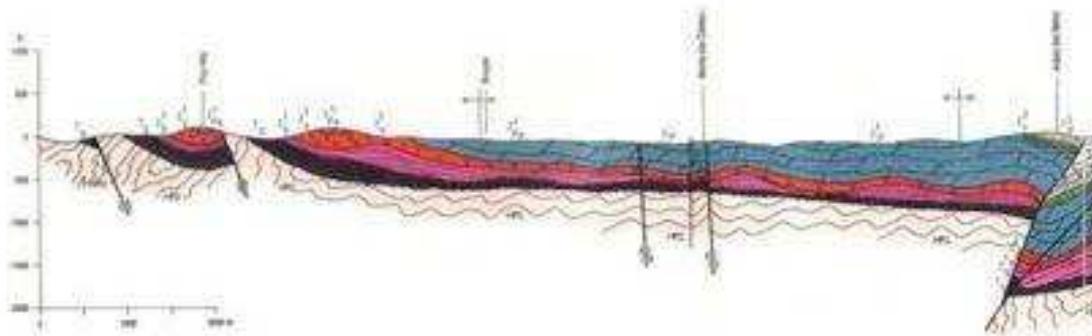


Fig. 9 – Localização da Falha do Algibre e outras grandes estruturas tectónicas do sistema aquífero de Quereça-Silves

Fonte: <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222223>

Entre Salir e Ponte de Tor as falhas têm movimento de distensão mas as que se situam junto à flexura do Algibre são compressivas (Terrinha, 1998; *cf.* Fig. 10).

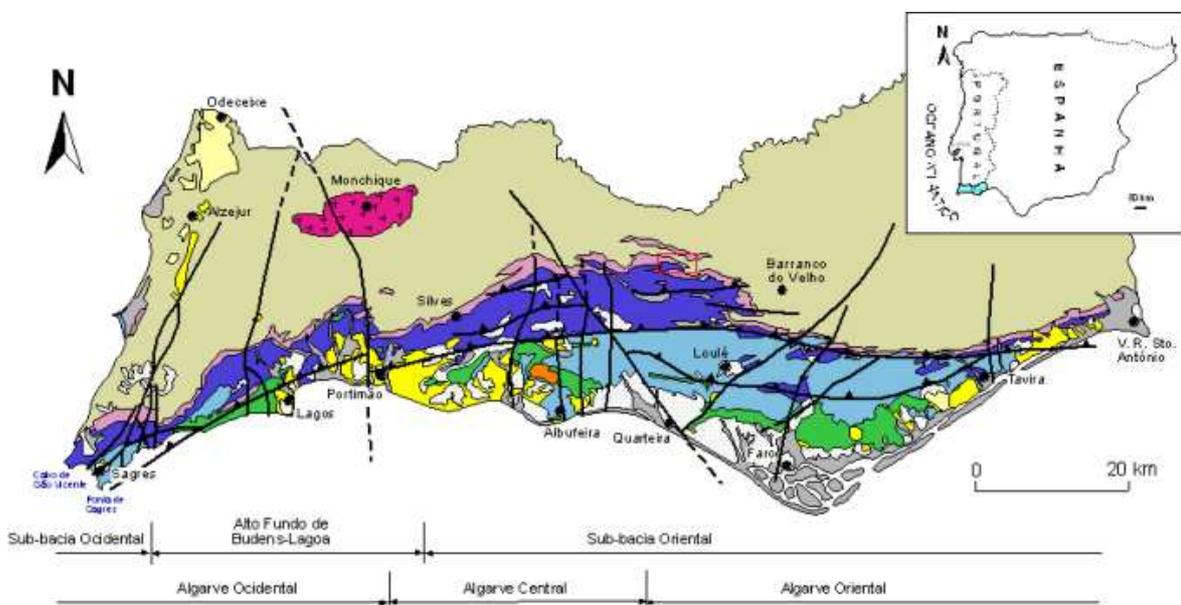


Fig. 10 – Mapa geológico e estrutural simplificado do Algarve

Fonte: http://rochadapena.no.sapo.pt/pages/enquadr_geolog.htm

Em função da tectónica, podem definir-se dois domínios distintos neste sistema aquífero:

- (A) **A N da flexura do Algibre** – define-se uma estrutura monoclinial inclinada para S, onde aflora grande extensão de rochas do Jurássico Inferior;

- (B) **Ao longo da flexura** – zona onde aflora uma faixa de terrenos do Jurássico Superior (na metade oriental) e Médio (na metade ocidental), os quais se encontram fortemente fracturados. Neste domínio é possível definir várias dobras de eixos ENE-WSW a ESSE-WNW (Terrinha, 1998).

As unidades de cobertura têm estratificação horizontal a pouco inclinada (Costa, 1989).

As formações geológicas que constituem este sistema aquífero são, da base para o topo (Fig. 11):

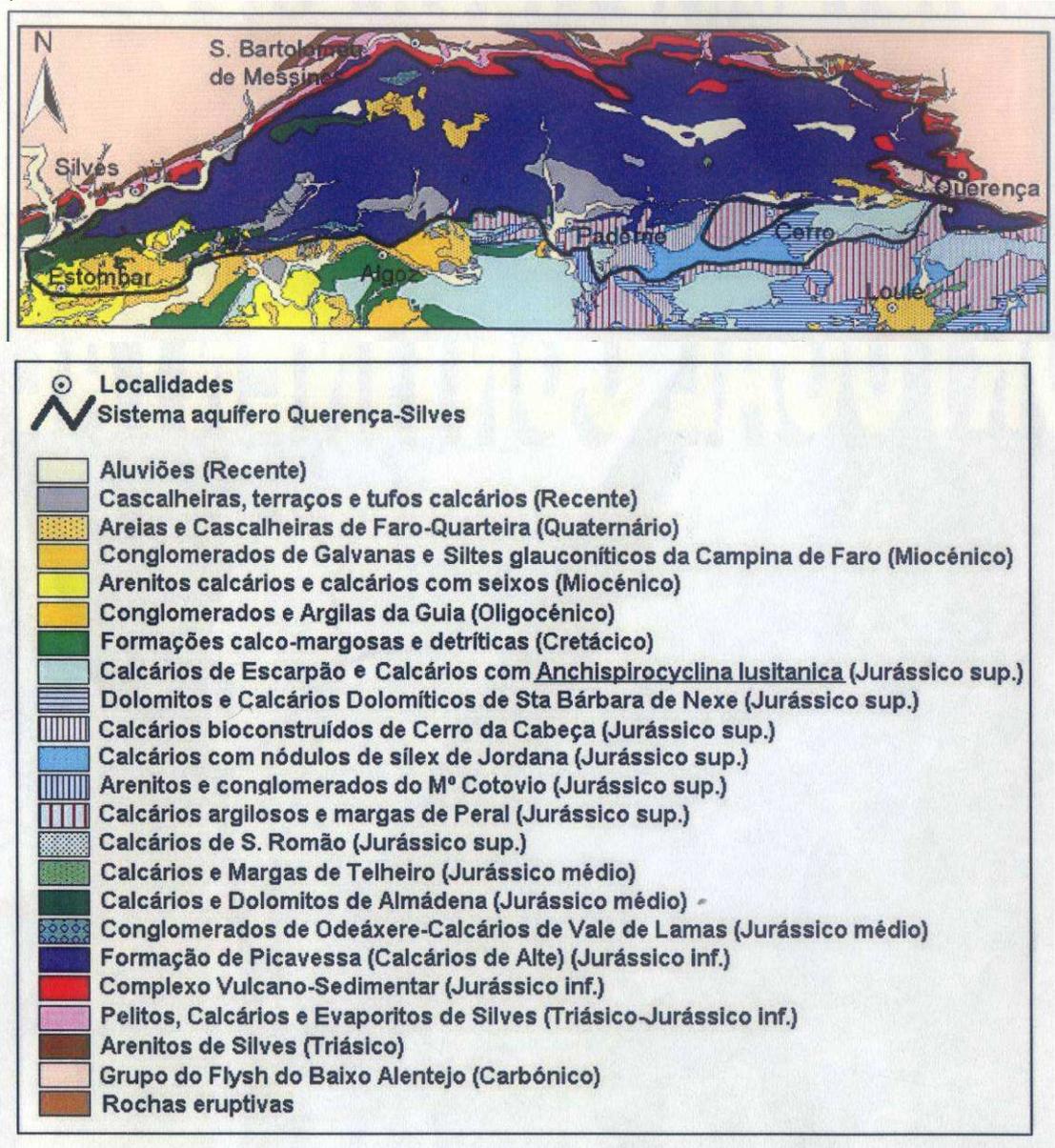


Fig. 11 – Mapa geológico do sistema aquífero Querença-Silves

Fonte: Almeida *et al.* (2000)

1. **Formação de Picavessa** (Calcários de Alte) – do Jurássico Inferior, é definida da base para o topo pela seguinte sequência: (1) brechas dolomíticas, (2) dolomitos e calcários dolomíticos em regra maciços e de cristalinidade fina a sacaróide. É afectada por dolomitização secundária, a qual nas zonas de fractura atinge os calcários da unidade superior. Esta dolomitização secundária dá origem a significativas variações laterais de fácies e propriedades

hidráulicas. Manuppella (1992, *in* Almeida *et al.*, 2000) refere ainda a existência de zonas de deslomitização.

2. **Conglomerado de Ódeáxare** – datado do Jurássico Médio, é um conglomerado calcário de elementos poligénicos, da dimensão dos calhaus e blocos rolados a sub-rolados, de diâmetro igual ou superior a 1 cm, ligados por cimento carbonatado a argilo-carbonatado; de origem marinha, apresenta forte imbricação dos clastos (Manuppella e Rocha, 1988). Ocorre em pequenos afloramentos a N de Benaciate e S de Malhão (Monteiro, 2006b; Monteiro, 2010).

3. **Calcários e dolomitos de Almádena** – do Jurássico Médio, com uma espessura total de até 125 m, dos quais 50 a 75 m correspondem ao primeiro termo, são definidos pela seguinte sucessão litológica (Rocha, 1976, *in* Almeida *et al.*, 2000): (1) dolomitos cristalinos, (2) calcários oolíticos, (3) calcários bioérmicos, (4) calcários pisolíticos, (5) calcários calciclásticos e (6) calcários dolomíticos. Com a exceção do afloramento de Fanqueira-Pocinho, apenas bordejam a W as formações liásicas (Monteiro, 2006b; Monteiro, 2010).

4. **Calcários de São Romão** – do Jurássico Superior (Oxfordiano-Kimmeridgiano), com 400 m de espessura, são constituídos por (Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000): (1) calcários compactos, (2) calcários oolíticos, (3) calcários corálicos e com crinóides, (4) calcários oncolíticos.

5. **Calcários com Nódulos de Sílex da Jordana** – do Jurássico Superior (Kimmeridgiano), com espessura variável, que pode atingir 100 m, são calcários compactos, algo argilosos, com abundantes silicificações secundárias (Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000).

6. **Calcários Bioconstruídos do Cerro da Cabeça** – do Jurássico Superior (Kimmeridgiano) com espessura total entre 30 a 70 m (as espessuras das camadas individuais podem ir até aos 2 m), são calcários compactos, com algumas passagens laterais a brechas intraformacionais e bioérmicas (Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000).

7. **Dolomitos e Calcários Dolomíticos de Santa Bárbara de Naxe** – do Jurássico Superior (Kimmeridgiano), constituídos por espessas bancadas de dolomitos e calcários dolomíticos, que devem resultar da dolomitização secundária dos Calcários Bioconstruídos do Cerro da Cabeça e, localmente, da parte inferior dos calcários com *Alveosepta jaccardi* (Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000).

8. **Calcários de Escarpão** – do Jurássico Superior (Kimmeridgiano-Titoniano), com cerca de 500 m de espessura máxima, são uma alternância de calcários compactos, calcários argilosos nodulares e margas (Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000).

9. **Calcários com *Anchispirocyclina lusitanica*** – do Jurássico Superior (Titoniano), com espessura de cerca 120 m, são constituídos por calcários frequentemente nodulares intraclásticos e oolíticos, ocorrendo em bancadas espessas e em alternância com calcários argilosos e margas (Manuppella, 1992, *in* Almeida *et al.*, 2000).

É de sublinhar que as formações do Jurássico superior ocorrem em afloramentos muito fragmentados no limite sul do sistema aquífero, constituindo no seu conjunto uma faixa com cerca de 2 km de largura e 20 km de comprimento, que acompanha as vertentes da margem esquerda da Ribeira de Algibre, entre Clareanes e Paderne (Almeida *et al.*, 2000).

O corte abaixo (Monteiro, 2006b; Monteiro, 2010; *cf.* Fig. 12) mostra a relação entre as diferentes litologias e estruturas tectónicas, assim como a geometria dos aquíferos, as zonas de potencial conexão hidráulica entre o Jurássico Superior e o Miocénico e a independência hidrogeológica entre as rochas do Jurássico Inferior e Médio e as formações mais recentes.

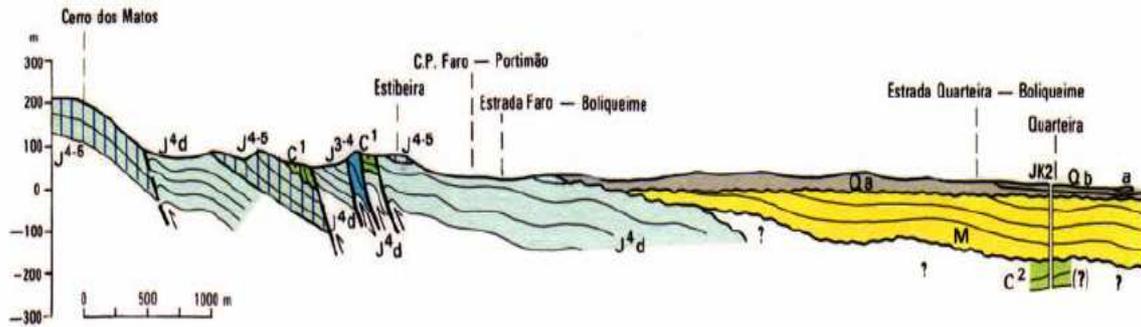


Fig. 12 – Corte geológico do Algarve Central (extraído de Manupella *et al.*, 1987)

Fonte: Monteiro (2006b)

5.1.2 Aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Este sistema aquífero tem uma área de 52 km², situa-se no concelho de Portimão e intercepta as bacias hidrográficas do Rio Arade e das Ribeiras do Barlavento (http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos/PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3).

Tectonicamente, e de acordo com Oliveira *et al.* (1984), este é um sistema relativamente pouco afectado por acidentes tectónicos importantes. Um dos acidentes mais importantes é a flexura Querença-Algoz-Portimão-Sagres, a qual nesta região tem uma direcção aproximada NE-SW, rodando para SE em direcção a Portimão (Ribeiro *et al.*, 1979). O sistema aquífero estende-se para N e S desta flexura.

A Norte deste acidente afloram essencialmente as formações jurássicas e cretácicas, as quais fazem para NE a continuação do sinclinal de Portelas, o qual está comprimido entre falhas NE-SW; o fecho NE deste sinclinal está compartimentado por falhas sub-meridianas (N-S) com importantes rejeitos, que põem em contacto formações com diferentes permeabilidades (Almeida *et al.*, 2000). A Sul da flexura, constituindo a parte Sul do sistema aquífero, ocorrem as formações mio-plio-quadernárias, que apresentam uma estrutura simples em monoclinial com inclinação suave para S (Almeida *et al.*, 2000). Além destes acidentes ocorrem ainda falhas sub-meridianas, as quais afectam as mio-plio-quadernárias (Almeida *et al.*, 2000).

Existe ainda fracturação de orientação N-S a NE-SW, na qual se instalaram pequenos fíloes.

Em termos de geometria das formações Costa (1989) assinala dobramentos nas camadas jurássicas, por oposição às camadas miocénicas, que têm estratificação horizontal a pouco inclinada. As formações miocénicas contactam portanto por uma discordância angular com as formações mesozóicas subjacentes; no extremo SW do sistema aquífero este autor assinala uma estrutura diapírica que afecta as unidades cársicas e as formações do aquífero poroso.

As formações geológicas que constituem este sistema aquífero são, da base para o topo (Fig. 13):

1. **Dolomitos e Calcários Dolomíticos** – do Jurássico inferior (Sinemuriano), são uma sucessão de dolomitos e calcários dolomíticos, em regra maciços, finamente cristalinos a sacaróides (Rocha *et al.*, 1979 e Rocha *et al.*, 1983, in Almeida *et al.*, 2000). A dolomitização é sobretudo secundária e precoce, embora possa ser mais tardia em sectores com fracturação. A

espessura foi estimada entre 60 (Pratsch, 1958, *in* Almeida *et al.*, 2000) e 300 m (Pratsch, 1963, *in* Almeida *et al.*, 2000).

2. **Calcários e Dolomitos de Almádena** – do Jurássico médio (Aaleniano-Bajociano inferior), são uma sucessão carbonatada de fácies lagunar ante-recifal, iniciada por dolomitos cristalinos (com 50 a 75 m de espessura), a que se seguem calcários oolíticos, calcários bioérmicos, calcários pisolíticos, calcários calciclásticos e calcários dolomíticos, numa sequência com 50 m de espessura (Rocha *et al.*, 1979, *in* Almeida *et al.*, 2000).

3. **Formação Carbonatada de Lagos-Portimão** – do Miocénico, é formada, nesta região, pela seguinte sequência litológica, da base para o topo (Antunes, 1983 e Antunes 1984, *in* Almeida *et al.*, 2000): (1) biocalcarenitos com fósseis, calcários mais finos, biocalcarenitos, com espessuras de 40 a 45 m; (2) bancada carbonatada com fósseis.

4. **Areias e Cascalheiras de Faro-Quarteira** – do Quaternário, é constituída por areias feldespáticas rubeificadas e arenitos grosseiros argilosos, que passam a cascalheiras e conglomerados. Tem uma espessura máxima de 30 m (Moura e Boski, 1994, *in* Almeida *et al.*, 2000).

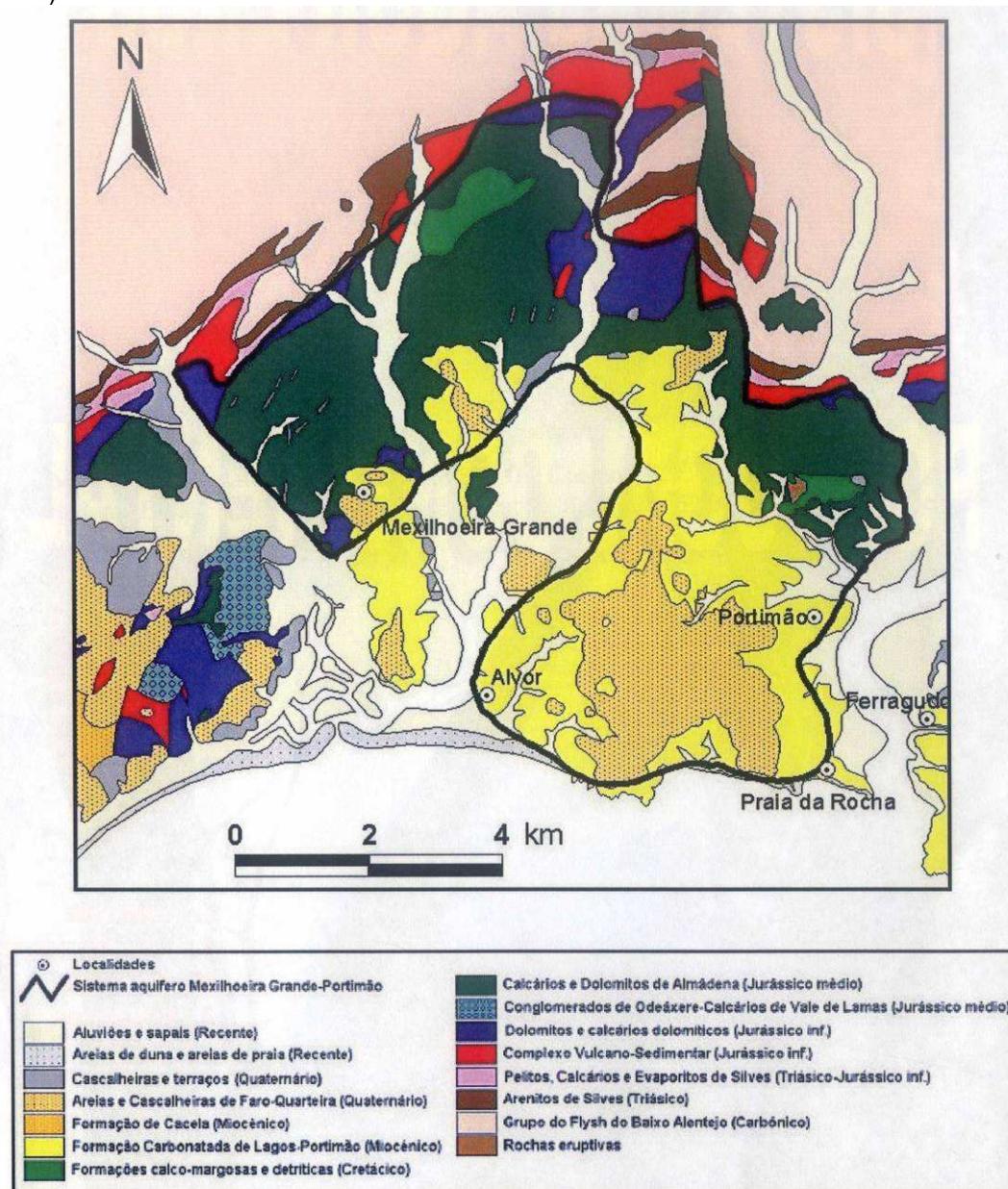


Fig. 13 – Mapa geológico do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão

Fonte: Almeida *et al.* (2000)

5.1.3 Maciço Antigo

A restante área da bacia do rio Arade, alvo deste estudo, é essencialmente constituída por formações de idade carbónica, pertencentes às séries de *Flysch* do Carbónico Baixo Alentejo/Sul de Portugal (Oliveira *et al.*, 1984):

◆ **Oeste de São Bartolomeu de Messines:**

- Formação da Brejeira – segundo Rocha *et al.* (1983) é constituída por sequências alternantes de xistos e grauvaques, em que os xistos são mais ou menos argilosos, com alinhamentos de grãos de quartzo e cores variadas em função do grau de alteração. Os grauvaques são maciços, de granulometria variada, por vezes fazendo passagem lateral para quartzitos. Estão também representados termos de transição como xistos grauvacóides e grauvaques xistosos. De acordo com Oliveira *et al.* (1984) esta formação, que começa por ter uma componente fortemente quartzítica, com alternâncias de pelitos muito argilosos, na faixa entre São Bartolomeu de Messines e Cabo Sardão, passa progressivamente para SW para termos sucessivamente mais grauvacóides, dominando as componentes argilosas nos sectores mais a Sul. Na zona de contacto com as formações mesozóicas é comum surgirem filonetes quartzíticos de pequena dimensão (Rocha *et al.*, 1983).
- Maciço de Monchique – no extremo N da bacia hidrográfica encontra-se ainda o maciço subvulcânico de Monchique, constituído em cerca de 95% por sienitos nefelínicos e subsidiariamente por sienitos, gabros feldespatóides e diversos cortejos filoneanos (Fig. 14; Clavijo e Valadares, 2003 in <http://www.cima.ualg.pt/valemon/geologia.html#>).



Fig. 14 – Mapa geológico do maciço de Monchique

Fonte: Projecto Valemon – Valorização Económica e Ambiental do Maciço Alcalino de Monchique <http://www.cima.ualg.pt/valemon/geologia.html#>

◆ **Leste de São Bartolomeu de Messines:**

- Formação de Mira – alternâncias espessas de xistos argilosos e grauvaques (Almeida, 1985), que, segundo Oliveira *et al.* (1984) são dominados pela componente argilosa, mas que apresentam uma certa tendência grosseira e de maior espessura das unidades litológicas em direcção ao contacto com a Formação da Brejeira. Localmente podem estar representadas outras litologias, como arenitos e quartzitos.

Tectonicamente as unidades da Formação da Brejeira estão orientadas para SW-NE, rodando por vezes para SSW-NNE, definindo nesta região uma estrutura isoclinal (Rocha *et al.*, 1983). A Formação de Mira está fortemente tectonicizada dispondo-se em dobras apertadas, intensamente falhadas e recortadas por filões de quartzo (*cf.* Fig. 15; Almeida, 1985).

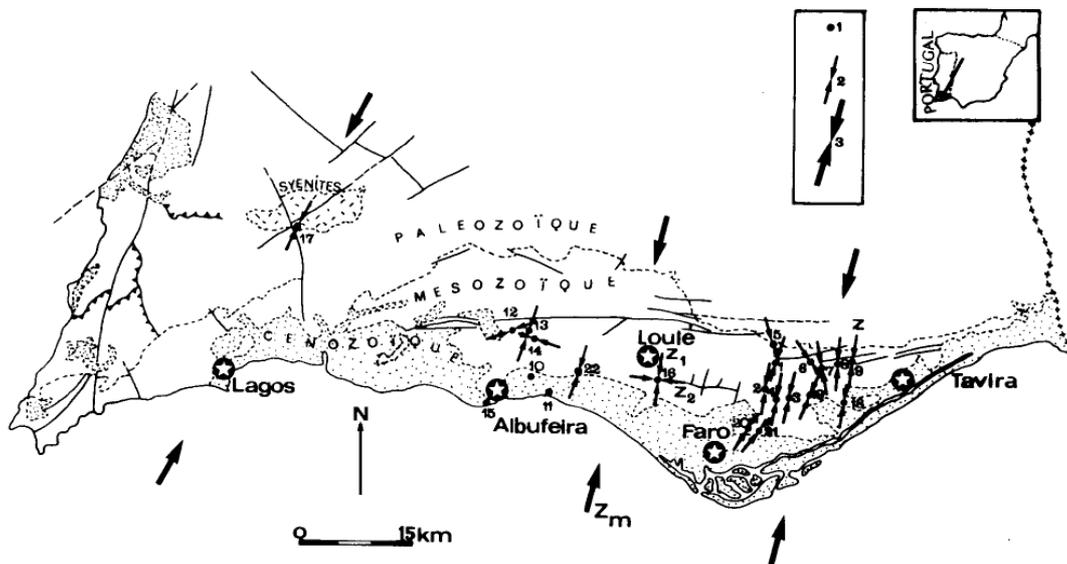


Fig. 15 – Tectónica das formações do soco antigo na zona do Algarve

Fonte: Almeida (1985)

O contacto da Formação de Mira com as formações mesozóicas faz-se por discordância angular, visível a 1500 m a N de Querença, ou então segundo acidentes tectónicos, de que se destacam os cavalgamentos perto de Querença, Clareanes, etc. (Almeida, 1985). Apenas a 2 km a leste de Tor, segundo o mesmo autor, se observou uma formação de idade provavelmente paleozóica localizada entre a Formação de Mira e o mesozóico. Almeida (1985) refere a ocorrência de falhas normais N060-N070, inclinando cerca de 85° para SE, que apresentam estrias com inclinação de 85° a 90° – e que se observam no Maciço Eruptivo de Monchique – que são devidas a forças distensivas orientadas N-S.

Almeida (1985) refere ainda que no Maciço de Monchique, as estruturas anteriores são cortadas sistematicamente por falhas inversas com atitudes N120-N140, 55W, possuem estrias com inclinação cerca de 90°, e desligamentos direitos (N350-N020) ou esquerdos (N070-N090), todos sub-verticais tendo estrias com inclinação de 0 a 10° S. Este autor admite que tais estruturas estão associadas a esforços compressivos orientados Estes dados indicam uma compressão N 30 E.

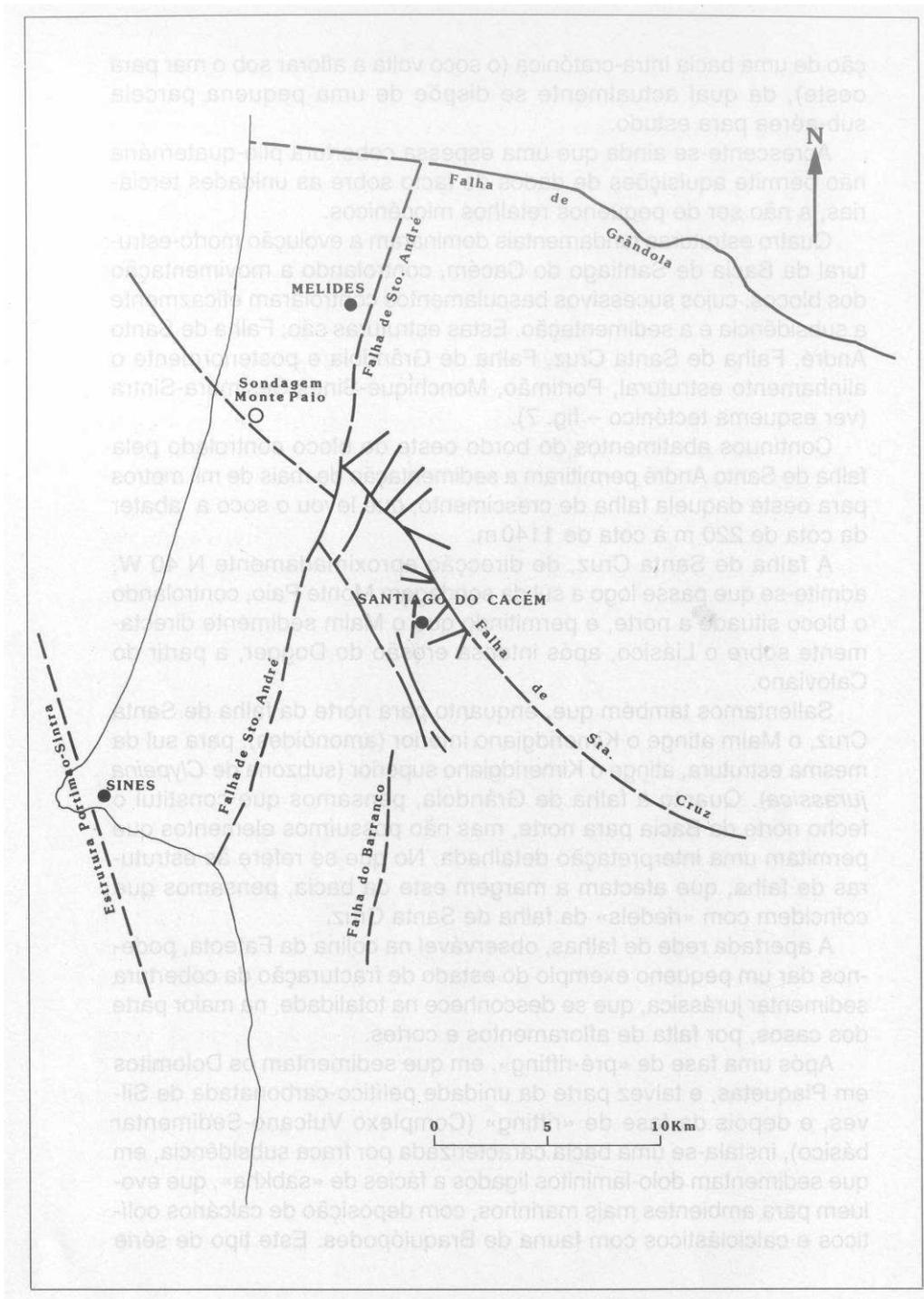


Fig. 17 – Principais acidentes tectónicos da região de Sines

Fonte: Inverno *et al.* (1993)

A falha de Santo André é o principal acidente responsável pela formação da bacia de Santiago do Cacém – onde se puderam acumular sedimentos com uma espessura total de mais de 1 000 m – graças aos abatimentos consecutivos do bloco W desta falha (Inverno *et al.*, 1993, *in* Almeida *et al.*, 2000). A formação da sequência de horsts e graben – e bacias de sedimentação associadas, dando origem às grandes variações de fácies dos sedimentos da região – deve-se contudo não apenas aos movimentos na falha de Santo André mas aos de todo o conjunto de falhas a ocidente, com orientação NNE-SSW e NE-SW (Rodrigues e Borges, 1984).

As principais direcções de fracturação são: (1) NNE-SSW a N-S (ex.: falha de Santo André e falha do Barranco); (2) NW-SE (ex.: falha de Santa Cruz e falhas associadas da região de Santiago do Cacém); (3) WNW-ESE a E-W (ex.: falha de Grândola); (4) ENE-WSW (falhas na zona do maciço eruptivo de Sines). Ocorrem ainda acidentes menos importantes, com direcções NE-SE (de falhas na região de Santiago do Cacém) e NNW-SSE (falha de praia da Lagoa). Manuppella e Moreira (1989, *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000) agrupam os acidentes tectónicos nas seguintes famílias:

- ◆ Família de fracturas a NE da Falha de Santa Cruz – engloba as direcções NE-SW a NNE-SSW e a direcção WNW-ESE.
- ◆ Família de fracturas entre as falhas de Santo André (a N de Santiago do Cacém) e de Santa Cruz – as direcções principais de fracturação são NW-SE e raras falhas N-S.
- ◆ Família de falhas a S de Santiago do Cacém – direcção dominante ENE-WSW; tectónica em “tecla de piano”, que forma demi-grabens basculados ora para E ora para W, está associada a esforços tectónicos distensivos.

Refira-se ainda que a quase ausência de sedimentos miocénicos no sector E da bacia sugere a existência de um acidente tectónico que passa nas proximidades de Cativa, aldeia de Santo André e Maria da Moita, e que deverá corresponder à bordadura dos grabens da bacia (Rodrigues e Borges, 1984, *in* Diamantino, 2001).

Há a assinalar que algumas das falhas da região são activas (Inverno *et al.*, 1993, *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000; Cabral e Ribeiro, 1988): (1) Santo André (NNE-SSW) – com movimento inverso no sector de Santiago do Cacém, mas de componente movimento (inversa ou normal) desconhecida na restante extensão; (2) Santa Cruz (NW-SE) – com movimento vertical mas de componente desconhecida; (3) Barranco – falha provável de componente vertical desconhecida, (a penas se conhece que no Mesozoico o seu bloco ocidental, tal como no caso da falha de Santo André) sofreu vários abatimentos; (4) fracturação NW-SE – afecta toda a cobertura pós-Mesozóica.

A fracturação é intensa nas formações jurássicas como sugere a apertada rede de falhas da colina da Faetota, sendo particularmente intensa a Sul de Santiago do Cacém (Inverno *et al.*, 1993 e Almeida *et al.*, 2000). As formações miocénicas são também afectadas pelo movimento de numerosas falhas, as quais promovem o afundamento de vários blocos (Diamantino, 2001). Há ainda a referir a fracturação das formações plio-pleistocénicas, em especial a 2 km a SW do cruzamento com o ramal de Maria da Moita estas unidades estão deformadas por uma falha (Inverno *et al.*, 1993).

Além das falhas, ocorre ainda um conjunto de outras estruturas, quer no sistema aquífero quer na sua envolvente (Lobo Ferreira *et al.* 2000; Diamantino, 2001; Inverno *et al.*, 1993):

1. **Diaclasses** – terão facilitado a carsificação e determinado as orientações das condutas

2. **Maciço Eruptivo de Sines e rede filoneana associada** – o maciço tem forma elíptica de eixo maior E-W (Oliveira *et al.*, 1984). Os filões associados, ácidos e básicos, têm orientações dominantes N-S e E-W. A sua instalação gerou levantamento e fracturação intensa das formações adjacentes. Admite-se que tal fracturação seja responsável pela boa produtividade de algumas captações da zona da Ribeira dos Moinhos (Rodrigues e Borges, 1984).

3. **Estrutura monoclinial** – assinalada entre Melides e Santiago do Cacém, afecta as unidades mesozóicas, sendo cortada por filões e chaminés vulcânicas associadas ao maciço subvulcânico de Sines. A Norte de Santiago do Cacém está orientada N-S a NNW-SSE e inclina para W, podendo apresentar orientação (Silva e Almeida, 1982, *in* Diamantino, 2001). É uma

estrutura com inclinação reduzida na maior parte da sua área, apresentando contudo inclinação acentuada na bordadura da bacia, no contacto com as formações paleozóicas; a inclinação reduz-se em direcção a W, passando a muito pouco inclinadas na zona de Deixa-o-Resto e Azinhal (Silva e Almeida, 1982, *in* Diamantino, 2001).

4. **Dobramentos de largo raio de curvatura** – afectam as formações meso-cenozóicas, resultando da tectónica alpina (Inverno *et al.*, 1993). A Sul de Santiago do Cacém – onde a fracturação é intensa – ocorrem dobras em anticlinal, com eixo orientado NNW-ESSE e inclinado para NNW (Silva e Almeida, 1982). A cartografia da folha 42-C da Carta Geológica de Portugal, escala 1:25 000 (Inverno *et al.*, 1993) assinala a Norte de Santiago do Cacém, dobras de menor amplitude, com eixos WNW-ESSE, algumas de inclinação invertida, e dobras de eixo NE-SW (Inverno *et al.*, 1993).

5. **Descontinuidades angulares** – são assinaladas várias na sucessão litológica: (1) descontinuidade angular entre as formações do solo paleozóico e as triásicas e hetangianas; (2) descontinuidade angular (e também superfície de ravinamento) do Jurássico Superior (Calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto) sobre o Jurássico Médio; (3) descontinuidade angular do Miocénico sobre as formações mesozóicas.

O sistema aquífero está desenvolvido em formações carbonatadas jurássicas e formações detríticas do Miocénico e Pliocénico, estando delimitado na sua base pelas formações de xistos e grauvaques carbónicos, formações triásicas e hetangianas e unidades vulcano-sedimentares do Jurássico Inferior – constituem a bordadura Este e Sul da bacia sedimentar de Santo André e têm grande continuidade espacial entre Santiago do Cacém, Melides e Ribeira da Cascalheira (Manuppella, 1983) – e no topo pelas formações pouco produtivas do pliocénico e quaternário; a SW esta bacia é limitada pelo maciço subvulcânico de Sines. De acordo com Silva e Almeida, 1982 (*in* Diamantino, 2001), as formações triásicas, hetangianas e vulcano-sedimentares podem agrupar-se em:

a) **Arenitos grosseiros, margas, calcários dolomíticos e dolomitos, triásicos e hetangianas** – ocorrem na bordadura da bacia e têm maior expressão nas proximidades de Santiago do Cacém e assentam em discordância angular sobre o substrato paleozóico, estando intensamente tectonizadas. É uma formação constituída por 3 termos cuja disposição da base para o topo é (Manuppella, 1983; Inverno *et al.* 1993):

a.1) **Arenitos de Silves** – do Triásico Superior, são constituídos por um conglomerado de base, a que se seguem arenitos, conglomerados e pelitos (em menor proporção). Os conglomerados têm clastos de quartzo, quartzito, grauvaque e xisto, não superiores a 15 cm, sendo a matriz argilosa, ferruginosa e, mais raramente carbonatada. As espessuras variam entre 80 e 120 m.

a.2) **Complexo pelítico-carbonatado-evaporítico de Silves** – do Jurássico Inferior (Hetangiano-Retiniano), é constituído por materiais argilosos, com arenitos subordinados e raras intercalações de margas dolomíticas. Não são conhecidos depósitos evaporíticos significativos nesta bacia sedimentar. A formação tem 75 m de espessura.

a.3) **Dolomitos em plaquetas** – do Jurássico Inferior (Hetangiano-Retiniano), é uma série de dolomitos siltosos com intercalações de pelitos, sendo que a dolomite funciona como cimento do material clástico nela englobado. De acordo com Inverno *et al.* (1993) sedimentaram em ambiente evaporítico incipiente de lagunas costeiras supratidais com fraca ligação a temporariamente isoladas do mar. Tem 15 a 40 m de espessura.

b) **Complexo vulcano-sedimentar** – do Jurássico Inferior (Hetangiano-Sinemuriano), é constituído por 3 escoadas de basaltos, doleritos e tufo vulcânicos (resultado das alternâncias de actividade explosiva e efusiva) por vezes com algumas intercalações de margas dolomíticas e raros calcários oolíticos. Tem espessuras entre 140 a 160 m.

As formações geológicas que constituem o sistema aquífero propriamente dito são, da base para o topo (Almeida *et al.*, 2000; Inverno *et al.*, 1993; Fig. 18):

1. **Dolomitos, margas dolomíticas e calcários de Faetota** – do Jurássico Inferior (Toarciano-Sinemuriano), é a formação aquífera mais antiga e constitui-se por dolomitos compactos, cristalinos ou folhetados, margas dolomíticas por vezes com componente detrítica, argilas com intercalações de tapetes algais dolo-detríticos, microbrechas dolomíticas, calcários oolíticos e calciclásticos dolomitizados. Manuppella (1970) refere ainda a ocorrência de calcários margosos dolomitizados, margas por vezes com intercalações de dolomitos e argilas com componente gresosa. Há acentuada variação lateral de fácies, em especial de N para S, dominando a fácies terrígena a N e a dolomítica com raras intercalações carbonatadas para S (Manuppella, 1970, *in* Inverno *et al.*, 1993). Esta formação, que aflora numa faixa quase contínua de afloramentos entre Melides e Santiago do Cacém, tem cerca de 100 m de espessura, está muito dolomitizada e é frequentemente cortada por filões e chaminés vulcânicas associadas ao maciço subvulcânico de Sines (Inverno *et al.*, 1993; Almeida *et al.*, 2000).

2. **Calcários do Rodeado** – do Jurássico Médio (Batoniano), são calcários calciclásticos, oolíticos e microcristalinos, raros dolomitos (em geral cavernosos e em intercalações descontínuas) e algumas intercalações margosas ou calco-margosas (Manuppella, 1983 *in* Diamantino, 2001; Inverno *et al.*, 1993). A formação está intensamente carsificada, por vezes com paleocarso muito desenvolvido (Inverno *et al.*, 1993 *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000), fossilizado pela cobertura cenozóica (Diamantino, 2001). Assenta em discordância angular sobre as formações do Jurássico Inferior e aflora apenas em afloramentos descontínuos ao longo da área de cobertura cenozóica (Diamantino, 2001). Tem espessura de cerca 200 m.

3. **Calcários do Monte Branco** – do Jurássico Médio (Caloviano), só foram reconhecidos de modo contínuo em sondagens; são formados por calcários calciclásticos com raras intercalações de calcários micríticos e microconglomerados (Manuppella, 1970, *in* Inverno *et al.*, 1993). No topo da série – que é marcado por uma superfície erosiva, a qual corta obliquamente as duas camadas desta formação – há um aumento das componentes terrígenas, terminando por um depósito de conglomerados (Inverno *et al.*, 1993 *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000). Tem espessura igual ou inferior a 50 m. Admite-se que esteja mais carsificada do que as formações sobrejacentes do Jurássico Superior, pois a superfície erosiva indicia a emersão da série no final do Jurássico Médio e a instalação de condições favoráveis à carsificação (Diamantino, 2001). As formações do Jurássico médio afloram ocasionalmente entre as formações de cobertura arenosa, segundo uma linha situada a 10 km do litoral e praticamente paralela a este (Inverno *et al.*, 1993, *in* Diamantino, 2001).

4. **Calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto** – do Jurássico superior (Kimmeridgiano-Oxfordiano), assentam em descontinuidade angular sobre as formações anteriores, ravinando o Jurássico médio. Esta descontinuidade é marcada por um conglomerado com intercalações de margas (cuja espessura, entre 5 a 50 m, aumenta de W para E; Almeida *et al.*, 2000). A este conglomerado seguem-se camadas espessas de calcários calciclásticos, oolíticos e microconglomeráticos, com intercalações de margas, argilas e conglomerados quartzosos (Inverno *et al.*, 1993, *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000). Os conglomerados quartzosos ocorrem sobretudo na base da unidade carbonatada. Os calcários são inicialmente de carácter mais brechóide (fossilíferos e brechas bioclásticas, por vezes grosseiras, estas últimas mais abundantes na parte superior) mas tornam-se mais argilosos para o topo, passando a calcários argilosos com intercalações de margas e calcários bioclásticos, com um progressivo predomínio das margas para o topo (Inverno *et al.*, 1993, *in* Almeida *et al.*, 2000). Embora carsificada, a carsificação é no geral mais atenuada do que nos Calcários de Monte Branco, sendo uma carsificação juvenil, em profundidade (Manuppella, 1983). Aflora na zona alta da bacia, num alinhamento com controlo estrutural importante, entre Cativa, Deixa-o-Resto e Maria da Moita, e também nalguns outros locais incluindo ao longo das principais linhas de água da região; ocorre

ainda ao longo de toda a zona baixa da bacia, mas subjacente aos depósitos miocénicos e plio-pleistocénicos (Rodrigues e Borges, 1984 *in* Diamantino, 2001). A formação tem espessura até 600 m (ex.: Furo de Monte Paio) e corresponde à sucessão terminal do Jurássico. Abaixo apresenta-se o Quadro 1, com as espessuras das diferentes unidades constituintes desta formação (Lobo Ferreira *et al.*, 2000, adaptado de Inverno *et al.*, 1993):

Quadro 1 – Espessuras das unidades constituintes da formação de Calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto

Unidade Litológica	Espessura (m)
Conglomerados poligénicos	5 a 55*
Calcáriosossilíferos e brechas bioclásticas	75
Calcários argilosos e calcários bioclásticos com intercalações margosas	165
Calcários argilosos e margas	300

*a espessura aumenta de W para E

5. Níveis marinhos do litoral – do Miocénico, são a base do aquífero superior e assentam directamente sobre os materiais jurássicos, em discordância angular, fossilizando um paleo-relevo e uma estrutura paleocársica que nalguns casos é muito desenvolvida (Manuppella, 1983). É de referir que algumas sondagens atravessaram 30 a 40 m de cobertura terciária e quaternária, atingindo depois esporões e cavernas, por vezes com dezenas de metros, sitas no Jurássico Médio e Superior (Diamantino, 2001). Estes depósitos miocénicos são constituídos por biocalcarenitos e arenitos finos, por vezes lumachélicos (Inverno *et al.*, 1993; Almeida *et al.*, 2000) a que se associam por vezes areias silto-argilosas por vezes com níveis de areias e de argilas (Rodrigues e Borges, 1984). Estas formações não ocorrem a E do alinhamento tectónico de Cativa-Maria da Moita mas a W deste alinhamento atinge espessuras superiores a 40 m, podendo a base desta unidade situar-se até profundidades de 90 m (Rodrigues e Borges, 1984, *in* Diamantino, 2001). As formações miocénicas constituem o limite Oeste da zona de afloramento das formações jurássicas (Diamantino, 2001). Silva e Almeida (1982, *in* Diamantino, 2001) referem a existência de uma erosão e carsificação intensa das formações carbonatadas miocénicas, que está total ou quase totalmente preenchida por sedimentos arenosos e argilosos; por vezes estas secções cavernosas têm mais de 10 m de espessura destes sedimentos.

6. Areias com seixos da Planície Litoral – do Plio-Pleistocénico, é a formação que fecha a sequência litológica do aquífero superior, sendo constituída por areias com pequenos seixos de quartzo (ocasionalmente ocorrem níveis com grandes calhaus rolados de quartzo), fragmentos de xistos e de arenitos triásicos (Inverno *et al.*, 1993, *in* Almeida *et al.*, 2000). Localmente podem ocorrer argilitos (por vezes com cascalheiras intercaladas, *cf.* Manuppella, 1983), concreções calcárias e arenitos mais ou menos argilosos (Inverno *et al.*, 1993). A Este do alinhamento tectónico de Cativa-Maria da Moita assentam directamente sobre o Jurássico, frequentemente preenchendo irregularidades na superfície do substrato. Estes depósitos atingem maior espessura na zona mais aplanada da região, onde se sobrepõem ao Miocénico (Rodrigues e Borges, 1984, *in* Diamantino, 2001).

7. Areias de praia e de duna, aluviões lodosas e areno-argilosas, cascalheiras de depósitos de terraços – conjunto de unidades plio-pleistocénicas e quaternárias que recobrem as formações aquíferas terciárias e têm importância aquífera apenas a nível local. São areias de praia e de duna, depósitos de terraço que são sobretudo cascalheiras (Manuppella, 1983), aluviões lodosas e areno-argilosas (Silva e Almeida, 1982 *in* Diamantino, 2001). As areias dunares ocupam extensões importantes ao longo da faixa costeira as aluviões estão confinadas às linhas de água principais, à Lagoa de Santo André e ribeiras afluentes, nos seus troços terminais (Rodrigues e Borges, 1984). Uma descrição mais pormenorizada (Inverno *et al.*, 1993, *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000):

a) Níveis de praias – do Plistocénico, são cascalheiras com seixos mal rolados, areias com seixos em regra bem rolados, cascalheiras e areias grosseiras com pequenos seixos,

conglomerados, areias finas, arenitos finos por vezes com leitos argilosos, argilitos, arenitos argilosos.

b) Terraços – de idade plistocénica, cascalheiras argilosas com seixos, por vezes de grande dimensão, mal rolados.

c) Aluviões – de idade holocénica depósitos de lodos e de areias com seixos.

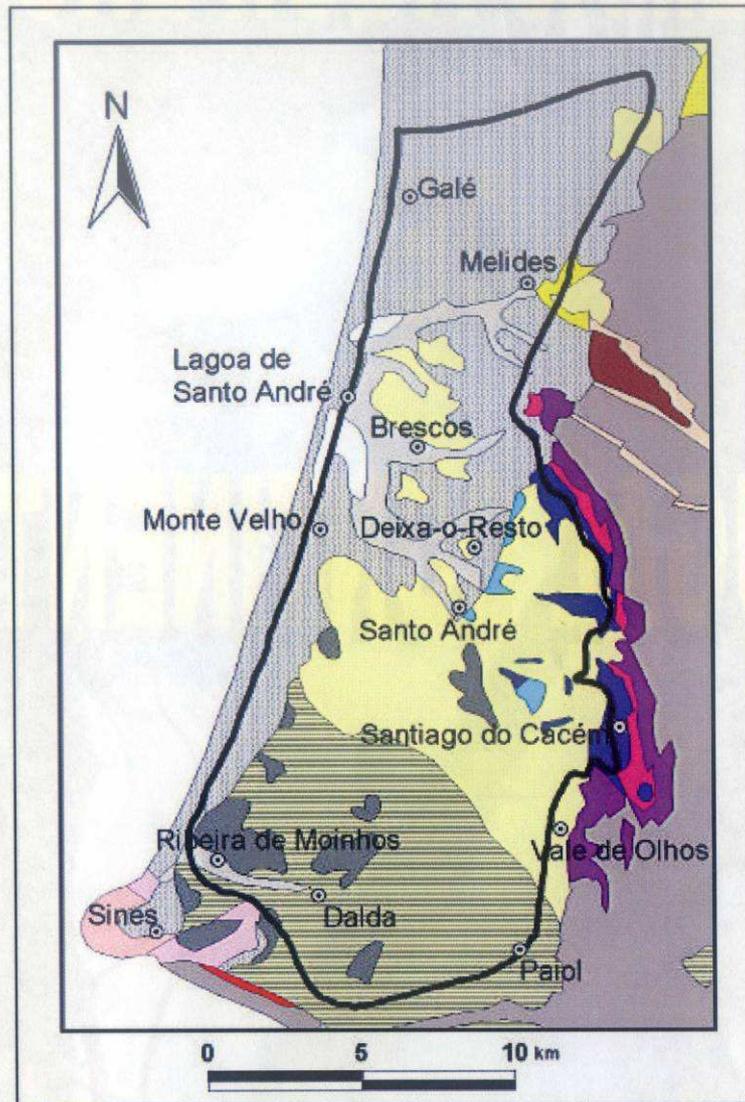


Fig. 18 – Mapa geológico do sistema aquífero de Sines

Fonte: Almeida *et al.* (2000)

As espessuras das diferentes formações são apresentadas no Quadro 2:

Quadro 2 – Resumo das espessuras das formações do sistema Aquífero de Sines

Unidade litológica	Espessura (m)
Dolomitos, margas dolomíticas e calcários da Fateota	100
Calcários de Rodeado	200
Calcários de Monte Branco	50
Calcários, margas e conglomerados de Deixa-o-Resto	600
Níveis marinhos litorais	30 a 40
Areias com seixos da planície litoral	28-32*

* a E de Melides, segundo Oliveira *et al.* (1984, in Lobo Ferreira *et al.*, 2000)

De referir que Moinante *et al.* (1994) apresentam espessuras algo diferentes para os depósitos plio-pleistocénicos: (1) entre os 8 m a S de Melides e (2) 40 m em Sines.

Como se referiu acima, algumas das formações jurássicas apresentam-se carsificadas. A intensidade da carsificação é muito variável, existindo áreas de carsificação acentuada (nas zonas próximas das regiões de recarga, por exemplo) e áreas a jusante onde a carsificação é progressivamente mais moderada até quase se confundir com as descontinuidades estruturais Inverno *et al.* (1993). A carsificação não varia apenas entre a zona de recarga e as zonas de jusante, mas também entre as diferentes formações. Assim, os Calcários de Rodeado, as mais antigas das formações afectadas pela carsificação, são as mais intensamente carsificadas, nelas se observando um paleocarsismo muito desenvolvido (Manuppella, 1983, in Lobo Ferreira *et al.*, 2000); seguem-se as formações de Monte Branco, que contudo estarão mais carsificadas do que as do Jurássico Superior. Note-se que no fim do Jurássico Médio ocorre um período de emersão e erosão das formações que se admite tenha sido favorável à carsificação das formações do Jurássico Médio (Rodrigues e Borges, 1984). A carsificação no Jurássico Superior – Calcários de Deixa-o-Resto - é no geral mais atenuada, sendo uma carsificação juvenil e em profundidade (Manuppella, 1983, in Diamantino, 2001). Esta carsificação poderá estar associada ao levantamento da bacia no fim do Jurássico, por reactivação dos acidentes tectónicos hercínicos, situação responsável pela ausência de deposição até ao Miocénico (Rodrigues e Borges, 1984).

6 Hidrogeologia

6.1 Sistema Aquífero de Querença-Silves

6.1.1 Caracterização geral

Este é um sistema multiaquífero cársico, livre a confinado, com 318 km², limitado a Norte pelos Grés de Silves e a Sul pelos calcários margosos e margas do Caloviano-Oxfordiano-Kimeridgiano (Almeida *et al.*, 2000; http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_Portugal/Cont/mostra_ficha.php?aquif=M5). A espessura das formações aquíferas atinge pelo menos 270 m, embora a carsificação se desenvolva até profundidades menores, e possa localmente ir abaixo dos 200 m de profundidade (Almeida *et al.*, 2000). Tectonicamente o sistema aquífero é delimitado a S pela falha do Algibre, ao longo da qual se instala a ribeira do mesmo nome. Os cortes das Fig. 9 e Fig. 12 mostram a relação entre as diferentes litologias e a independência hidrogeológica entre as rochas do Jurássico Inferior e Médio e as formações mais recentes (Monteiro, 2010). Como se vê das Fig. 9 e Fig. 12, o sistema aquífero apresenta uma geometria complexa, reflectida no padrão de afloramentos das formações, e que resulta da actividade tectónica que tende a compartimentar o sistema aquífero em subsistemas com ligação hidráulica mais ou menos condicionada e restringida entre si. Assim, estas subunidades tendem a comportamento hidráulico semi-independente, com alguns sectores sem interesse

hidrogeológico (Almeida *et al.*, 2000) e outros de produtividade significativa. Além desta complexidade do meio subterrâneo, acresce-se a induzida pela transferência entre subsistemas através das ribeiras, que transferem água dos subsistemas a montante para os subsistemas a jusante, através duma sucessão de pontos de pontos de exurgência e zonas onde as ribeiras funcionam como pontos de infiltração (Monteiro *et al.*, 2006a; Monteiro *et al.*, 2007a); Reis *et al.*, 2007). Assim a circulação não se faz apenas no meio subterrâneo mas há também uma componente superficial de circulação e ligação hidráulica entre os diferentes sectores do sistema aquífero.

Como se referiu acima, o dobramento e fracturação que afectaram as formações jurássicas levaram à criação e isolamento de sectores (seguidamente designados como subsistemas), os quais são drenados por nascentes importantes (Almeida, 1985, *in* Mendonça e Almeida, 2003). Estas nascentes (Fig. 19), associadas à rede cársica subterrânea, situam-se na zona limítrofe do sistema aquífero de Querença-Silves e que as mais conhecidas são (Almeida *et al.*, 2000; Mendonça e Almeida, 2003; Monteiro, 2006b; Reis *et al.*, 2007; Monteiro, 2010):

- ◆ Fonte Filipe
- ◆ Fonte Benémola (associada à ribeira de Quarteira)¹
- ◆ Fonte de Salir (associada à ribeira de Quarteira)
- ◆ Fontes grande e pequena de Alte (associada às ribeiras de Alte e de Quarteira)
- ◆ Fontes de Estombar (associadas ao rio Arade)
- ◆ Fontes de Paderne (associada à ribeira de Quarteira)
- ◆ Nascentes de Arrochela (associadas ao rio Arade)
- ◆ Nascentes entre Arrochela e Mexilhoeira da Carregação (associadas à ribeira de Quarteira, sitas na sua margem esquerda e pertencentes ao conjunto de nascentes mais importantes do sistema aquífero)
- ◆ Nascente da Tapada do Gramacho
- ◆ Nascente do Almarjão

Ocorrem ainda outras nascentes, de menor dimensão e por vezes de carácter difuso, nos leitos das ribeiras que atravessam o sistema aquífero.

Reis *et al.* (2007) identificaram neste sistema aquífero os subsistemas de: (1) Tôr-Silves, (2) Salir, (3) Fonte Benémola e (4) Alte. Os mesmos autores sublinham que o subsistema mais importante é o de Tôr-Silves. Entre estes subsistemas de funcionamento semi-independente, devem destacar-se os que alimentam respectivamente as nascentes da Fonte Grande (Alte), Fonte de Salir e Fonte Benémola, as quais são algumas das mais importantes nascentes no Algarve Central (Almeida *et al.*, 2000; Monteiro, 2010). Existe ainda a subunidade, definida em calcários do Jurássico Superior, sita na zona centro-sul do sistema aquífero, que é drenada pela Fonte de Paderne e da qual não se conhece com rigor as conexões hidráulicas com o sistema principal (Almeida *et al.*, 2000).

¹ Indicada como tendo tido aproveitamento termal (http://www.aguas.ics.ul.pt/faro_benemola.html).

1. **Nascentes que drenam pequenas áreas do sistema aquífero** (ex.: Fonte Filipe, Salir, Alte, Benémola) – têm variações muito importantes dos caudais sazonais, com variações entre os caudais máximos e mínimos da ordem de grandeza da dezena ou superiores, ou chegar mesmo a secar nas épocas de estiagem; isto revela, segundo os autores, um efeito regulador muito baixo do sistema (Fig. 21).

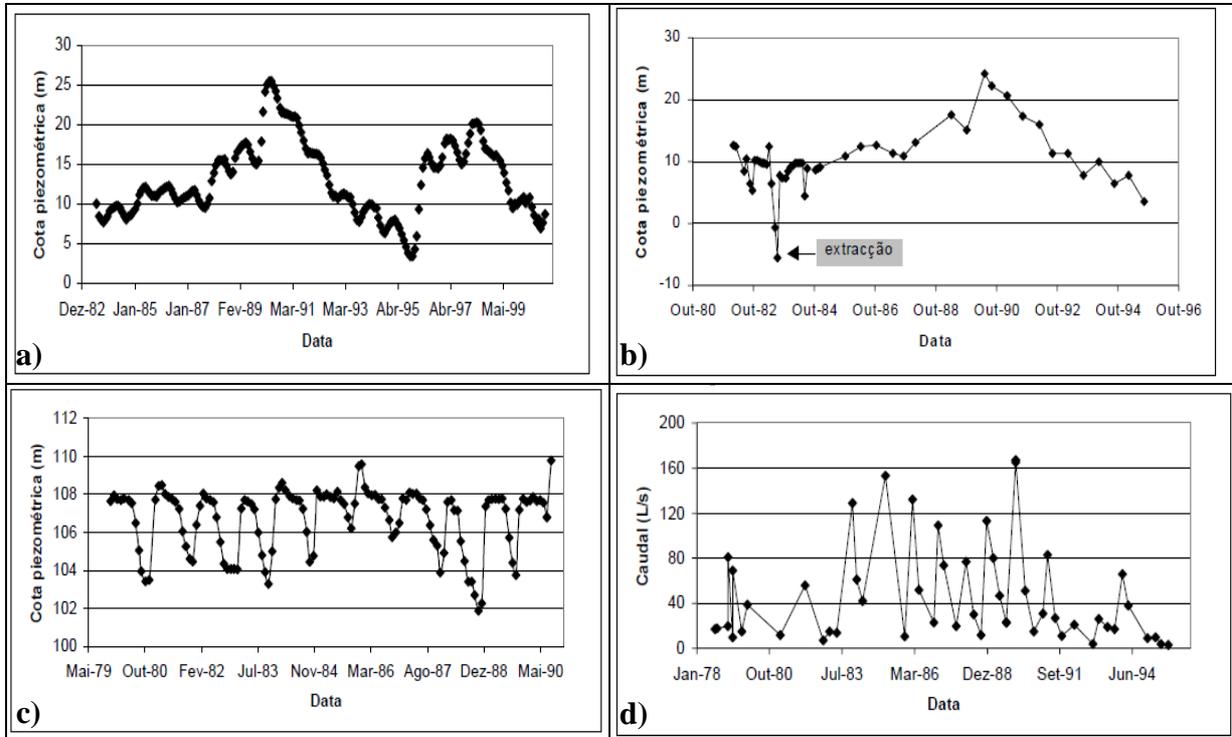


Fig. 21 – Evolução dos caudais para as nascentes de Alvados e Fontes (a), Louseiros (b), Ponted e Tôr (c), Fonte Grande de Alte (d)

Fonte: Mendonça e Almeida (2003)

2. **Nascentes que drenam grandes áreas do sistema aquífero** (ex.: Fontes de Estômbar) – sitas sobretudo na margem esquerda do rio Arade, que se admite seja o nível de base do aquífero e sua principal zona de descarga, têm uma menor variação sazonal dos caudais, havendo uma progressiva diminuição do caudal com o avanço do período de seca, com os caudais a seguirem curvas de evolução similares às da evolução dos níveis piezométricos neste sector do sistema aquífero (Fig. 22).

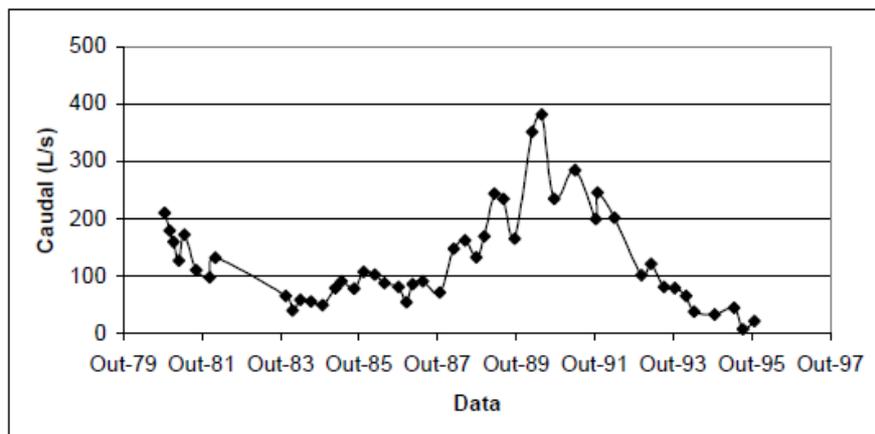


Fig. 22 – Evolução dos caudais para a nascente de Fontes de Estômbar

Fonte: Mendonça e Almeida (2003)

As estruturas com capacidade de infiltração que ocorrem neste sistema aquífero são poldjes (ex.: Nave do Barão), lapiás e dolinas; contudo o fundo de algumas destas depressões, e outras superfícies, está coberta por aluviões, depósitos de terraços ou *terra rossa*, com permeabilidade vertical por vezes baixa ou nula (Nave do Barão, Fonte Louzeiro, depressão a N de Purgatório, etc.), de acordo com Almeida *et al.* (2000). Deste modo nem todas as depressões cársicas funcionam como áreas de recarga ou têm a mesma capacidade de infiltração, a qual variará portanto com o tipo de depósitos sedimentares e respectivas capacidades hidráulicas existentes nestas depressões e a estrutura cársica e/ou tectónica associada.

6.1.2 Relação águas superficiais-subterrâneas

Este aquífero estabelece relações complexas com as águas superficiais, sendo que, como se viu acima, as ribeiras estabelecem com frequência a ligação hidráulica entre diferentes sectores (ou subsistemas) que de outro modo teriam funcionamento independente. Segundo Reis *et al.* (2007) as águas superficiais constituem a única forma de ligação hidráulica entre alguns destes subsistemas. As inter-relações entre águas superficiais e subterrâneas, com a localização das zonas influentes e efluentes das ribeiras e respectivas áreas de transferência hidráulica entre subsectores do sistema aquífero foi simulada com modelos matemáticos por Monteiro *et al.*, (2006a), Monteiro *et al.* (2006b) e Monteiro *et al.* (2007a), sendo estes resultados corroborados pelo trabalho de Reis *et al.* (2007).

O rio Arade, de acordo com Monteiro *et al.* (2006a; 2006b) é dado como efluente desde montante de Silves (Fig. 23), sendo a principal área de descarga do sistema aquífero, em particular do seu sector ocidental. As nascentes de Estombar, sitas nas proximidades do rio Arade, são zonas de importante descarga concentrada do aquífero, e em particular do seu sector ocidental.

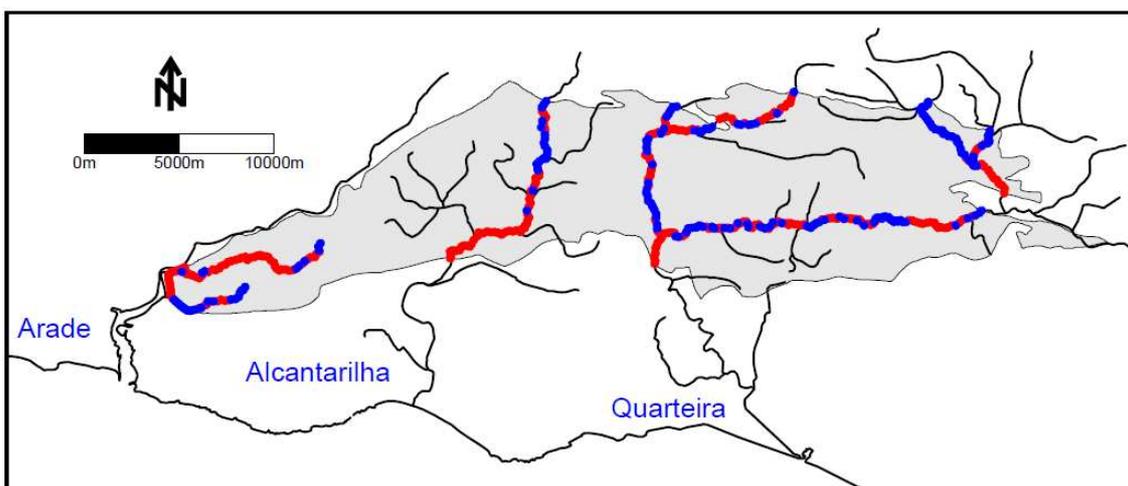


Fig. 23 – Troços influentes (a azul) e efluentes (a vermelho) das ribeiras que atravessam o sistema aquífero Querença-Silves

Fonte: Monteiro *et al.* (2006a)

Na Fig. 23 apresenta-se a distribuição dos sectores efluentes e influentes das principais ribeiras que atravessam o sistema aquífero. Exemplos da ligação entre as diferentes subunidades do sistema aquífero através das ribeiras são ilustrados pelos casos da ribeira de Alcantarilha, Alte, Algibre, entre outros (Fig. 24 e Fig. 25). Assim, a ribeira de Alcantarilha é sobretudo influente no

seu sector de montante (sito no sector Norte do sistema aquífero) e efluente no seu troço de jusante (Monteiro *et al.*, 2006a; Monteiro *et al.*, 2007a). Reis *et al.* (2007) referem um comportamento similar para o ribeiro Meirinho, que sofre acentuada redução do seu caudal ao atingir as formações carbonatadas, possuindo vários sumidouros no seu leito; esta ribeira está seca durante a maior parte do ano e a sua bacia para montante da entrada no sistema aquífero é de pequenas dimensões. Este ribeiro transfere assim águas recebidas dos terrenos paleozóicos de montante – por escoamento directo e/ou eventuais escoamentos sub-superficiais destas formações – para o sistema aquífero, assim como as águas que recebe da ETAR de S. Bartolomeu de Messines. Reis *et al.* (2007) consideram que esta ribeira tem pouca importância em termos de recarga dadas as pequenas diferenças de caudal existentes entre as secções do troço de montante e de jusante; este facto é explicado pelos autores com a pequena dimensão da bacia hidrográfica a montante do sistema aquífero.

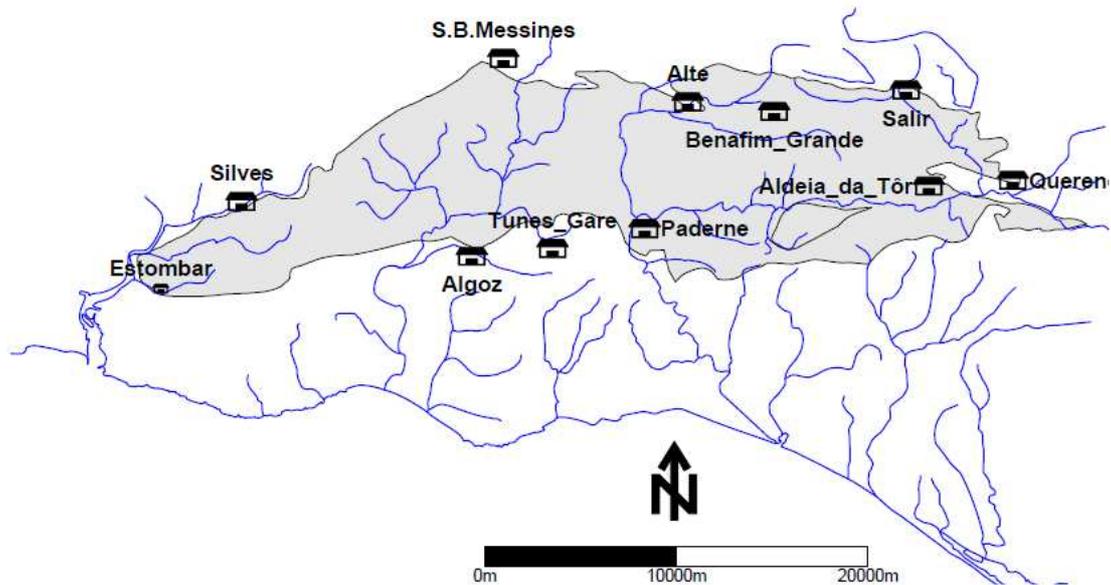


Fig. 24 – Localização das ribeiras que atravessam o sistema aquífero de Querença-Silves

Fonte: Monteiro (2006b)

Por seu lado a ribeira de Alte é alimentada pelas nascentes de Alte, que são o ponto de descarga do subsistema do mesmo nome (Reis *et al.*, 2007). Como, de acordo com os mesmos autores, o subsistema de Alte recebe recarga de águas de montante, trazidas pela ribeira de Quinta do Freixo, então as águas que saem nas nascentes de Alte são, em certa percentagem, originárias destes terrenos a montante. Deste modo o **subsistema de Alte** tem recarga directa a partir da chuva e a partir da ribeira de Quinta do Freixo. Como a ribeira de Alte, alimentada por estas nascentes, descarrega para sectores a jusante (subsistema de Tôr-Silves) então ocorre de facto uma transferência de águas desde terrenos a montante do sistema aquífero – passando pelo subsistema de Alte e ribeira do mesmo nome – para os terrenos do subsistema Tôr-Silves, sítios na zona sul deste sistema (Fig. 25).

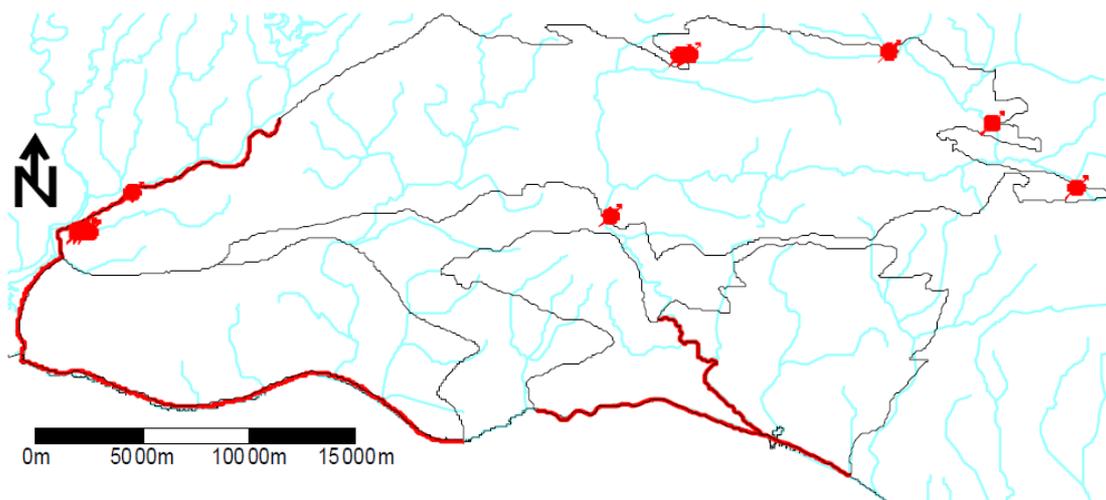


Fig. 25 – Rede hidrográfica e zonas de contacto hidráulico entre o meio hídrico superficial e subterrâneo no sistema aquífero Querença-Silves e sistemas aquíferos vizinhos

Fonte: Monteiro *et al.* (2006a)

A ribeira do Algibre resulta da confluência das ribeiras das Mercês e da Menalva (ou Fonte da Menalva), sendo a ribeira da Menalva a confluência das ribeiras de Moinhos, Salgada e rio Seco; esta confluência ocorre antes das linhas de água atingirem o sistema de Tôr-Silves (Reis *et al.*, 2007). A partir de Purgatório, esta ribeira toma a designação de Ribeira de Quarteira. Antes de atingir a unidade de Tôr-Silves, a ribeira do Algibre é alimentada pela água que vem da Serra e pelas nascentes de Salir, Benémola Fonte Filipe e Almarjão, que drenam pequenas subunidades hidrogeológicas, entre estas as de Salir e Benémola (Reis *et al.*, 2007). Partindo de montante, na ribeira dos Moinhos até montante de Ponte de Salir, ocorre um conjunto de nascentes ao longo do leito da ribeira, que drenam o **subsistema de Salir**; alguns metros a jusante deste local grande parte do caudal da ribeira infiltra-se no seu leito, presumivelmente voltando a recarregar o aquífero. Deste modo a ribeira dos Moinhos transfere água dos terrenos paleozóicos de montante do sistema aquífero para o subsistema de Salir e, presumivelmente também para o sistema de Fonte Benémola. Prosseguindo para jusante e leste, entra-se na área do **subsistema de Fonte Benémola**, atravessado pelas ribeiras da Salgada e Rio Seco; estas sofrem também diminuição significativa de caudal das quando entram nas formações carbonatadas, recarregando portanto este subsistema com as águas trazidas dos terrenos de montante não pertencentes ao sistema aquífero; assim o subsistema de Fonte Benémola recebe recarga do subsistema de Salir via ribeira dos Moinhos e recarga de terrenos externos ao aquífero pelas ribeiras da Salgada e Rio Seco. A jusante, este subsistema descarrega pela nascente de Fonte Benémola, sita junto à ribeira de Menalva (que se origina na confluência das ribeiras dos Moinhos, Salgada e Rio Seco). A sucessão de nascentes e sumidouros a jusante de Fonte Benémola é apresentada na Fig. 26.

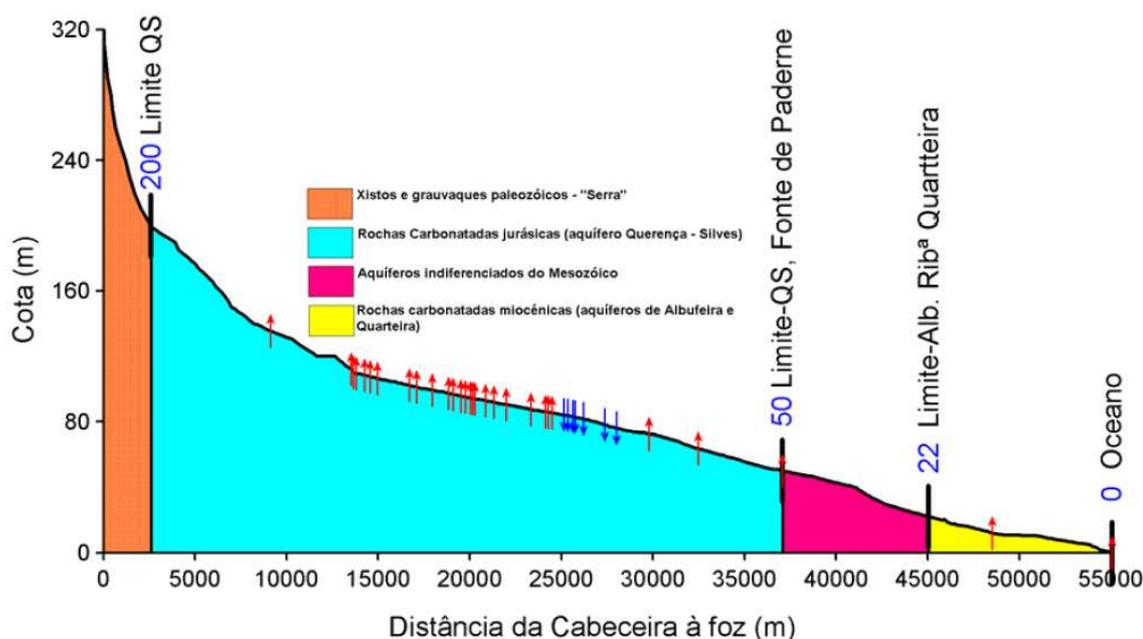


Fig. 26 – Ribeira do Algibre e troços influentes e efluentes, com os respectivos sumidouros (a azul) e exsurgências (a vermelho)

Fonte: Monteiro *et al.* (2006a) e Monteiro *et al.* (2007b)

Continuando para jusante, em direcção à confluência entre as ribeiras de Menalva e Mercês (para originarem a ribeira do Algibre), esta última ribeira recebe a contribuição da nascente de Fonte Filipe, que drena o quase independente **subsistema de Fonte Filipe**. Assim esta ribeira transfere para o subsistema de Tôr-Silves não apenas águas colectadas na Serra Algarvia como também águas das subunidades acima citadas, ligando assim hidráulicamente regiões muito díspares e por vezes sem contacto directo. Note-se que ao atravessar a unidade de Tôr-Silves, entre Tôr e o Purgatório, a ribeira de Algibre é influente nalguns locais e efluente noutros (Fig. 23) mas em período de seca ela funciona essencialmente como sumidouro para o aquífero; de acordo com Reis *et al.* (2007) na seca de 2005, no período de Janeiro a Setembro de 2005, na estação do Purgatório, a ribeira teve sempre caudal nulo. O **subsistema de Tôr-Silves**, além de estar em ligação hidráulica via ribeira de Algibre com os subsistemas acima citados, recebe também contribuições do subsistema de Alte, que é drenado por uma bacia hidrográfica distinta da de Alcantarilha. A ribeira da bacia de Alte encontra-se com a de Alcantarilha a montante de Paderne. Refira-se que as conexões hidráulicas do **subsistema de Paderne** (drenado pela Fonte de Paderne) com o sistema aquífero principal são mal conhecidas, embora Monteiro *et al.* (2006a) refira que esta nascente cede água do sistema Querença-Silves para os sistemas de Albufeira-Ribeira de Quarteira e de Quarteira, presumivelmente via ribeira de Quarteira.

Como a Sul de Paderne a ribeira de Alcantarilha e de Alte originam a Ribeira de Quarteira, pode dizer-se que os subsistemas atrás citados – e portanto as fontes que as drenam como seja o caso das nascentes de Fonte Grande/Alte, Salir e Benémola – alimentam a Ribeira de Quarteira. Esta ribeira tem comportamento influente e efluente em diversos troços do seu percurso, podendo considerar-se dividida em dois sectores (Almeida *et al.*, 2000):

- **um sector de montante**, onde apresenta troços influentes e efluentes, ligando os subsistemas acima citados e o subsistema de Tôr; Monteiro *et al.* (2006a) referem que esta ribeira é influente até à Ponte do Barão, tornando-se depois efluente.

- **um sector de jusante**, onde é influente, registando-se a presença de sumidouros importantes nas zonas de Lentiscais e Cabanita. De referir que alguns destes sumidouros só funcionam quando a ribeira sai do seu leito.

6.1.3 Piezometria

A informação existente sobre a piezometria aponta para a existência de unidades parciais a quase totalmente independentes, podendo dividir-se o sistema aquífero em dois grandes sectores, com comportamentos hidráulicos algo distintos, e cuja existência sugere que o acidente de S. Marcos da Serra-Quarteira, com direcção NNW-SSE, funcione como barreira hidráulica de baixa permeabilidade, tornando-se um importante condicionante da circulação subterrânea (Andrade, 1989; Almeida *et al.*, 2000):

1. **Sector ocidental** – tem uma relativa homogeneidade na distribuição dos níveis piezométricos, que são de um modo geral inferiores aos do sector oriental e definem uma superfície piezométrica com gradientes hidráulicos suaves, inferiores aos do sector Oriental; para W de Paderne o gradiente hidráulico será de cerca de 1,5‰ (Almeida, 1985, *in* Almeida *et al.*, 2000) e as litologias terão uma maior permeabilidade horizontal. Temporalmente, a piezometria segue a evolução da precipitação, o que revela a importância da recarga directa; as variações são elevadas, com grandes descidas nos períodos de seca, provocando a descida dos níveis dinâmicos até abaixo do nível do mar.

2. **Sector oriental** – os níveis piezométricos são significativamente mais elevados do que no sector ocidental, e com distribuição bastante errática, sugerindo uma compartimentação que dá origem a subsistemas mais ou menos independentes. Para NE de Paderne a maior densidade das izopiezas indica a existência de um gradiente hidráulico regional importante (cerca de 15‰; Almeida, 1985, *in* Almeida *et al.*, 2000) e uma baixa permeabilidade horizontal das formações. Temporalmente, a piezometria segue nalgumas zonas o comportamento do sector ocidental mas em zonas como a ribeira do Algibre, embora haja variações sazonais, as variações interanuais são atenuadas, devido ao efeito regulador da leito da ribeira, da interacção água superficial-subterrânea e da ribeira ser um nível de base local dos escoamentos subterrâneos.

A variação na densidade das izopiezas pode ser um indicador de diferenças na intensidade de carsificação nos diferentes sectores e subunidades do sistema aquífero, sugerindo que a carsificação poderá ser mais intensa no sector Ocidental relativamente ao sector Oriental.

Monteiro *et al.* (2006a; 2007a) e Monteiro *et al.* (2006b) obtiveram uma representação da superfície piezométrica que ilustra o acima referido (Fig. 27) usando: (1) os dados de 34 pontos de monitorização da CCDR Algarve e (2) um modelo de elementos finitos em regime permanente, tendo-se obtido a distribuição das isopiezas por calibração inversa a partir de uma distribuição espacial de transmissividades (Monteiro *et al.*, 2006a; Monteiro *et al.*, 2007a).

Ocorrem ainda anomalias locais da piezometria, associadas a (Almeida *et al.*, 2000):

1. **Grupos de captações importantes** (ex.: a N da Fonte dos Louzeiros, onde se situam várias captações da C.M. de Silves);

2. **Aquíferos suspensos** – tipicamente são valores anormalmente elevados e com fraca variação ao longo do tempo; a associação a eventuais aquíferos suspensos deve-se às características litoestratigráficas, tectónicas, geomorfológicas e hidrogeológicas dos locais onde estes pontos anómalos ocorrem. Um exemplo é da zona a NNW de Alte, sita numa depressão de formações liásicas sitas no prolongamento para Oeste da Nave do Barão e Nave dos Cordeiros, e que corresponde a um conjunto de formações carbonatadas liásicas, delimitadas a Norte e Sul pelas formações impermeáveis do Hetangiano.

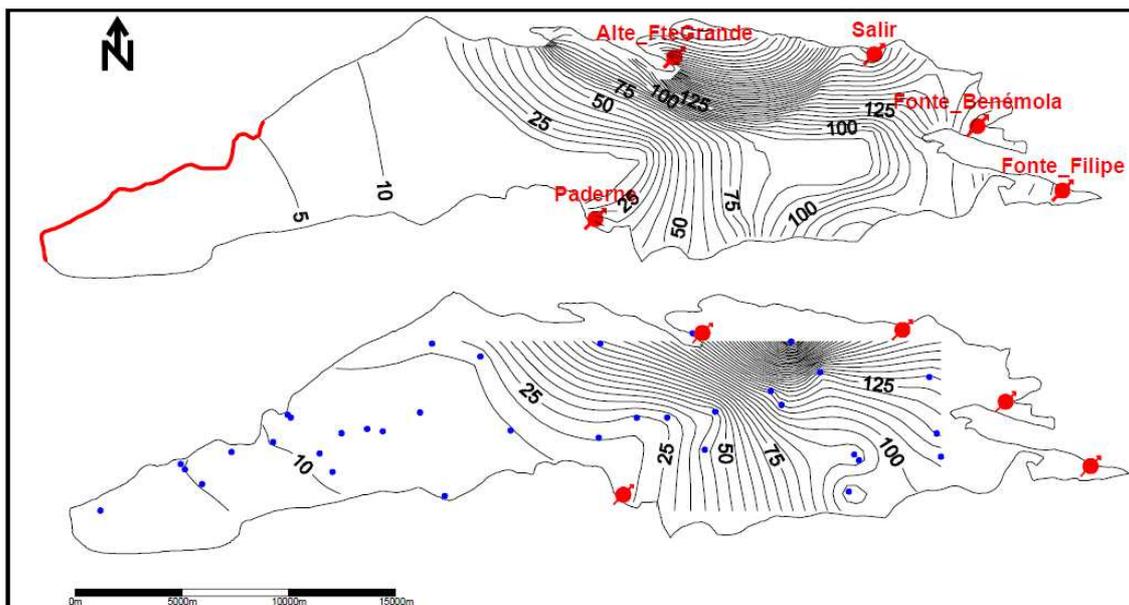


Fig. 27 – Piezometria do sistema aquífero Querença-Silves (topo: simulação matemática; base: dados de campo)

Fonte: Monteiro *et al.* (2006a; 2007a)

De um modo geral, o fluxo subterrâneo dá-se para oeste, variando entre as direcções N-S e E-W (Almeida *et al.*, 2000; http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5), embora existam anomalias a estas direcções, por via de regra associadas às compartimentações do sistema aquífero. Assim, e de acordo com Monteiro (2006b), Stigter *et al.* (2009) e Mendonça e Almeida (2003) as direcções de fluxo dentro de cada sector do sistema aquífero serão:

1. **Sector ocidental** – a direcção dominante de escoamento é de NE para SW, em conformidade com o sentido regional de escoamento no aquífero. Nesta região um conjunto de nascentes, de que se destacam as Fontes de Estombar, condicionam a direcção geral do escoamento.

2. **Sector oriental** – além do fluxo geral para Oeste, ocorre ainda fluxo para Sul e SW a partir do seu limite Norte e, adicionalmente, de E para W junto do seu limite Sul, em particular na região a Este de Paderne e em toda a zona central até Algoz. Localmente há fluxos de W para E no subsector Sul, como é evidenciado pela existência de nascentes como a Fonte Filipe, no extremo E deste subsector; a análise dos dados mostra que o fluxo para E em direcção à Fonte Filipe e outras pequenas nascentes é local e declaradamente menos importante que o fluxo regional para W que domina este subsector Sul.

Monteiro (2006b) refere ainda que a natureza da conexão hidráulica entre os sectores Oeste e Este do sistema aquífero é complexa, dificultando a caracterização das transferências de água entre os 2 sectores. Segundo este autor, parece verificar-se que tanto o subsector Norte como o subsector Sul do sector Oriental têm continuidade com o escoamento geral para W verificado no sector Ocidental; no entanto a piezometria observada é igualmente compatível com um modelo conceptual onde apenas o subsector sul do sector Oriental estabelece conexão hidráulica eficaz com o sector Ocidental.

Além da distribuição no espaço, existe uma evolução temporal da piezometria, a qual., embora seguindo padrões mais ou menos similares, difere em termos de amplitude entre os vários sectores do sistema aquífero, como se pode ver na Fig. 28. Assim, e de acordo com Lopes (1995), os piezómetros 596/259 (no sector oriental do sistema) e 595/215 (no sector ocidental),

por exemplo, têm oscilações paralelas mas as do 595/215 são cerca de 4 vezes menores às do 596/259, mostrando que as zonas onde se localizam têm comportamentos muito semelhantes.

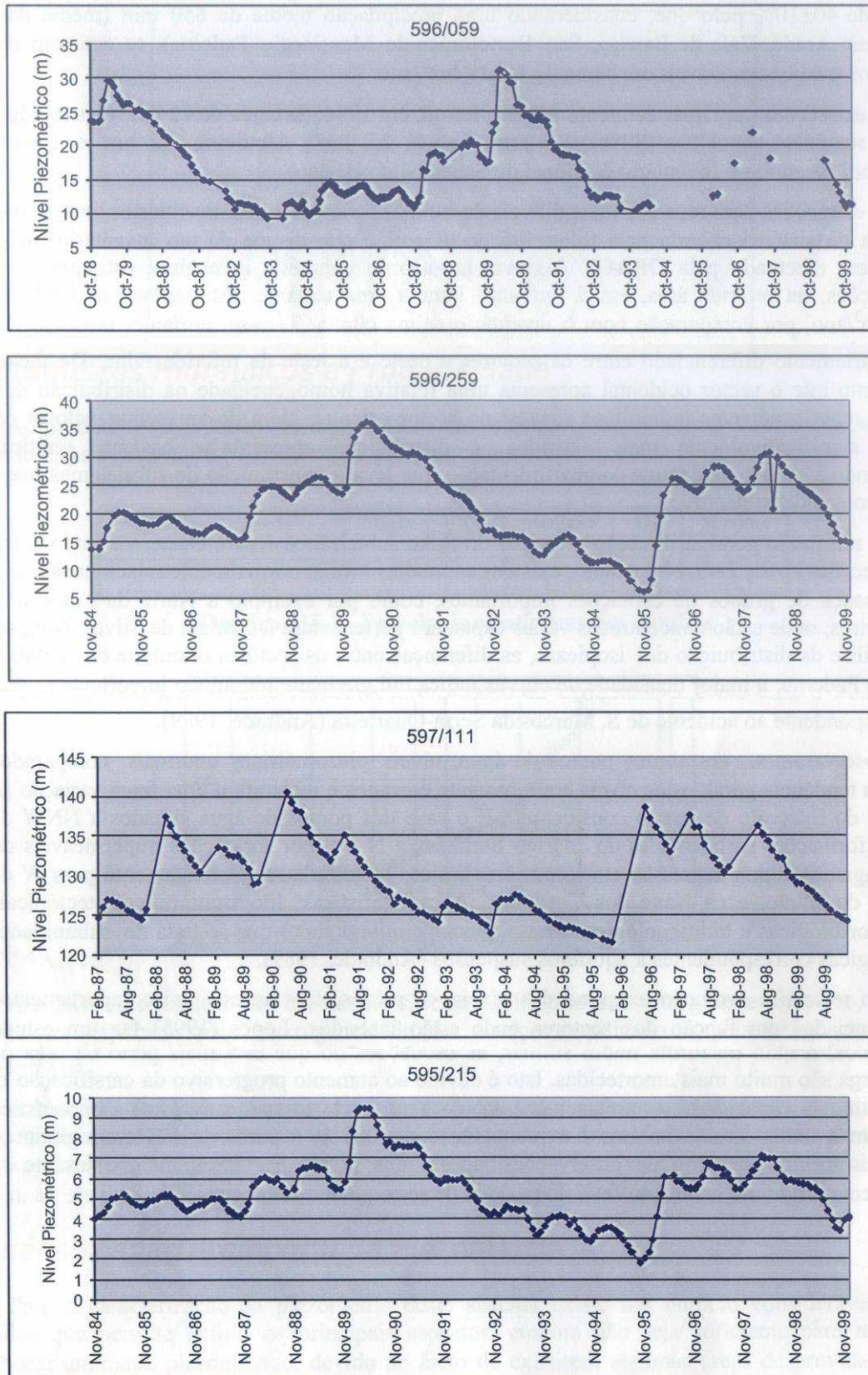


Fig. 28 – Evolução piezométrica de 4 pontos de água no sistema aquífero Querença-Silves
 Fonte: Almeida e tal. (2000)

Contudo as oscilações do piezómetro mais próximo da zona de descarga (595/215) são muito mais atenuadas, o que o autor interpreta como resultado do aumento progressivo da carsificação, e portanto da capacidade de armazenamento, no sentido do escoamento. A Fig. 28 mostra também uma recuperação dos níveis a partir de 1996, (de referir que os níveis nas áreas mais a jusante eram muito baixos no final do período de seca que terminou em 1995, ficando nalguns sectores pouco acima da cota zero e nas captações os níveis dinâmicos desceram abaixo do nível do mar). Esta recuperação após a seca de 1995 é também visível no sector Este do sistema aquífero, mantendo-se, a partir desta data, os níveis mais ou menos constantes para generalidade dos pontos monitorizados; no sector Oeste, onde os níveis piezométricos são significativamente mais baixos (com a excepção do ponto 587/19), a recuperação pós 1995 é visível em 4 dos 6 pontos monitorizados (cf. Fig. 29; http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf).

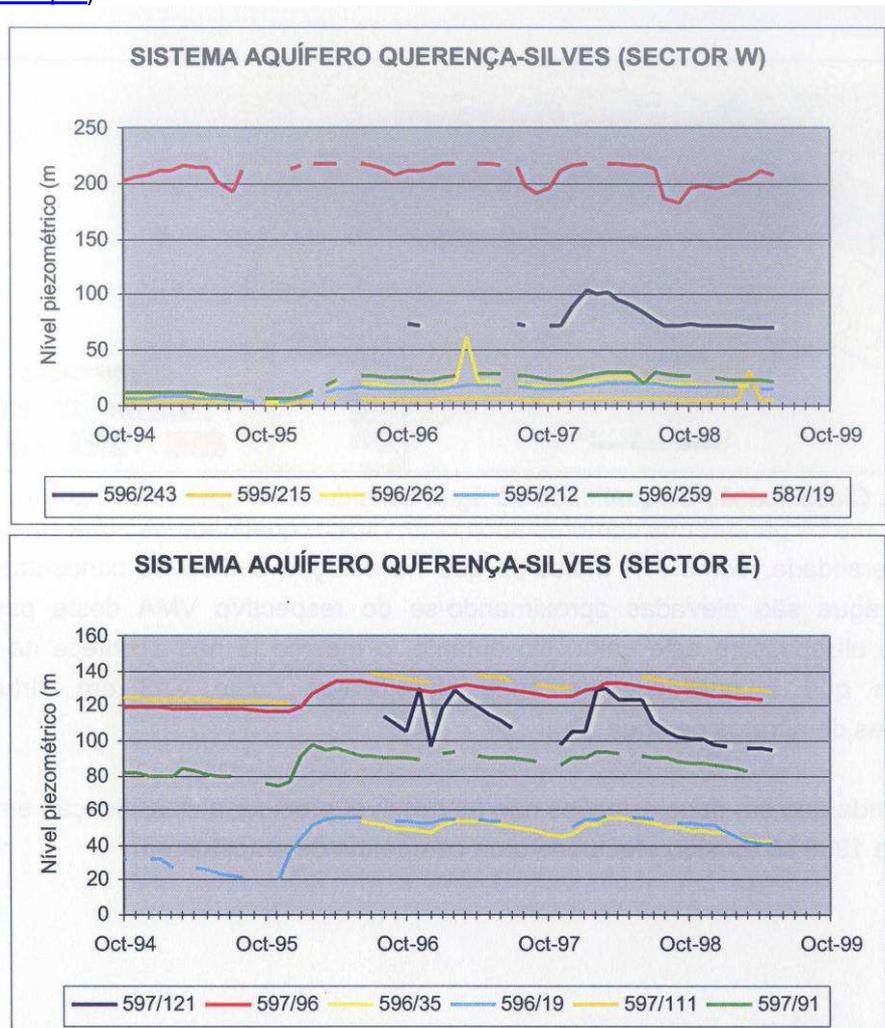


Fig. 29 – Variações da piezometria nos sectores oriental e ocidental do sistema aquífero de Querença-Silves
 Fonte: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

Mendonça e Almeida (2003) fazem também uma análise espacial e temporal da piezometria para séries até 1999, concluindo que esta evolução difere nos dois blocos de funcionamento distinto no sistema aquífero identificados pela configuração da superfície piezométrica:

1. **Oeste de Paderne** – a piezometria segue a evolução da precipitação, demonstrando a importância da recarga directa, tendo grandes amplitudes de variação, atingindo descidas de 20 m – e que podem ir até aos 30 m em alguns locais – nos períodos de seca. Isto tem como consequência a descida dos níveis nas captações para valores até muito abaixo do nível do mar.

2. **Sectores E e NE** – nalgumas regiões segue o mesmo padrão do sector ocidental mas noutras zonas (ex.: Ponte de Tôr e outros furos ao longo da ribeira do Algibre) os níveis reflectem as variações sazonais mas em vez de grandes diferenças inter-anuais, observa-se uma certa constância dos máximos e dos mínimos (embora os mínimos sigam o padrão do ano hidrológico), o que os autores atribuem ao efeito regulador da infiltração no leito da ribeira, da interacção água superficial-subterrânea e da ribeira ser um nível de base local dos escoamentos subterrâneos.

Para a situação pós-início da exploração das barragens para consumo urbano a Direcção de Serviços de Monitorização Ambiental (2003) refere que em 2003 continua a registar-se uma subida dos níveis piezométricos, apesar desta ser pouco acentuada em 2003, e inferiores às esperadas para os volumes de precipitação ocorridos.

6.1.4 Parâmetros hidráulicos

De acordo com Almeida *et al.* (2000) e http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5 são conhecidos os seguintes valores de parâmetros hidráulicos:

a) Transmissividade – em conformidade com os valores de Andrade (1989), calculados a partir de ensaios de bombagem, os valores de transmissividades para o aquífero cársico são:

- Sul de Silves – 1 006 m²/dia
- Norte de Paderne – 727 e 83 m²/dia
- Oeste de Querença – 155 m²/dia
- Norte de Purgatório – entre 1 200 e 1 700 m²/dia
- Vale da Vila – entre 3 000 e 30 000 m²/dia.

Monteiro *et al.* (2006c), Monteiro *et al.* (2007b) e Stigter *et al.* (2009) fizeram um refinamento dos valores de transmissividade, dividindo o sistema aquífero em 23 zonas de transmissividade “homogénea”, nas quais o comportamento modelado dos piezómetros permite um razoável ajustamento com os dados de campo. Os valores otimizados das transmissividades obtiveram-se fazendo correr 1000 vezes o modelo matemático em simulação inversa (Monteiro *et al.*, 2007b). Os valores obtidos variam entre 5×10^{-4} m²/s (zona 23, sector Norte do sistema aquífero; Fig. 30) e 4 m²/s (zona 1, extremo ocidental do sistema aquífero, região de Estombar e rio Arade; cf. Fig. 30), reflectindo um aumento da transmissividade em direcção a Oeste, sugerindo aumento da carsificação de norte/nordeste para oeste/sudoeste.

Reis *et al.* (2007), com base em ensaios de traçadores efectuados na região entre Vale da Vila e as nascentes de Estombar, estimaram a velocidade de fluxo neste sector do sistema aquífero em 1,26 km/dia, o que é uma velocidade elevada. Em termos médios, e para questões de simulação matemática, Lopes *et al.* (2005) definiram os seguintes valores de condutividade hidráulica: (1) sector ocidental – 50 m/d; (2) subsector central – 1 m/d; (3) subsector oriental – 0,05 m/d.

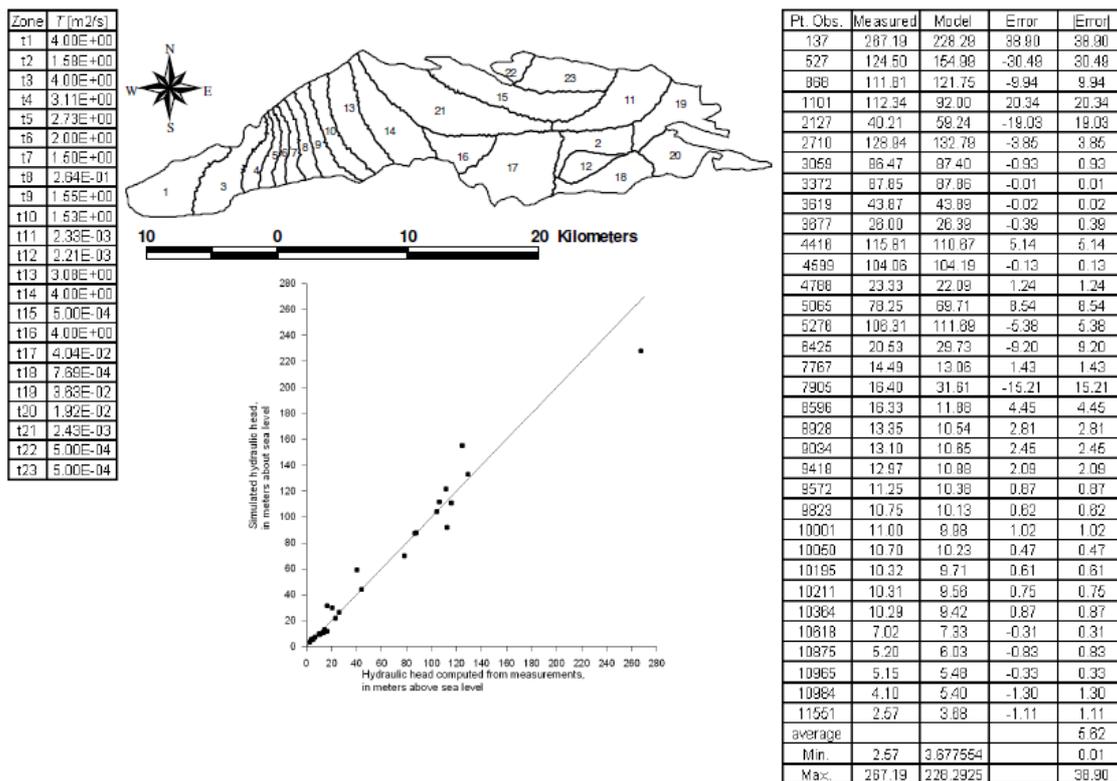


Fig. 30 – Zonamento das transmissividades no sistema aquífero Querença-Silves

Fonte: Monteiro *et al.* (2007b)

Para as pequenas unidades de comportamento poroso – formações de cobertura – Costa (1989) atribui-lhes uma permeabilidade média a baixa, o que confere com o seu comportamento geral de aquíferos.

b) Coeficiente de armazenamento – entre 5×10^{-2} (conforme a Stigter *et al.*, 2009) e 3×10^{-2} . Lopes *et al.* (2005), no seu modelo matemático, definiram o armazenamento específico em 0,0175².

c) Produtividade – são por via de regra elevadas e com uma grande dispersão espacial dos valores, explicável pela heterogeneidade típica de aquíferos em maciços carsificados com desenvolvimento significativo, a que se associa neste caso a complexidade tectónica que divide o sistema aquífero em subunidades hidrogeológicas, com áreas de afloramento e graus de carsificação variáveis. Os valores de produtividade, calculados a partir de 487 dados, são sumariados no Quadro 3.

Quadro 3 – Parâmetros estatísticos das produtividades no sistema aquífero Querença-Silves

Média (l/s)	Desv. Padrão (l/s)	Mín. (l/s)	Q ₁ (l/s)	Mediana (l/s)	Q ₃ (l/s)	Max. (l/s)
12,2	9,8	0,0	5,8	11,1	16,6	83,3

Monteiro *et al.* (2006c) refere valores de 452 l/s para o grupo de captações de Vale da Vila (Fig. 31). Reis *et al.* (2007) indicam valores médios de 500 l/s para as nascentes de Estombar; Almeida *et al.* (2000 in Mendonça e Almeida, 2003) referem para estas nascentes caudais de 239 l/s. Para o ano de seca de 2004/2005, e admitindo por aproximação que o caudal anual registado seja um valor médio, então este será da ordem dos 100 l/s (ou seja, no ano de seca de 2004/2005, o caudal foi reduzido para 1/5 do seu valor médio).

² O mesmo valor foi atribuído por estes mesmos autores para a cedência específica.

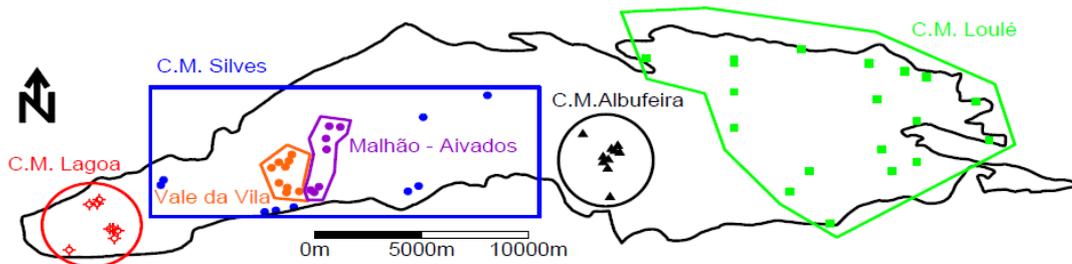


Fig. 31 – Localização das principais zonas de captação para abastecimento urbano

Fonte: Monteiro *et al.* (2006c)

Costa (1989) refere que as unidades porosas de cobertura mostram produtividades que podem ter algum interesse a nível local, nos depósitos de cobertura, podendo chegar a significativa nas aluviões.

6.1.5 Balanço hídrico

6.1.5.1 Recargas

A recarga deste sistema aquífero tem as seguintes origens (Reis *et al.*, 2007): (1) infiltração directa da precipitação nas formações carbonatadas carsificadas aflorantes; (2) infiltrações das ribeiras que atravessam o sistema aquífero (ex.: ribeira de Alte, ribeiro Meirinho e ribeira do Algibre); (3) transferência de água das regiões a montante do sistema aquífero; (4) drenância a partir das camadas semi-confinantes cenozóicas; (5) excedentes de rega; (6) excedentes de ETAR, como a de São Bartolomeu de Messines, que descarrega para o ribeiro Meirinho, o qual transporta estes excedentes para as áreas de infiltração a jusante.

A recarga não é uniforme, variando de forma muito significativa em função da espessura e natureza dos depósitos de cobertura (Monteiro, 2006b) como se pode ver na Fig. 32. As áreas de extremos de recarga (recargas muito elevadas ou muito baixas) associam-se às morfologias cársicas; assim as **áreas de recarga elevada** estão associadas a zonas de afloramento do carso, como áreas de lapiás (em especial se bem desenvolvidos) e as de **recargas muito baixas** a zonas de depressão de grandes dimensões de tipo *poldje* ou vales cegos (as chamadas “naves”), basicamente devido aos espessos depósitos de *terra rossa* (Monteiro, 2006b). O *poldje* mais extenso é a Nave do Barão (de 4 km de comprimento e 500 a 1 000 m de largura), situado no maciço dolomítico da Serra da Picavessa; este *poldje* sofre inundações periódicas que Monteiro (2006b) atribui às baixas taxas de infiltração aí verificadas.

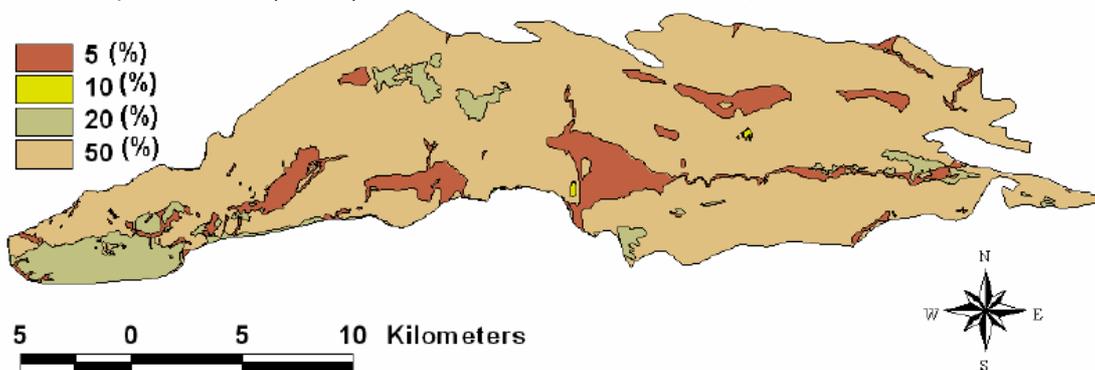


Fig. 32 – Zonas de recarga e percentagens de precipitação eficaz para o sistema aquífero Querença-Silves

Fonte: Monteiro (2006b)

Além das zonas de recarga natural devem ainda considerar-se como áreas de recarga “artificial” as zonas irrigadas (Fig. 33), as quais promovem um aumento da recarga e, não raro em sistemas semi-áridos, uma subida do nível freático, em especial se houve uma transição recente de uma ocupação do solo de vegetação natural e/ou de culturas de sequeiro, com eventuais impactos sobre a qualidade das águas (Ittersum *et al.*, 2003).

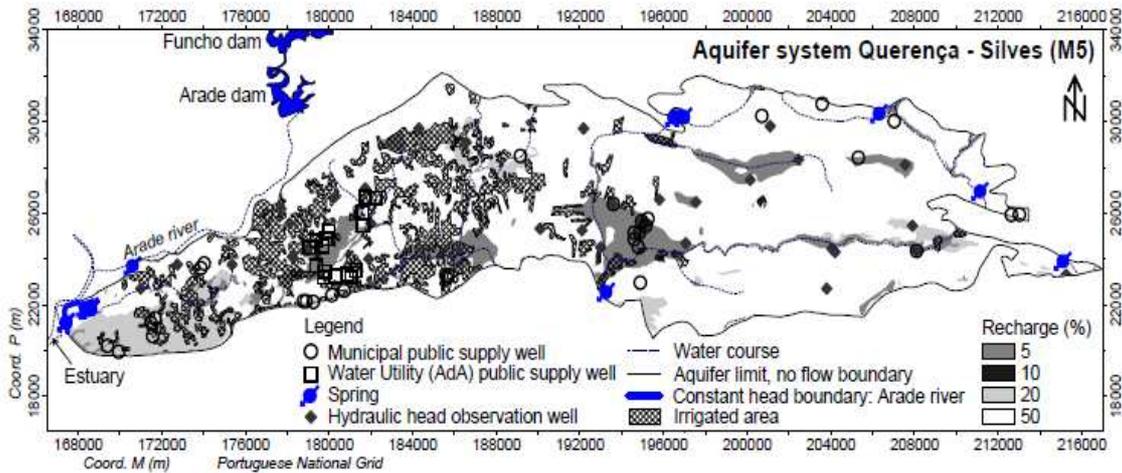


Fig. 33 – Distribuição espacial das zonas de recarga, incluindo as zonas de recarga artificial induzida pela irrigação para o sistema aquífero Querença-Silves

Fonte: Stigter e tal. (2009)

Em termos quantitativos os valores de recarga que surgem na literatura variam entre 70% da precipitação (Costa *et al.*, 1985), ou seja cerca de 395 mm/ano, 60% (Rodrigues, 1990; Almeida, 1985, pelo método de Kessler; cerca de 460 mm/ano), 30 a 50% (Almeida, 1985, pelo método dos cloretos; 195 a 330 mm/ano), $40 \pm 10\%$ ou seja valores da ordem dos 260 ± 65 mm/ano (Almeida *et al.*, 2000; http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5) e 43% (Monteiro *et al.*, 2007a; Monteiro *et al.*, 2006b; Monteiro, 2006b; Monteiro 2010), ou seja, valores da ordem dos 285 mm/ano. Note-se que, pela contabilização das descargas Costa (1983, *in* Almeida *et al.*, 2000) indicava valores de recarga média de 577 mm/ano, valor considerado excessivo não apenas por Almeida *et al.* (2000) mas também se for comparado com os demais valores da literatura acima citada.

Considerando a área do aquífero tem-se os seguintes valores de recarga:

1. 145 a 150 x 10⁶ m³/ano, de acordo com os valores de Costa *et al.* (1985), valor considerado excessivo dado que este autor admite percentagens de infiltração muito superiores às normalmente ocorrentes na região mediterrânica;
2. 70 ± 17 hm³/ano, valor calculado para uma área de 317 km², dos quais 47 km² estão cobertos por depósitos impermeáveis ou pouco permeáveis (Almeida *et al.*, 2000; http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5);
3. 93×10^6 m³/ano, considerando uma área de aquífero de 324 km², e realizando um zonamento dos valores da recarga em função dos diferentes tipos de terrenos aflorantes (Fig. 32); as estimativas da recarga são feitas por métodos diferentes para as áreas cobertas e para as áreas de afloramento dos calcários (Monteiro *et al.*, 2007a; Monteiro *et al.*, 2006b; Monteiro 2006b; Monteiro 2010).
4. 82 ± 17 hm³/ano, segundo Reis *et al.* (2007), dos quais 12 hm³/ano correspondem a recarga a partir das linhas de água e 70 ± 17 hm³/ano à recarga directa.

Os valores de infiltração das ribeiras monitorizadas por Reis *et al.* (2007) permitem quantificar, ainda que parcialmente, a componente de recarga por infiltração nas linhas de água, em alguns sectores/subunidades) do sistema aquífero, conforme se mostra no Quadro 4.

Quadro 4 – Recargas por infiltração nas linhas de água em 3 subunidades do sistema aquífero Querença-Silves

Subunidade	Ribeiras	2005, entre Janeiro e Setembro	2005/2006
Alte	Meirinho	0 m ³ (1)	94 200 m ³ (1)
	Quinta do Freixo	17 450 m ³ (2)	152 300 m ³ (2)
Benémola	Rio Seco + Salgada	73 600 m ³ (2)	5 856 500 m ³ (2a)
Tôr	Algibre	800 000 m ³ (2)	11 956 000 m ³ (2)

(1) Corresponde às diferenças de caudais entre as estações de São Bartolomeu de Messines e Ponte da Mesquita; sitas na entrada e na saída do aquífero, ou seja esta diferença equivale à recarga do aquífero por contribuição da ribeira; por mor destes valores é considerado que a infiltração nesta ribeira é pouco significativa para a recarga do aquífero; (2) Valores considerados como de recarga devidos a esta ribeira; (2a) Valores apenas para Rio Seco

6.1.5.2 Descargas

As descargas fazem-se pelas (1) nascentes, algumas delas sitas nas linhas de água e (2) pelas extracções por furos e poços. De acordo com http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?Aquif=M5 as saídas conhecidas contabilizam 45 hm³/ano.

Almeida *et al.* (2000) contabilizou o **caudal total das nascentes** deste aquífero em 21 hm³/ano, referindo que Costa (1983), para o ano de 1980/81, calculou os caudais escoados por várias nascentes no limite ocidental do sistema aquífero em 5 813 m³/s (ou seja, mais de 183 hm³/ano). Embora a extrapolação deste valor para o cálculo da recarga – que seria assim de 577 mm/ano – dê valores considerados exagerados por Almeida *et al.* (2000), por serem superiores ao da precipitação do ano hidrológico de 1980/81, sugere que existem reservas bastantes no sistema para abastecer as nascentes com caudais superiores aos que seriam fornecidos pela chuva em períodos de maior seca.

Reis *et al.* (2007) apresentam os seguintes valores de caudais de nascentes (Quadro 5) para um período de seca (2005) e pós seca (2005/2006):

Quadro 5 – Caudais de algumas nascentes do sistema aquífero de Querença-Silves

Nascente	2005	2005/2006
Arrochela	287 000 m ³ entre Março e Setembro	500 000 m ³
Paderne	60 000 m ³ entre Janeiro e Setembro	343 200 m ³
Estômbar	3 200 000 m ³ (ano de seca 2004/2005)	--

Relativamente às **extracções**, Almeida *et al.* (2000), com base no Inventário Nacional de Saneamento Básico, determinaram para 1994 um total de 12 hm³ para **abastecimento público**. Este autor estima as **extracções para rega** em 11,5 hm³/ano, com base no inventário da DRAOT Algarve mas cita os valores obtidos por Andrade (1989) – que usou o método das dotações para rega – que são de 17,1 hm³/ano (cerca 6 000 m³/ha.ano), para uma área regada total de 2 850 ha (28,5 km²; corresponde a 9% da área dos calcários do Jurássico Inferior e Médio). Assim sendo os **volumes totais de extracção** são da ordem dos 23,5 hm³/ano.

Monteiro *et al.* (2007b) calcularam as extracções para **abastecimento urbano**, para o período de seca de 2004-2005 – quando a exploração do aquífero foi a mais intensa de todo o período

histórico da sua exploração – e apenas para os sistemas municipais, em 10,4 hm³/ano, embora Monteiro *et al.* (2006c) contabilize estes valores em 12,25 hm³/ano⁽³⁾. Quando contabilizam o sistema urbano municipal com o sistema de condutas regionais (14,25 hm³/ano) o abastecimento urbano atinge os 26,5 hm³/ano, valor consideravelmente superior ao definido em Almeida *et al.* (2000). Lopes *et al.* (2005) considera valores de extracções para abastecimento público – rede camarária – referidos a 2005, de 42,5 hm³/ano.

Nas **extracções para rega**, Monteiro (2006b; 2010) e Monteiro *et al.* (2006c) admitem valores de 23,79 hm³/ano para uma área regada de 39,66 km², o que equivale a uma dotação de rega de 600 mm/ano. Contudo, para o ano de 2004-2005, Nunes *et al.* (2006) e Monteiro *et al.* (2007b) consideram valores de 31,24 hm³/ano mas Lopes *et al.* (2005) considera valores de extracções para a agricultura da ordem de 47 hm³/ano. Se se considerarem os dados de Nunes *et al.* (2006) e Monteiro *et al.* (2007b), somando o abastecimento urbano (26,5 hm³/ano) e a rega os **volumes totais de extracção** para este período de seca variam entre 50,29 e 57,7 hm³/ano (Monteiro *et al.*, 2007b; Monteiro *et al.*, 2006c).

De acordo com Reis *et al.* (2007), as extracções de água subterrânea neste aquífero são sobretudo para o consumo agrícola, sendo o consumo doméstico significativamente inferior, embora os valores acima demonstrem um relativo paralelismo entre os dois tipos de consumos. Estes autores usaram dois métodos para a determinação das extracções: o método do cálculo das áreas regadas e o método da determinação dos volumes de água licenciados (conforme a Santos, 2006). No método das áreas regadas consideraram, além dos terrenos agrícolas regados, as casas e jardins, atribuindo uma dotação de 150 m³/ano para as habitações e 3 500 m³/ha.ano para os jardins e piscinas. O método dos volumes licenciados tem a limitação de que os dados apresentados por estes autores se referem apenas ao período de Julho de 2004 a Novembro de 2006. Os valores calculados por Reis *et al.* (2007) apresentam-se no Quadro 6.

Quadro 6 – Extracções para diferentes tipos de consumos no sistema aquífero de Querença-Silves

Usos	Extracções (hm ³ /ano)	
	Método da dotação de áreas regadas	Método dos volumes de água licenciados
Rega	28	2,2
Casa, jardim, piscina	1,3	--
Jardim, piscina	--	0,05
Consumo humano	--	0,01
Total	29,3	2,3

O método da dotação de águas regadas aproxima-se dos valores obtidos por Nunes *et al.* (2006) mas não permite determinar os consumos humanos (urbanos) ao passo que o método dos volumes licenciados apresenta valores claramente inferiores aos que deverão constituir a realidade. Para ultrapassar os problemas normalmente associados com a determinação dos volumes de extracção, em especial os consumos agrícolas, Nunes *et al.* (2006) apresentam metodologias para a quantificação dos consumos, com base em sistemas de informação geográfica e o processamento da informação obtida a partir da detecção remota.

³ Note-se que Monteiro (2006b) refere que para o período anterior à entrada em funcionamento das barragens para abastecimento urbano, as extracções para consumo urbano eram de 12 hm³/ano.

6.1.5.3 Balanço hídrico

Reis *et al.* (2007) apresentam o seguinte balanço hídrico (Quadro 7), o qual não é contudo o mais exacto porque, de acordo com os autores: (1) consideraram-se apenas as nascentes de Estombar; (2) os volumes de infiltração nas linhas de água e descargas das nascentes referem-se apenas ao ano hidrológico de 2005/2006⁴; (3) há elevada incerteza na **recarga directa** devido à grande complexidade hidrogeológica do sistema: (4) a **recarga a partir das linhas de água** é incompleta porque não foram monitorizadas todas as linhas de água.

Quadro 7 – Balanço hídrico para o sistema aquífero de Querença-Silves, segundo Reis *et al.* (2007)

Entradas (hm³/ano)	Recarga directa	70 ± 17
	Recarga via linhas de água	12
Saídas (hm³/ano)	Captações particulares	30
	Abastecimento público	22
	Nascentes (1)	16
Entradas – Saídas (hm³/ano)		14 ± 17

(1) Apenas nascentes de Estombar, considerando um caudal médio de 500 l/s.

Reis *et al.* (2007) afirmam que no ano de 2004/2005 (quando se atingiram os valores mínimos de níveis piezométricos e caudais de nascentes desde 1980, ano de início das medições) o aquífero não entrou em sobreexploração e portanto as entradas são superiores às saídas. Mendonça e Almeida (2003) referem que, ao analisar a relação recargas/extracções e a variação interanual das piezometrias, as variações plurianuais da recarga se sobrepõem às variações dos níveis induzidas pelas captações.

Para os valores de recarga e de descargas de Almeida *et al.* (2000), Monteiro (2006a)⁵, e Monteiro *et al.* (2006b), em condições climatológicas médias, o balanço hídrico é (Quadro 8):

Quadro 8 – Balanços hídricos para o sistema aquífero de Querença-Silves, com base nos valores de recargas e extracções de Almeida *et al.* (2000), Monteiro (2006b) e Monteiro *et al.* (2006b)

	Almeida <i>et al.</i> (2000)	Monteiro (2006a)	Monteiro <i>et al.</i> (2006b)
Recarga (hm ³ /ano)	70 ± 17	93	93
Nascentes (hm ³ /ano)	21	--	21 (1)
Extracções (hm ³ /ano)	23,5	25	35,79
Extracções/Recarga (%)	33,6	26,9	38,5
Balanço Hídrico (hm³/ano)	25,5 ± 17	68	36,21

(1) Não tendo este autor apresentado valores dos volumes anuais de descarga de nascentes nos artigos citados, optou-se por atribuir o mesmo valor de Almeida *et al.* (2000).

De referir que se se admitir um valor médio de precipitação de 270 mm para o ano de 2004/2005 – de acordo com os dados de SNIR para algumas estações na área deste sistema aquífero – então a recarga teria um valor da ordem dos 40 hm³. Considerando os valores de extracções referidos por Monteiro *et al.* (2007b) para esse ano, que são da ordem dos 52,7 hm³ então a situação será bastante diferente da referida por Reis *et al.* (2007) e ter-se-á entrado numa situação de sobreexploração. Contudo Monteiro *et al.* (2006b) refere que não ocorreram indícios de intrusão salina nem mesmo no período de 2004/2005 onde a exploração dos recursos foi particularmente intensa (chegando a caudais instantâneos de 500 l/s).

⁴ A ribeira do Algibre – a que tem uma contribuição mais significativa para a recarga do aquífero – apresenta valores de escoamento muito variáveis de ano para ano.

⁵ Reporta-se ao período anterior a 2003.

Lopes *et al.* (2005) fizeram o estudo da simulação das condições piezométricas do sistema aquífero em condições de seca⁶ para: (1) não extracções (Fig. 34); (2) extracções de 42,5 hm³/ano (Fig. 35); (3) aumento das extracções, com a entrada em funcionamento do conjunto de captações de Benaciate (Fig. 36).

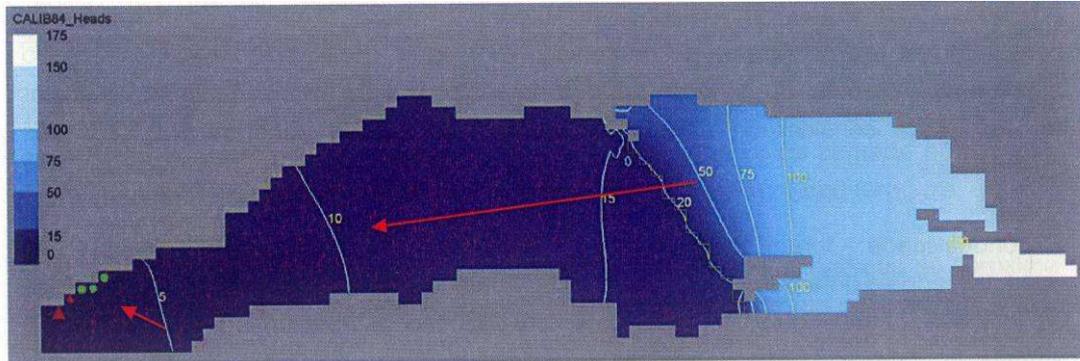


Fig. 34 – Superfície piezométrica do sistema aquífero Querença-Silves em condições de não extracção
 Fonte: Lopes *et al.* (2005)

Destas simulações resulta que há alguma independência do sector Este face à zona central e subsector ocidental, verificando-se uma redução significativa dos níveis piezométricos no sector ocidental, com rebaixamentos abaixo de 0 m na zona central do sector Oeste e o consequente afluxo de águas do rio Arade para o aquífero, ao fim do 1º ano de seca; ao fim do 2º ano os rebaixamentos são muito superiores, estando abaixo do nível do mar na maior parte do sistema aquífero até à zona de Alte-Paderne (*cf.* Fig. 35). O aumento das extracções acarreta um aumento dos rebaixamentos e da área com cotas piezométricas abaixo do nível do mar, aumentando o risco de salinização por indução de fluxo do rio Arade para o aquífero.

Note-se que, sendo o sector de jusante do aquífero o mais transmissivo e o mais produtivo, e estando a maioria dos furos localizada próxima da fronteira mais problemática do sistema (Fig. 37) – rio Arade e suas águas salobras (Mendonça e Almeida, 2003 – esta situação pode favorecer condições de inversão de fluxo do rio Arade para o interior do aquífero e promover a degradação da qualidade das águas em períodos de grande seca.

⁶ Condições de referência aos anos de 2004/2005.

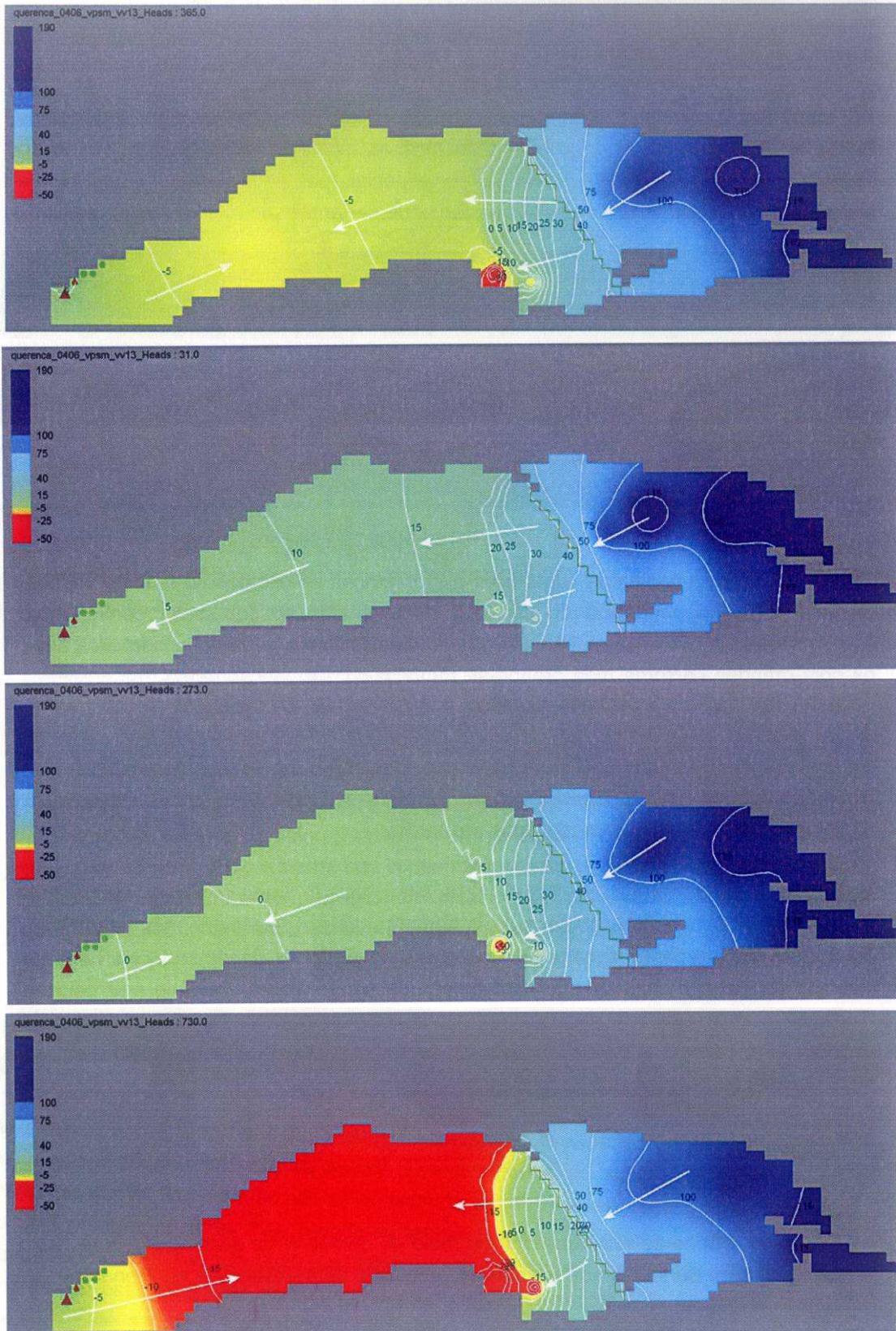


Fig. 35 – Superfície piezométrica do sistema aquífero Querença-Silves em condições de extracção actuais a 1 (topo), 9 (centro topo), 12 (centro base) e 24 meses (base) em regime de seca
 Fonte: Lopes *et al.* (2005)

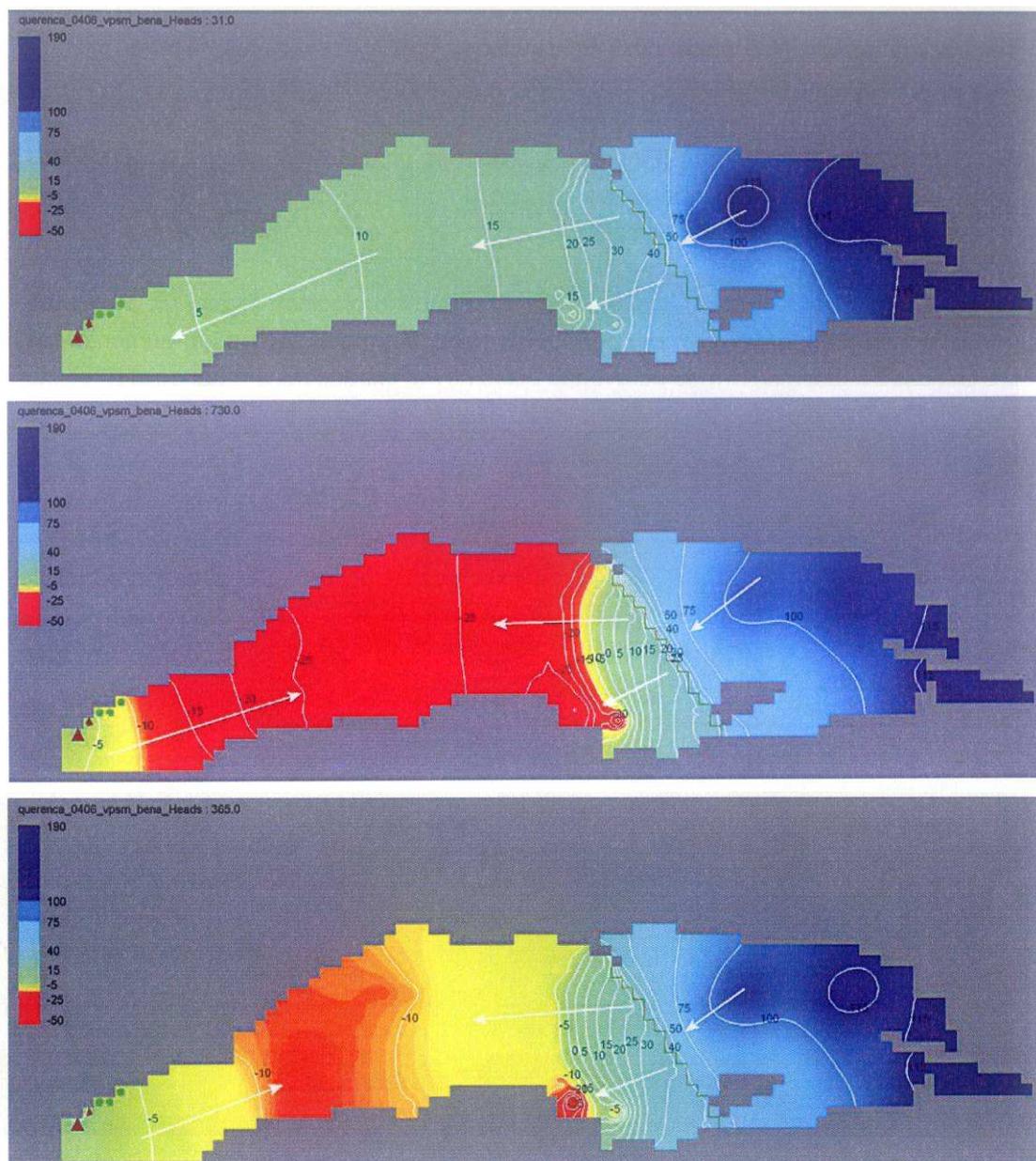


Fig. 36 – Superfície piezométrica do sistema aquífero Querença-Silves em condições de extracção com novas áreas de exploração/caudais aumentados a 1 mês (topo), 1 ano (centro) e 2 anos (base) em regime de seca

Fonte: Lopes *et al.* (2005)

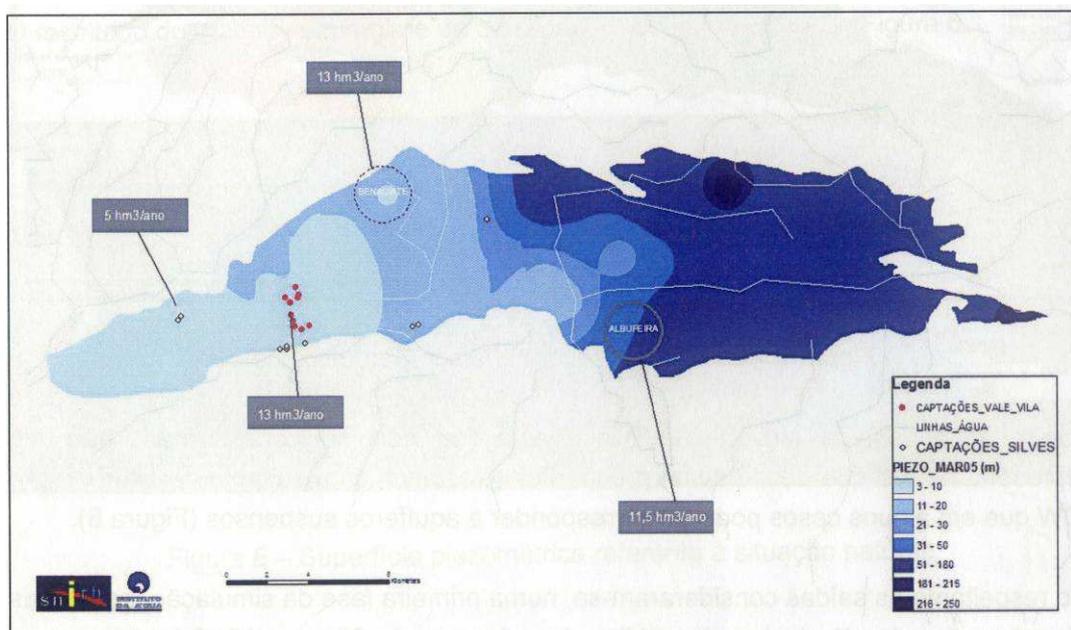


Fig. 37 – Localização das principais zonas de exploração de água para abastecimento doméstico e piezometria considerando apenas estas captações

Fonte: Lopes *et al.* (2005)

6.1.6 Funcionamento do sistema aquífero

Sistema aquífero cársico, livre a confinado, de pequena inércia e geometria complexa, sendo que Lopes *et al.* (2005) admitem para este sistema aquífero uma cota de base de – 200 m. Está dividido em blocos – definidos pelos acidentes estruturais – com comportamento hidráulico semi-independente (subsistemas de Alte, Salir, Fonte Benémola, Fonte Filipe, Tôr-Silves, Paderne, Alcantarilha) que são drenados por nascentes importantes, algumas destas as mais importantes do Algarve Central. A principal zona de descarga do aquífero situa-se a ocidente, na zona do rio Arade, correspondendo às nascentes de Estombar.

A ligação hidráulica entre estes diferentes subsistemas faz-se não apenas no meio subterrâneo mas tem também uma importante componente de transferência de águas através das ribeiras. Além da ligação entre os subsistemas aquíferos, estabelecem-se também relações hidráulicas com os terrenos envolventes do sistema aquífero, funcionando este como receptor das águas vindas de montante (ex.: escoamento superficial dos terrenos paleozóicos) trazidas pelas ribeiras que entram nas áreas de afloramento dos diferentes subsistemas. A descarga destas águas para os subsistemas aquíferos faz-se nos troços onde estas ribeiras têm carácter influente. De acordo com Mendonça e Almeida (2003) as ribeiras são influentes ao longo de pequenos troços e a superfície freática está, em regra muito abaixo do leito das ribeiras. Esta ausência de intersecção hidráulica com a superfície está também expressa pela ausência de zonas húmidas importantes.

As ligações hidráulicas ente os diferentes subsistemas podem assim descrever-se:

- 1.O **subsistema de Alte**, recarregado pela ribeira de Quinta do Freixo com águas de terrenos paleozóicos, descarrega para a ribeira de Alte, que transfere estas águas para o **subsistema de Tôr-Silves**. A ribeira de Alte transfere águas dos terrenos paleozóicos para o subsistema de Alte e a jusante recebe as descargas deste mesmo subsistema, transferindo-as a jusante para o de Tôr-Silves. Esta ribeira encontra-se com a de Alcantarilha a montante de Paderne.

2. O **subsistema de Salir** recebe recarga dos terrenos paleozóicos via ribeira dos Moinhos e descarrega a jusante para esta mesma ribeira, que vai transferir as águas presume-se que para o **subsistema de Fonte Benémola**.
3. O **subsistema de Fonte Benémola** recebe recarga dos terrenos paleozóicos via ribeiras da Salgada e rio Seco e recarga do subsistema de Salir. A sua descarga faz-se na ribeira da Menalva via Fonte Benémola.
4. A ribeira do Algibre transfere as águas descarregadas dos **subsistemas de Salir, Fonte Benémola e Fonte Filipe** (via ribeiras da Menalva e Mercês) para o **subsistema de Tôr-Silves**; ao longo deste subsistema a ribeira é influente nalgumas zonas e efluente noutras mas funciona sobretudo como influente nos períodos de seca.
5. O **subsistema de Tôr-Silves** é assim alimentado por todos os subsistemas acima referidos e também a ribeira de Quarteira, que o atravessa no seu sector de jusante. Esta ribeira tem troços influentes e troços efluentes, sendo que no seu troço jusante é influente, com importantes sumidouros em Lentiscais e Cabanita, embora alguns destes sumidouros só funcionam episodicamente, quando a ribeira sai do seu leito http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf, o que indica a existência de zonas de infiltração preferencial não apenas no leito mas também na zona de inundação desta ribeira.
6. Admite-se que ribeira de Quarteira receba também contribuições do **subsistema de Paderne**. As ligações hidráulicas entre o sistema aquífero principal e este subsistema são mal conhecidas. Este subsistema relaciona-se sobretudo com os calcários do Jurássico superior (http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf).

Através da ribeira de Quarteira faz-se a ligação hidráulica entre o sistema aquífero de Querença-Silves e os sistemas, sitos a jusante, de Albufeira-Ribeira de Quarteira e de Quarteira, por transferência de águas da ribeira para estes aquíferos, nas áreas onde esta seja influente. Há deste modo uma ligação hidráulica complexa, com zonas de circulação em meio subterrâneo e alternando com zonas de circulação em meio superficial, entre as águas da Serra Algarvia, o sistema aquífero Querença-Silves e os sistemas aquíferos que lhe ficam a jusante. Há também, como se verá, uma relação hidráulica indirecta com o mar, através do Rio Arade.

Assim, como definido em Monteiro *et al.* (2007b), tem-se: (1) **um sector a montante do sistema aquífero** onde dominam os processos de escoamento superficial, e cuja água atingirá o sistema aquífero e o alimentará; (2) um sector correspondendo à maior parte da **área do sistema aquífero**, onde o escoamento superficial é reduzido pois existem altas taxas de infiltração e o fluxo nas ribeiras é controlado pelas relações hidráulicas que se estabelecem com o aquífero ao longo dos seus diferentes troços, com zonas influentes e efluentes; (3) um **sector de jusante** onde as ribeiras podem estabelecer relações hidráulicas com os sistemas aquíferos de jusante.

Em termos de circulação subterrânea podem definir-se dois grandes sectores, delimitados pelo acidente tectónico de S. Marcos da Serra-Quarteira, que parece funcionar como barreira de baixa permeabilidade:

1. **Ocidental** – onde se situa a região de Estombar, cujas nascentes constituem a principal área de descarga de todo o sistema aquífero. Tem gradiente hidráulico suave e relativa homogeneidade na distribuição das piezometrias, que são inferiores às do sector oriental, sugerindo uma carsificação mais intensa em relação a este sector. A oeste de Paderne há em regra maior permeabilidade horizontal. A maior carsificação explicaria a tendência para as transmissividades serem mais elevadas neste sector.
2. **Oriental** – onde se localizam os subsistemas de Alte, Salir, Fonte Benémola, Fonte Filipe, Paderne, etc. As piezometrias são mais elevadas e de distribuição mui errática, sugerindo compartimentação que explicaria a presença de subsistemas semi-independentes. Para

NE de Paderne o gradiente hidráulico regional é importante (ordem de grandeza 10x superior ao do sector Oeste). As transmissividades tendem em média a ser mais baixas em todo este sector, havendo uma baixa permeabilidade horizontal das formações.

A conexão hidráulica entre os sectores Este e Oeste é complexa, dificultando o cálculo das transferências de água entre estes dois sectores. O fluxo subterrâneo tem direcção regional para Oeste (Fig. 27 e Fig. 34), embora com anomalias locais, relacionadas com a presença de grupos de captações importantes e aquíferos suspensos (em regra valores anormalmente elevados e de fraca variação temporal) como é o caso da zona a NNW de Alte, sita numa depressão de formações liásicas. Refira-se que nos diferentes sectores ocorre a sobreposição entre fluxos concentrados – por condutas – e fluxos difusos (Monteiro *et al.*, 2006c). Embora o fluxo regional seja para Oeste, há contudo variações entre os dois sectores do sistema aquífero (*cf.* Fig. 38):

1. **Ocidental** – direcção dominante de fluxo NE-SW; o fluxo é condicionado por um conjunto de nascentes na área do rio Arade (ex.: Fontes de Estombar).
2. **Oriental** – zona de maior dispersão das direcções de fluxo, talvez devido à maior compartimentação e heterogeneidade do sistema. Tem fluxo geral para W mas regista também fluxos: (1) para S e SW a partir do seu limite Norte; (2) de E para W junto do seu limite Sul (região a E de Paderne e toda a zona central de Algoz); (3) de W para E no sector Sul, locais e subordinados ao fluxo regional para W, na subunidade de Fonte Filipe e associados a outras pequenas nascentes no bordo E do sistema aquífero.

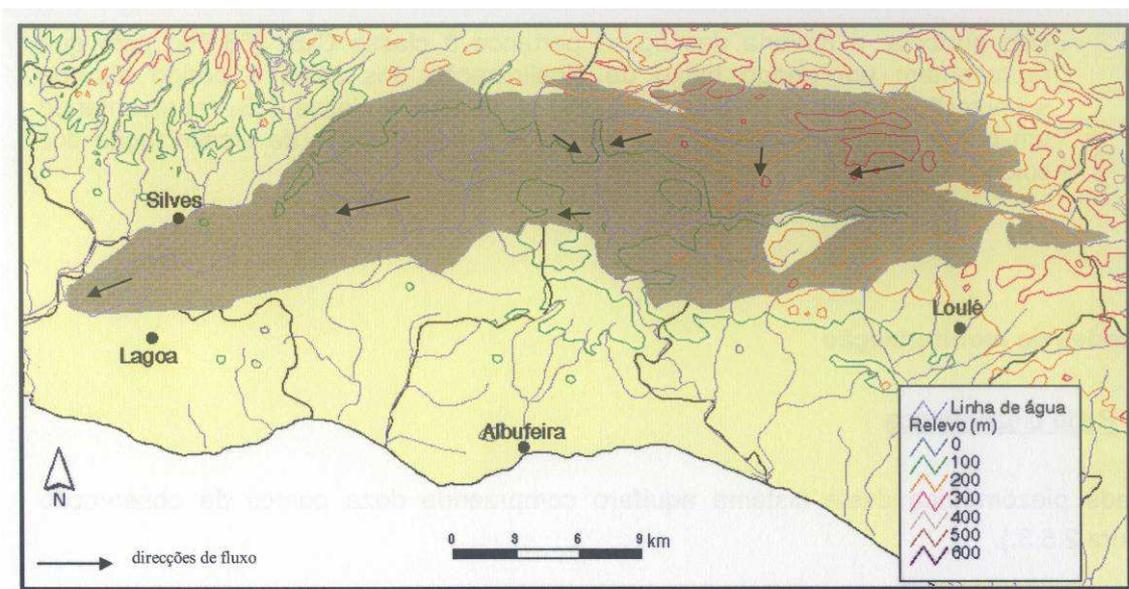


Fig. 38 – Sentidos do fluxo do sistema aquífero Querença-Silves

Fonte: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

O controle das condutas cársicas na circulação das águas foi expresso nos ensaios de traçadores de Reis *et al.* (2007), realizados entre Aivados, Fontes, a zona de captações de Vale da Vila e as nascentes de Estombar (Fig. 39), com vista à detecção de eventuais conexões hidráulicas entre estas regiões. Os ensaios demonstraram que apenas existe conexão hidráulica entre o local de injeção (sito entre Aivados e Fontes; furo 595/212) e a nascente de Estombar de cota mais baixa, não havendo ligação nem com as restantes nascentes nem com a zona intermédia onde se situam os furos 2D e 3A (Fig. 39). Este comportamento, típico de aquíferos cársicos, expressa a existência de diferentes condutas com funcionamentos independentes, algumas delas ligando uma das nascentes de Estombar ao local de injeção, ao passo que os furos 2D e 3A serão alimentados por uma rede cársica totalmente independente, o mesmo

sucedendo para as restantes nascentes de Estombar. As altas velocidades de fluxo registadas sugerem uma carsificação desenvolvida entre o sector de injeção e a nascente de Estombar. Assim, é de admitir uma carsificação elevada, muito hierarquizada, com redes distintas – e portanto padrões complexos de fluxo – que unem diferentes pontos de recarga e descarga no sector ocidental do sistema aquífero.

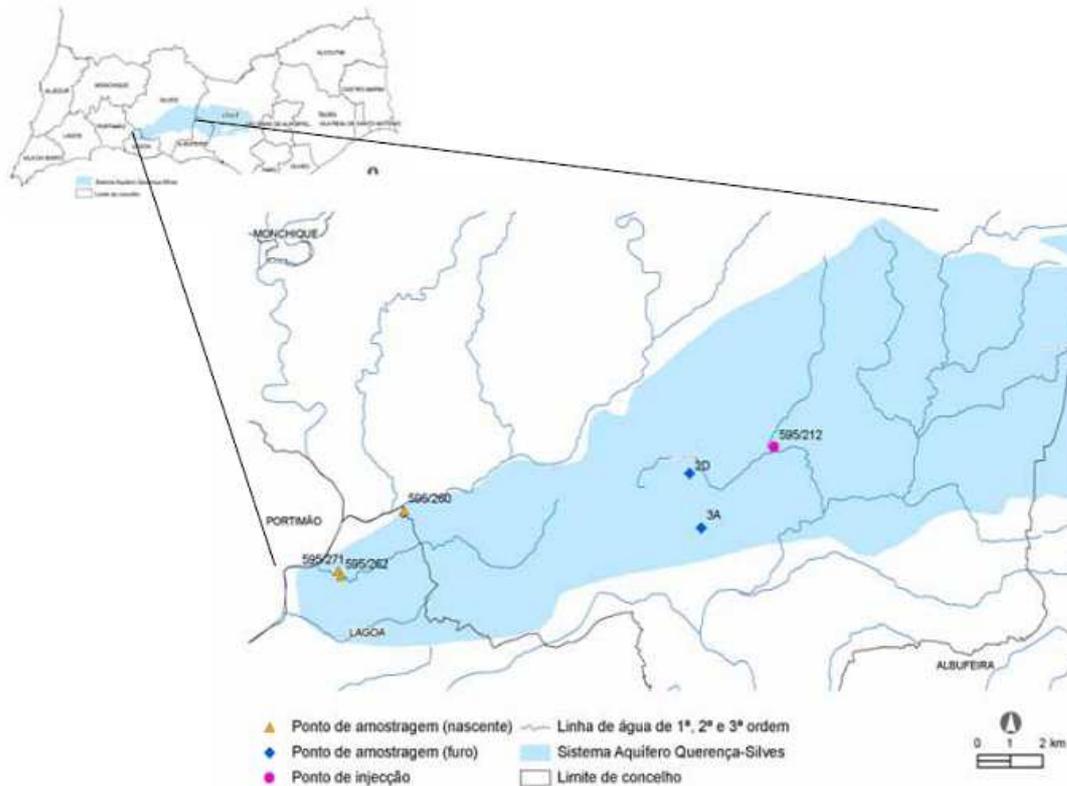


Fig. 39 – Localização dos pontos de injeção e de amostragem do ensaio de traçadores

A variação temporal da piezometria, embora possa apresentar paralelismos de evolução, tende a ter diferenças de amplitude para diferentes sectores do sistema aquífero, o que revela regiões de oscilação mais atenuada e zonas de oscilação acentuada (a sua amplitude depende das características intrínsecas da zona). Pode também, contudo, apresentar variações não apenas na amplitude mas nas tendências de resposta do sistema às variações interanuais e sazonais, seguindo a divisão geral do sistema aquífero em dois sectores:

1. **Oeste de Paderne** – a piezometria segue a evolução da precipitação, indicando a importância da recarga directa no seu controle, e as variações são elevadas, com grandes descidas nos períodos de seca, podendo ocorrer descidas dos níveis dinâmicos até abaixo do nível do mar nas épocas de seca extrema (Mendonça e Almeida, 2003), o que se conforma a um aquífero de carsificação desenvolvida. Além destes controles, e de acordo com Lopes *et al.* (2005), a piezometria é também fortemente influenciada pelas várias captações (e seus caudais elevados), principalmente nos meses de Verão.
2. **Sectores E e NE** – segue nalgumas zonas o padrão do sector ocidental mas em zonas como a ribeira do Algibre, embora se verifiquem variações sazonais, as variações interanuais são atenuadas, devido ao efeito regulador da leito da ribeira, da interacção água superficial/subterrânea e da ribeira ser um nível de base local dos escoamentos subterrâneos Mendonça e Almeida (2003). Contudo, Lopes (1995), ao comparar um ponto no sector Este com um ponto no sector Oeste refere um comportamento de variação

interanual mais atenuado no ponto do sector Oeste⁷, que interpreta como resultante do aumento progressivo da carsificação e capacidade de armazenamento no sentido do escoamento. Lopes *et al.* (2005) afirma que os níveis piezométricos variam muito pouco e que são controlados sobretudo pelas variações na recarga.

O padrão regional das piezometrias pode sugerir uma continuidade de fluxo entre os sectores oriental e ocidental, e também entre os subsectores Norte e Sul do sector oriental, mas este padrão pode também ser explicado por uma conexão hidráulica eficaz com o sector ocidental apenas por parte do subsector sul do sector oriental (Fig. 27).

A recuperação dos níveis piezométricos após os grandes períodos de seca é observada em ambos os sectores do sistema aquífero, demonstrando uma muito forte sazonalidade da recarga e um desequilíbrio entre a recarga e a descarga, com o aumento do armazenamento na época húmida (de recuperação dos níveis) e decréscimo contínuo ao longo do período de seca (Mendonça e Almeida, 2003). Esta variação é acentuada – 10 até 30 m – no sector ocidental (Mendonça e Almeida, 2003) onde, no final do período de seca de os níveis piezométricos eram os mais baixos, o que pode reflectir uma maior transmissividade e consequente descarga do sistema neste sector. Esta grande variação de níveis é reflectida pela grande variação dos caudais das nascentes. A variabilidade temporal das produtividades reflecte assim a resposta do sistema aos períodos prolongados de seca, na busca de equilíbrio dinâmico entre as respectivas entradas e descargas. Deve referir-se ainda que ocorreu uma subida dos níveis após o início da exploração das barragens e suspensão das captações subterrâneas (antes da seca que terminou em 2005), o que indica uma capacidade significativa de recuperação do aquífero.

O sistema aquífero tem grande variabilidade espacial de transmissividades e de produtividades. Esta heterogeneidade é típica de aquíferos cársicos com carsificação significativa, e neste caso incrementada pela complexidade estrutural e divisão do sistema em subsistemas com graus de carsificação variáveis. As zonas de transmissividades mais elevadas ocorrem em Vale da Vila (Centro-SW do sistema), N de Purgatório e S de Silves, ou seja nas zonas de jusante do aquífero. As zonas menos transmissivas surgem em W de Querença e N de Paderne. A modelação de Monteiro *et al.* (2006c), Monteiro *et al.* (2007b) e Stigter *et al.* (2009) divide o sistema aquífero em 23 zonas com transmissividades uniformes, com as menos transmissivas situadas a N (zona de Alte e até quase Salir) e no bordo S, a E das captações da CM Albufeira; a zona mais transmissiva é o extremo W, na zona do Arade/Estombar, havendo uma progressão genérica do aumento das transmissividades de E para W ao longo do sistema aquífero (em especial no sector ocidental).

A recarga deste sistema aquífero faz-se por: (1) infiltração directa da precipitação nas formações carbonatadas carsificadas aflorantes; (2) infiltrações das ribeiras que atravessam o sistema aquífero, transferindo assim água de outros sectores sitos a montante; (3) transferência de água, via ribeiras, das regiões a montante do sistema aquífero (nos sectores da bordadura N e E do sistema); (4) drenância a partir das camadas semi-confinantes cenozóicas; (5) excedentes de rega; (6) excedentes de ETAR, como a de São Bartolomeu de Messines, que descarrega para o ribeiro Meirinho, o qual transporta estes excedentes para as áreas de infiltração a jusante.

A recarga é muito variável ao longo do aquífero, centrando-se nas zonas de lapiás e de depressões cársicas (poldjes, lapiás, dolinas), estando dependente da espessura e natureza dos depósitos de cobertura existentes, ou não, nestas depressões. Com efeito, as zonas de

⁷ Num meio de tal heterogeneidade, estes dois pontos não serão suficientes para representar a variabilidade do sistema.

depressão cársica podem ser zonas de baixa infiltração se estiverem cobertas por depósitos detríticos pouco permeáveis (Nave do Barão, Fonte Louzeiro, depressão a N de Purgatório, etc.); entre as zonas de recarga significativa estão os sumidouros sítos a 2 km a SW de Esteval dos Mouros (http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf) assim como os numerosos sumidouros nos leitos das ribeiras. Alguns sumidouros são temporários ou ocasionais (ex.: os sumidouros da zona de Lentiscais, que só funcionam quando a ribeira sai do seu leito).

Além da recarga natural deve ainda considerar-se a recarga devida à irrigação dos campos agrícolas. De referir que em zonas semiáridas a irrigação pode promover subidas dos níveis freáticos e desencadear processos de salinização dos solos e conseqüentemente degradar a qualidade das águas.

As descargas do sistema e dos seus subsistemas fazem-se pelas nascentes – algumas nas linhas de água – e pelas captações. Os valores de Costa (1983) fazem supor que existem reservas bastantes no sistema para abastecer as nascentes com caudais superiores aos que seriam de esperar em períodos de maior seca.

As nascentes têm o seu funcionamento naturalmente controlado pela oscilação dos níveis piezométricos, deixando por regra de funcionar quando os níveis piezométricos descem abaixo da cota topográfica, sendo especialmente sensíveis às condições de seca. Contudo algumas nascentes – ex.: Fontes Benémola e de Alte – são especialmente resilientes em condições de seca pois mesmo na seca extrema de 2004/2005, ao fim do 2º ano de seca e mesmo sob intensa exploração do aquífero, pois continuaram em funcionamento (Monteiro, 2006b; Monteiro, 2010), o que sugere uma ampla área de drenagem, com uma capacidade de armazenamento e regulação muito elevada. Considerando que a fonte de Paderne, perante as mesmas condições de seca, deixou de funcionar em 2005, é de admitir que o subsistema de Paderne tenha uma capacidade de armazenamento e uma conseqüente menor resiliência que os subsistemas de Alte e de Fonte Benémola. Este controle do funcionamento das nascentes é expresso também pelo facto de que, nos períodos de seca, a assimetria da localização das extracções levou à ocorrência de reduções dos caudais nas nascentes da zona terminal de descarga do sistema aquífero (Mendonça e Almeida, 2003), ao originar rebaixamentos locais acentuados das piezometrias, por concentração das captações. Este comportamento é simulado por Stigter *et al.* (2009) cujo modelo mostra que o fluxo de saída é elevado nas épocas de chuva e desce significativamente entre Maio e Setembro, em especial devido às extracções. É interessante notar que o fluxo de saída observado corresponde a apenas 40% do fluxo de saída simulado, de acordo com Stigter *et al.* (2009), o que os autores atribuem ao facto das nascentes consideradas serem estruturas de pequena escala num sistema regional de transferências entre aquífero e rio, já sem considerar as eventuais descargas submarinas associadas.

No extremo ocidental do sistema aquífero onde este entra em contacto com o rio Arade e se localizam as nascentes de Estombar, as ligações hidráulicas que se estabelecem entre o rio e o sistema aquífero, via nascentes de Estombar, são fortemente dependentes da posição dos níveis piezométricos face ao nível da água no rio. Assim, quando o nível piezométrico na zona das nascentes de Estombar for inferior à cota do rio Arade dá-se uma **inversão de fluxo**, com a água do Arade a entrar para o aquífero, quando em condições normais o fluxo se dá do aquífero para o rio. Como nesta região a água do Arade é salobra, a entrada das suas águas no aquífero pode ser causar salinização (Monteiro, 2006b; Monteiro, 2010). Por via de regra, estas inversões ocorrem a um nível diário, em função da influência da maré, havendo influxo do rio para o aquífero na maré alta e fluxo do aquífero para o rio na maré baixa (Monteiro, 2006b), e a qualidade das águas não tem sido especialmente afectada por elas, havendo um efeito de

decréscimo da salinidade no aquífero quando a maré baixa e as nascentes voltam a libertar água (Monteiro *et al.*, 2007b). Carreira (1991) considera que a mistura da água do rio Arade com a do sistema aquífero no sector de Portimão-Estombar é um processo activo responsável pela alta mineralização das águas do aquífero neste sector e Monteiro *et al.* (2006b) indica a região da foz do rio Arade como uma área potencial de intrusão salina (*cf.* Fig. 40).

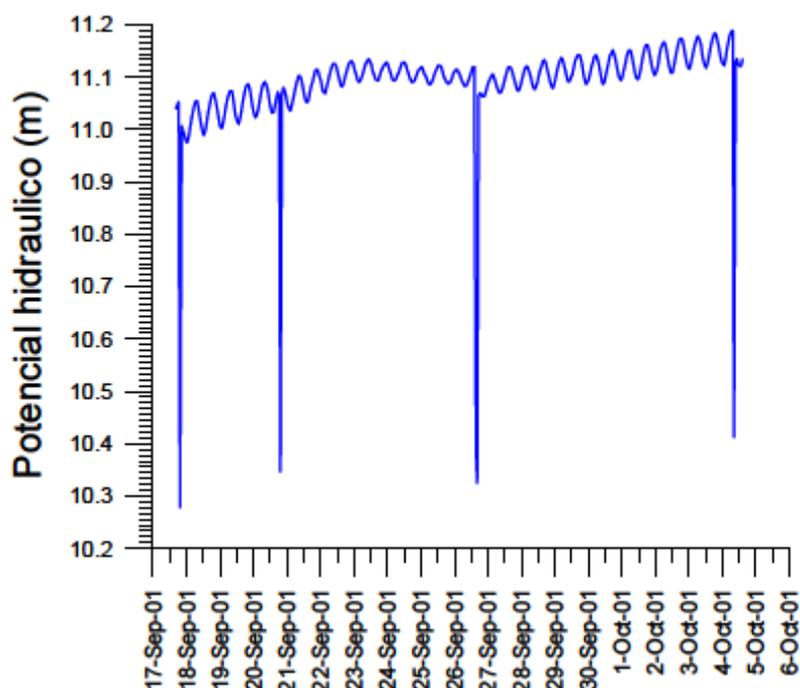


Fig. 40 – Oscilações de níveis em piezômetro no sistema aquífero Querença-Silves ilustrando o efeito de maré

Fonte: Monteiro (2006b)

Estas condições de inversão, geradas pela influência das extracções de furos de captação (Monteiro *et al.*, 2007b), e favorecidas pelas elevadas transmissividades deste sector do sistema aquífero, tenderão a ser mais acentuadas nos períodos de seca, quando os níveis piezométricos do sistema aquífero tendem a estar mais baixos, rebaixamento esse que é incrementado pelo facto de nestas alturas do ano – entre fins de Maio e fins de Setembro – entrarem em funcionamento os furos para irrigação. Nos períodos de seca extrema, quando por efeitos da exploração dos furos, os níveis piezométricos descem significativamente abaixo da cota zero, as condições de inversão do sentido do fluxo e captura de água do rio Arade no sector de Estombar são ainda mais acentuadas (Mendonça e Almeida, 2003).

A descida dos níveis é também potenciadora de contaminações a partir de águas salinas associadas a evaporitos, embora até ao momento não se hajam identificado no sistema aquífero situações deste tipo (Mendonça e Almeida, 2003).

Deve referir-se ainda a cobertura superficial, porosa, que aflora dispersamente, sobretudo ao longo da área central do sistema aquífero (Costa, 1989) e que funciona normalmente como zona pouco permeável, limitando a infiltração nas zonas de depressão cársica, mas que pode nalguns locais associados a litologias mais grosseiras – terraços fluviais, depósitos de vertente, aluviões – funcionar como aquífero de interesse local, tendo sido classificados, de acordo com Costa (1989) como tendo produtividade significativa a importante.

6.2 Sistema Aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

6.2.1 Caracterização geral

Este é um sistema multiaquífero, de 52 km², constituído por um sistema aquífero inferior cársico, desenvolvido em litologias jurássicas do Dogger, aflorante no seu sector Norte, e um sistema aquífero superior poroso desenvolvido em formações detríticas miocénicas e quaternárias, que ocorre no sector Sul/litoral do sistema aquífero e que se sobrepõe ao sistema cársico que, nesta região não é aflorante (Almeida *et al.*, 2000; http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3). É limitado a Oeste pela ribeira do Arão e a Este pela ribeira de Boina, e pelo rio Arade, sendo o seu limite Norte o contacto geológico com as formações do Hetangiano (Almeida *et al.*, 2000;).

6.2.2 Relação águas superficiais-subterrâneas

Este sistema aquífero é atravessado pelas ribeiras do Farelo e da Torre (Fig. 41), as quais têm uma significativa contribuição para a recarga do sistema aquífero, e em particular para a das formações carbonatadas. Esta contribuição é expressa pela significativa redução de caudal que estas ribeiras, assim como os seus afluentes (ex.: ribeira da Amieira, que é afluente da ribeira do Farelo), sofrem quando entram nas formações carbonatadas do sistema aquífero (Reis *et al.* 2007).

A infiltração das ribeiras para as formações do sistema aquífero tem expressão geomorfológica, por exemplo, nos numerosos sumidouros do leito da ribeira do Farelo. Reis *et al.* (2007) apresentam valores de caudais cedidos por infiltração para as formações do sistema aquífero, que só na ribeira da Torre podem ultrapassar os 600 000 m³/ano num ano normal. Os valores de caudais das ribeiras que terão contribuído para a recarga do sistema aquífero serão apresentados no subcapítulo 6.2.5.

Além das relações de recarga a partir das ribeiras, o aquífero estabelece também relações de descarga, tipicamente com as linhas de água sitas na sua bordadura. Assim, as formações jurássicas da parte Este do sistema descarregam para a ribeira da Boina, em Companheira, onde existem zonas húmidas; na zona Oeste a descarga ocorre nas Fontainhas, onde existem várias nascentes, que no passado foram aproveitadas para o abastecimento público de Portimão (Almeida *et al.*, 2000). O mesmo autor, citando Reis (1993), referia que estas nascentes tinham sido abandonadas pois as águas possuíam alta salinidade.

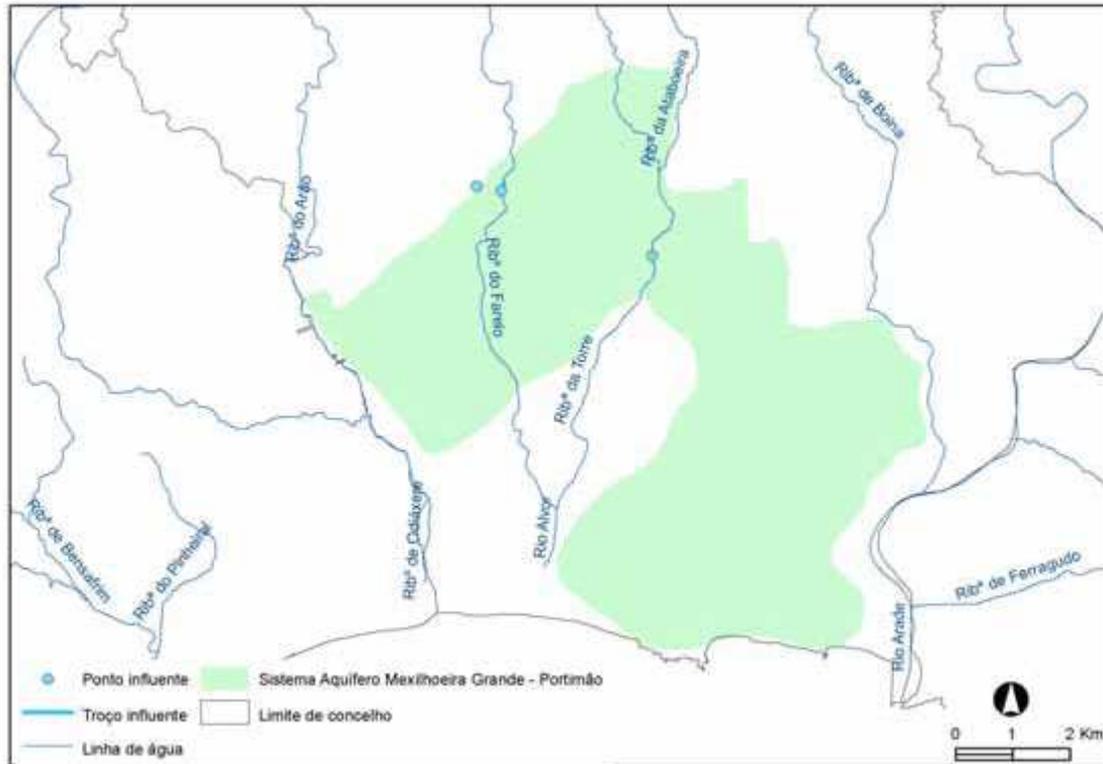


Fig. 41 – Localização dos pontos e troços das linhas de água influentes e efluentes no sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão

Fonte: Reis *et al.* (2007)

6.2.3 Piezometria

Almeida *et al.* (2000) afirma não existirem dados suficientes para se definirem superfícies piezométricas mas refere que, no aquífero calcário, a distribuição espacial e evolução temporal dos níveis piezométricos sugerem que este tem importante descarga natural, talvez devido à sua intensa fracturação. De referir que em Direcção de Serviços de Monitorização Ambiental (2003) só é apresentado o registo de um ponto de monitorização (o ponto 594/095 – Mexilhoeira Grande).

Contudo num trabalho em http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf há a referência de que a superfície piezométrica mostra que a direcção do fluxo se dá de N para S, ou seja, a partir das formações jurássicas – onde se dá a recarga do sistema por infiltração directa da precipitação e de alguns troços influentes das ribeiras do Fareló e Torre – para as formações miocénicas (Fig. 42). Isto sugere uma situação similar à referida por Almeida *et al.* (2000) antes do início das extracções significativas para abastecimento público e que era a de que o aquífero miocénico pudesse ser alimentado a partir do jurássico; este autor refere contudo que (pelo menos durante o período de exploração intensa das águas subterrâneas) esta alimentação seria pouco provável pois os potenciais eram muito baixos no aquífero jurássico na proximidade dos limites com o Miocénico.

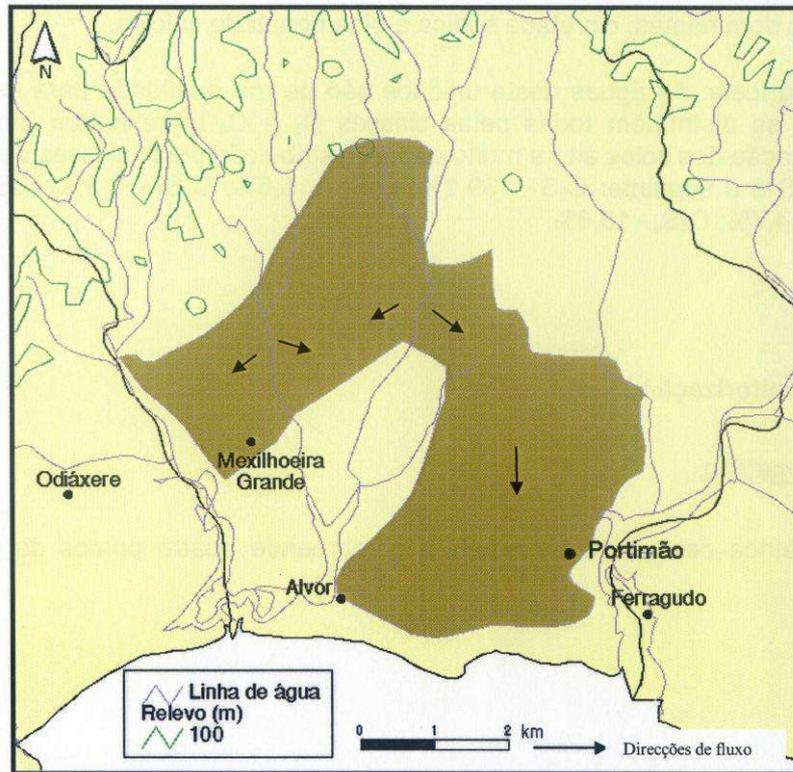


Fig. 42 – Sentidos do fluxo do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão

Fonte: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

A evolução piezométrica nos aquíferos calcário e detrítico são algo distintos, o que é reflectido na variação das piezometrias. Assim, segundo http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3 e Almeida *et al.* (2000) tem-se:

1. **Aquífero Miocénico** – os níveis piezométricos são muito estáveis, como é típico dum aquífero poroso, pouco explorado, com recarga algo lenta e difícil e descarga lenta.

2. **Calcários jurássicos** – distribuição mais heterogénea dos níveis e maiores e mais rápidas variações temporais, típico de aquíferos cársicos com carsificação acentuada, recarga fácil e descarga rápida. Este comportamento reflecte o menor poder regulador, a que se associa ainda a existência de áreas piezometricamente muito deprimidas (em pelo menos um local o nível chegou aos -36 m) sitas em zonas que eram à data pólos de extracção importantes.

Almeida *et al.* (2000) refere que no ponto 594/095 (Fig. 43) a piezometria, algo regular embora com níveis baixos, tem uma variação sazonal da ordem dos 2 m e uma amplitude máxima de 7,5 m (em 1990); o decréscimo no período seco sugere descarga natural⁸. No piezómetro 594/150 há pequenas variações sazonais, em regra inferiores a 1 m, com os níveis médios estabilizados entre 0 e 2 m.

⁸ Apesar da estabilidade dos níveis neste ponto, Almeida *et al.* (2000) refere que captações vizinhas foram abandonadas por problemas de qualidade das águas.

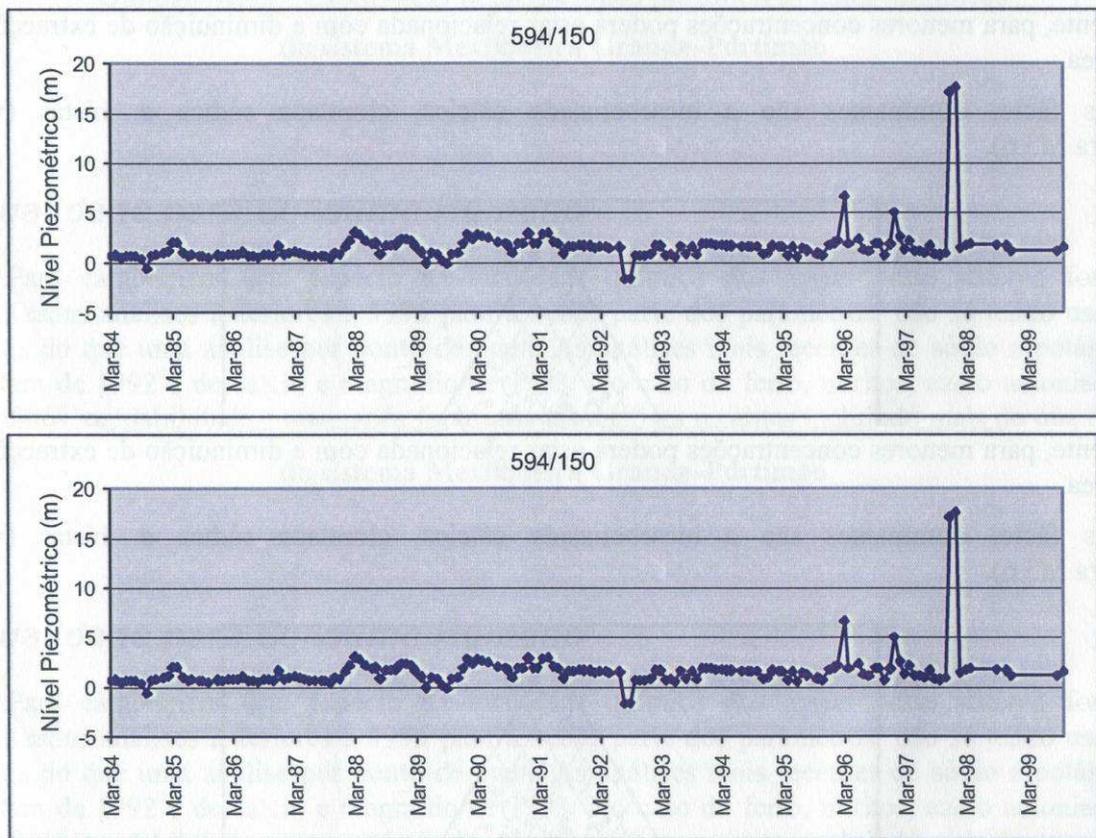


Fig. 43 – Evolução piezométrica de 2 pontos de água no sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão
 Fonte: Almeida e tal. (2000)

O relatório de http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf revela que não existem descidas significativas das piezometrias até Outubro de 1999, com a excepção do ponto 594/47; contudo, dos 4 pontos registados (Fig. 44), 3 têm valores próximos de zero ou negativos, indicando que a piezometria nestes locais se situa abaixo ou ao nível do mar. Esta manutenção, a mesmo uma leve subida, dos níveis é também registada – e continuada até 2004 – no piezómetro 594/095 (Fig. 45), como refere Direcção de Serviços de Monitorização Ambiental (2003).

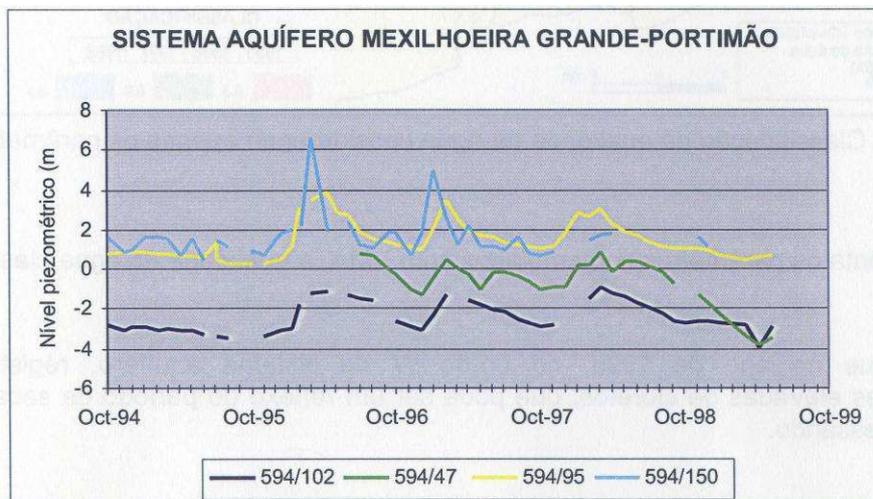


Fig. 44 – Variações da piezometria em 4 pontos do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão
 Fonte: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

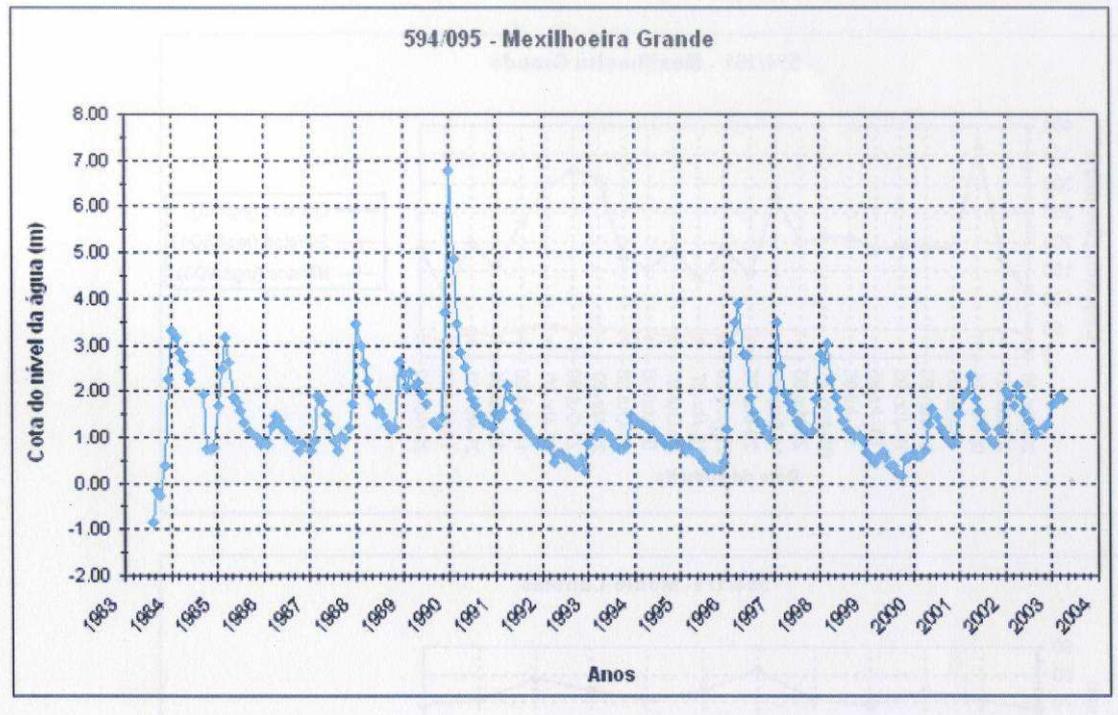


Fig. 45 – Variações da piezometria no ponto 594/095 do sistema aquífero Mexilhoeira Grande-Portimão
 Fonte: Direcção de Serviços de Monitorização Ambiental (2003)

Considerando que com a entrada em funcionamento das barragens para o abastecimento urbano várias das captações foram abandonadas, é de admitir que a situação piezométrica se tenha alterado para condições mais próximas das pré-período de exploração intensa das águas subterrâneas (admissivelmente com subida dos níveis no sector carbonatado e restabelecimento da alimentação das formações miocénicas a partir das formações jurássicas).

6.2.4 Parâmetros hidráulicos

A caracterização dos parâmetros hidráulicos deste sistema aquífero, com base em Costa (1989), Reis (1993), Almeida *et al.* (2000), http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos/PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3 é a seguinte:

a) Transmissividade – Costa (1989) indica que o aquífero cársico tem permeabilidade alta (excepto algumas formações do jurássico inferior, que são dadas como de permeabilidade muito baixa) e o aquífero poroso tem permeabilidade média a baixa. Os valores obtidos a partir de ensaios de bombagem, a sua caracterização estatística (*cf.* Quadro 9) são 85; 170; 250; 300; 560; 836; 1 000 e 2 300 m²/dia. Valores de 80 a 6 500 m²/dia, obtidos a partir de 11 caudais específicos são apresentados em http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf. Os valores obtidos por Reis (1993) a partir de 29 caudais específicos, e por Almeida *et al.* (2000) a partir de 20 caudais específicos, têm a caracterização estatística apresentada no Quadro 10.

Quadro 9 – Caracterização estatística das transmissividades obtidas por ensaio de bombagem para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Média (l/s)	Q ₁ (l/s)	Mediana (l/s)	Q ₃ (l/s)
688	230	430	877

Quadro 10 – Caracterização estatística das transmissividades obtidas a partir de caudais específicos para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Autor	Média (l/s)	Mín. (l/s)	Q ₁ (l/s)	Mediana (l/s)	Q ₃ (l/s)	Max. (l/s)
Reis (1993)	1 771	19	332	814	1 821	10 857
Almeida <i>et al.</i> (2000)	1 300	--	300	600	1 000	--

b) Coeficiente de armazenamento – não existem dados conhecidos.

c) Produtividade – Costa (1989) classifica o aquífero cársico com produtividade importante ($> 7 \text{ l.s.km}^2$) excepto para as algumas formações do Jurássico inferior que são dadas como de produtividade escassa ($< 2 \text{ l.s.km}^2$); o aquífero poroso é dado como tendo produtividade significativa (entre 2 a 7 l.s.km^2). Almeida *et al.* (2000) e [http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3) fazem uma caracterização estatística da produtividade, que varia entre 0,3 e 108 l/s, a partir de 124 dados de caudais de exploração (Quadro 11). De referir que as exsurgências das Fontainhas forneciam caudais da ordem dos 100 a 200 l/s com uma água demasiado mineralizada (Paradela e Zbyszweski, 1971, in http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf).

Quadro 11 – Caracterização estatística das produtividades específicas para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Mín. (l/s)	Q ₁ (l/s)	Média (l/s)	Desv. Padrão (l/s)	Mediana (l/s)	Q ₃ (l/s)	Max. (l/s)
0,3	5,0	12,1	15,3	8,3	11,1	108

6.2.5 Balanço hídrico

6.2.5.1 Recargas

Almeida *et al.* (2000) e [http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3) calcularam o total da recarga em cerca 10 hm³/ano, com a seguinte repartição por unidade aquífera: **(1) aquífero calcário jurássico** = 8 hm³/ano; **(2) aquífero miocénico** = 2 hm³/ano. Esta componente inclui a recarga a partir das ribeiras, a qual foi estudada por Reis *et al.* (2007), que apresentam os seguintes resultados. Estes autores referem que no ano de 2004/2005, que correspondeu a um período de seca, o caudal da ribeira da Torre (128 700 m³/ano) ter-se-á infiltrado na sua quase totalidade; e que em 2005/2006 o volume de água infiltrada no aquífero terá sido da ordem de 668 736 m³/ano. Por seu lado neste mesmo ano o caudal na ribeira do Farelo, na estação do Vidigal, a montante do sistema aquífero, foi de 238 900 m³/ano, do qual uma elevada percentagem, embora indeterminada, se terá infiltrado no aquífero carbonatado; em 2005/2006 o escoamento nesta estação hidrométrica foi de 1 030 130 m³/ano, do qual, mais uma vez uma grande percentagem, indeterminada, se terá infiltrado ao atingir o aquífero (Reis *et al.*, 2007). Verifica-se deste modo que a variação nos volumes de recarga a partir das ribeiras – ou potenciais de recarga – é extremamente variável, reflectindo as condições da rede hidrográfica e dos regimes de torrencialidade (Quadro 12).

Quadro 12 – Volumes potenciais de recarga por infiltração nas linhas de água em 3 subunidades do sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Ribeiras	2004/2005	2005/2006
Torre	128 700 m ³	668 736 m ³
Farelo	238 900 m ³ (1)	1 030 130 m ³ (1)

(1) Volumes na ribeira imediatamente a montante de entrar nas formações carbonatadas jurássicas; correspondem assim ao volume máximo disponível para a recarga na ribeira do Farelo

Reis *et al.* (2007) contabilizam um total médio de recarga directa de 10 hm³/ano e uma recarga a partir das linhas de água de 1,7 hm³/ano, ou seja, um total de 11,7 hm³/ano.

6.2.5.2 Descargas

Almeida *et al.* (2000) e http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3 registam um total de extracções conhecidas de 4 hm³/ano, divididas em:

1. **Abastecimento público** – 2 hm³/ano (ano de 1994).

2. **Abastecimento para rega** – cerca de 2 hm³/ano (ano de 1994), com 0,6 hm³/ano a serem extraídos do aquífero miocénico e os restantes 1,8 hm³/ano do aquífero jurássico.

Em http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf os volumes de extracções para abastecimento ao concelho de Portimão (presumivelmente abastecimento público), nos anos de 1996 a 1998, são mais elevados: 2,98 hm³ (em 1996); 3,25 hm³ (em 1997) e 3,64 hm³ (em 1998). Nesse trabalho não são referenciados valores de extracções para rega.

Reis *et al.* (2007) fazem um cálculo das extracções com os mesmos métodos citados no subcapítulo 6.1.5.2, pelo que os resultados estão sujeitos às mesmas limitações e críticas apresentadas nesse subcapítulo (Quadro 13). Note-se que, se as dotações para rega se aproximam das dos demais autores aqui citados, os volumes de consumos humanos são claramente inferiores. Isto pode dever-se às limitações das metodologias usadas mas também podem reflectir o facto de que, segundo estes mesmos autores, as captações públicas de águas subterrâneas estarem em situação de reserva desde 2000.

Quadro 13 – Extracções para diferentes tipos de consumos no sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Usos	Extracções (hm ³ /ano)	
	Método da dotação de áreas regadas	Método dos volumes de água licenciados
Rega	1,8	0,3
Casa, jardim, piscina	0,4	0,007
Jardim, piscina	--	0,003
Consumo humano	0,05	0,002
Total	2,3	0,3

6.2.5.3 Balanço hídrico

Com base nos valores de recarga (10 hm³/ano) e de saídas conhecidas (4 hm³/ano) de Almeida *et al.* (2000) e http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3, e que se reportam a anos anteriores a 2000, o balanço hídrico seria de 6 hm³/ano.

Monteiro (2006a), partindo igualmente dum valor de recarga de 10 hm³/ano e considerando que as extracções são de 2,5 hm³/ano (o que equivale 25% da recarga), obtém um balanço hídrico de 7,5 hm³/ano.

Reis *et al.* (2007) mantendo as mesmas ressalvas que foram citadas no subcapítulo 6.1.5.3, calcula o balanço hídrico para este sistema aquífero conforme ao Quadro 14. Estes autores não consideram valores para o abastecimento público, dado que desde 2000 as captações públicas

que abasteciam o concelho de Portimão estão em reserva. Estes autores também não consideram as descargas das nascentes submarinas dado ser desconhecido o seu volume, e este desconhecimento engloba também as eventuais nascentes submarinas (estas últimas provenientes do aquífero miocénico).

Quadro 14 – Balanço hídrico para o sistema aquífero de Mexilhoeira Grande-Portimão

Entradas (hm ³ /ano)	Recarga directa	10
	Recarga via linhas de água	1,7
Saídas (hm ³ /ano)	Captações particulares	2,3
	Abastecimento público	--
	Nascentes	--
Entradas – Saídas (hm ³ /ano)		9,4

6.2.6 Funcionamento do sistema aquífero

Este é um sistema multiaquífero, com um aquífero inferior, cársico, desenvolvido em formações carbonatadas jurássicas, e um aquífero superior em formações porosas miocénicas e quaternárias (aflorem no sector S do sistema aquífero a W de Portimão; Costa, 1989), estando as duas unidades aquíferas, em condições naturais – isto é, as que se verificavam antes do período de mais intensa extracção – em ligação hidráulica. Nestas condições de ligação hidráulica a unidade mais profunda (jurássica) contribuía para a recarga do aquífero miocénico (Almeida *et al.*, 2000). Contudo, quando se dá a exploração do aquífero cársico, provocando um rebaixamento significativo dos níveis, esta ligação hidráulica perde-se e o aquífero miocénico, admite-se que deixe de ser alimentado pelos calcários jurássicos. Poderá admitir-se que quando os níveis piezométricos no aquífero jurássico baixem o suficiente para se interromper esta ligação a conexão entre os dois aquíferos se inverta e o miocénico passe a ceder por drenância água para o aquífero jurássico.

A principal área de recarga situa-se no sector Norte do sistema aquífero, onde afloram as formações jurássicas. A recarga para o aquífero carbonatado jurássico recebe recarga directa e também uma recarga significativa das ribeiras que o atravessam. No aquífero miocénico a recarga é mais lenta e admite-se que seja sobretudo recarga directa, podendo ser alimentada por descargas do aquífero jurássico quando a situação piezométrica o favorece.

A descarga do sistema faz-se, na parte Este das formações jurássicas, para a ribeira de Boina, na zona de Companheira, por um conjunto de exurgências que originam zonas húmidas; na parte Oeste as descargas ocorrem nas Fontainhas (http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3). Além destas descargas, Reis *et al.* (2007) referem a existência provável de descargas submarinas, provenientes do aquífero miocénico. As descargas do aquífero calcário são consideradas importantes por Almeida *et al.* (2000).

A piezometria sugere que a descarga do aquífero miocénico é lenta (Almeida *et al.*, 2000), sugerindo assim um tempo de circulação significativo. Por seu lado a piezometria sugere que o aquífero jurássico terá uma carsificação acentuada, o que explicará a distribuição mais heterogénea das piezometrias e as suas maiores oscilações (Almeida *et al.*, 2000). Esse autor sugere aliás que este aquífero esteja intensamente fracturado, e este aspecto poderá ter facilitado o desenvolvimento da carsificação mas torna ao mesmo tempo complexa a exploração dos seus recursos. Além da fracturação, a existência de dobramentos e, no extremo SW do sistema aquífero a presença de uma estrutura diapírica (Costa, 1989), adiciona à complexidade

estrutural – com os respectivos reflexos no desenvolvimento, circulação e funcionamento – do aquífero cársico. Note-se que esta estrutura diapírica afecta também as formações miocénicas e quaternárias, afectando portanto também o aquífero superior.

De acordo com http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf a circulação far-se-á de Norte para Sul (Fig. 42) ou seja, a partir das formações jurássicas e das áreas mais favoráveis de recarga do sistema, em direcção às formações miocénicas. Nesta figura observa-se haver uma divergência do fluxo na zona da ribeira da Torre e da ribeira do Farelo (o que poderá indiciar da sua importância como áreas de recarga). O extremo ocidental do sistema aquífero apresenta fluxo para SW, em direcção à ribeira do Arão.

Até 1989, segundo ainda o trabalho acima citado, os níveis piezométricos não tinham descidas significativas mas estavam – nos 4 pontos monitorizados – nas proximidades ou abaixo do nível do mar. Porém é de admitir que com a colocação dos furos de abastecimento urbano de Portimão em reserva, por passagem ao abastecimento urbano a partir das albufeiras das barragens, que a situação se haja alterado e tenha ocorrido uma recuperação dos níveis. De acordo com Direcção de Serviços de Monitorização Ambiental (2003), para o ano de 2003 dá-se uma subida dos níveis piezométricos, que é contudo pouco acentuada, quando comparada com as de outros sistemas aquíferos com comportamento de recuperação idêntico.

6.3 Formações do Maciço Antigo

6.3.1 Caracterização geral

As formações carbónicas (Formação da Brejeira e Formação de Mira) são pouco produtivas e apenas apresentam interesse para pequenos abastecimentos e pequenos regadios (PROCESL *et al.*, 1999). Contudo Almeida *et al.* (2000) referem que, das várias formações do Flysh da Zona Sul Portuguesa a formação de Mira é das que tem maiores potencialidades aquíferas e Rocha *et al.* (1983), embora refira que estas formações não são exploradas por furos de captação, dá valores de caudais com algum interesse para abastecimento local (*cf.* subcapítulo 6.3.4).

Estas formações carbónicas são basicamente unidades pouco permeáveis, em que a circulação se dá ao longo das zonas de fracturas (diaclasses e falhas) e zonas mais alteradas (quando estas têm uma componente arenosa significativa), descarregando através de pequenas nascentes, onde a topografia intersecta a circulação nestas fracturas. São assim litologias pouco produtivas, com funcionamento fracturado, onde a orientação espacial dos fluxos é controlada pela distribuição espacial das zonas de fracturação.

As unidades pertencentes ao Maciço de Monchique têm também recursos subterrâneos escassos, mas que apresentam uma qualidade nitidamente superior à das restantes formações do Maciço Antigo (PROCESL *et al.*, 1999). A sua diminuta capacidade aquífera aumenta contudo nas zonas fracturadas, que embora pouco profundas (20-30 m), se constituem em zonas preferenciais de infiltração e circulação, assim como zonas de alteração das rochas (http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf). A circulação faz-se assim, sobretudo ao longo das fracturas e diaclasses. Contudo esta circulação não se limita às zonas mais superficiais do maciço mas tem também uma circulação profunda associada à ocorrência de águas termais (PROCESL *et al.*, 1999).

6.3.2 Relação águas superficiais-subterrâneas

Não são conhecidas as relações entre o meio superficial e subterrâneo, sendo de admitir que pelo menos algumas das nascentes alimentam, ainda que na maior parte dos casos apenas temporariamente, as linhas de água. Não se considera que haja condições para as interações complexas como as descritas para o sistema aquífero de Querença-Silves, admitindo-se que o funcionamento das linhas de água que intersectam estas litologias, são sobretudo controladas pelos eventos de precipitação e escoamento superficial associado, admitindo-se, portanto que o escoamento de base seja bastante secundário no regime de funcionamento destas ribeiras.

Basicamente estas litologias servem de fonte de abastecimento dos sistemas aquíferos a jusante por transferência hídrica através das ribeiras e/ou eventuais estruturas tectónicas (http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf) em ligação hidráulica com as formações mesozóicas.

6.3.3 Piezometria

Na base de dados do SNIRH estão registados os pontos apresentados na Fig. 46, fornecendo esta mesma base de dados valores para os pontos 585/78 e 587/101, que pertencem às formações do Maciço Antigo e sitas na bacia do Arade (Quadro 15 e Quadro 16).



Fig. 46 – Localização de pontos de monitorização quantitativa da rede SNIRH

Fonte: Dados obtidos através do site <http://snirh.pt> em 03/09/2010 11:35

Quadro 15 – Registos do nível piezométrico do ponto 585/78 (Concelho de Monchique)

DATA	585/78
	Nível piezométrico (m)
06-02-2001	490.75
07-03-2001	487.72
04-04-2001	489.75
11-05-2001	488.25
09-07-2001	486.57
09-08-2001	485.75
12-09-2001	485.05
09-10-2001	484.75
15-11-2001	484.67
05-12-2001	484.65
11-01-2002	486.77
06-02-2002	485.55
11-03-2002	485.65
03-04-2002	490.75
24-05-2002	487.81
06-06-2002	487.35
02-07-2002	487.33
13-08-2002	484.65
05-03-2009	489.55
02-06-2009	486.82
09-07-2009	486.19
14-08-2009	485.63
09-09-2009	485.01
06-10-2009	485.49
05-11-2009	484.79
02-12-2009	484.93
08-01-2010	490.95
01-02-2010	490.35
03-03-2010	490.38
13-04-2010	489.61
10-05-2010	489.62
07-06-2010	488.45

Quadro 16 – Registos do nível piezométrico do ponto 587/101 (Concelho de Silves)

DATA	587/101
	Nível piezométrico (m)
01-03-2000	134.09
02-02-2001	136.36
06-03-2001	136.7
03-04-2001	136.41
04-05-2001	136.14
01-06-2001	135.66
03-07-2001	134.86
01-08-2001	134.73
05-09-2001	133.34
02-10-2001	133.39
05-11-2001	134.98
04-12-2001	133.56
08-01-2002	135.52
06-02-2002	135.52
04-03-2002	134.88
01-04-2002	135.26
08-05-2002	135.31
05-06-2002	134.66
01-07-2002	134.36
02-08-2002	133.66

6.3.4 Parâmetros hidráulicos

Não existem dados conhecidos na literatura sobre as transmissividades destas formações. Os dados conhecidos referem-se simplesmente às **produtividades** das formações xistentas (Formação de Mira e Formação da Brejeira).

Almeida *et al.* (2000) refere que a generalidade das formações xistentas são pouco produtivas, tendo os furos nelas implantados caudais que na maior parte dos casos se situam entre 0,5 e 1,5 l/s. Note-se contudo que este autor, devido à escassez de dados faz uma caracterização a partir da informação para as formações equivalentes incluídas na bacia hidrográfica do Guadiana. Com base em 278 dados de caudais (l/s) este autor obteve a seguinte caracterização estatística

das produtividades (Quadro 17). Assim, segundo Almeida *et al.* (2000), apenas 25% dos furos têm caudais superiores a 1,4 l/s e menos de 50% acima de 1 l/s.

Quadro 17 – Estatísticas das produtividades nas formações xistentas do Algarve

Média	Desvio padrão	Mínimo	Q ₁	Mediana	Q ₃	Máximo
1,1	0,9	0,05	0,6	0,8	1,4	6

Para a Formação de Brejeira, Reis e tal. (1983) referem valores de caudais da ordem de 0,5 a 1 l/s e, em zonas especialmente favoráveis, até 2 l/s.

Para as unidades sieníticas do Maciço de Monchique, PROCESL *et al.* (1999) refere apenas os caudais de 3 nascentes, de caudal muito fraco, duas delas com caudal médio de 0,07 l/s e a outra com caudal médio de 0,23 l/s. Os caudais máximos médios nas duas primeiras nascentes são de cerca 0,5 l/s e na última de 1,6 l/s. PROCESL *et al.* (1999) faz ainda referência à ocorrência de nascentes termais neste maciço – usadas em balneoterapia e como água de mesa – que descreve como tendo com uma mineralização baixa, com fácies bicarbonatada sódica, ligeiramente sulfurosas.

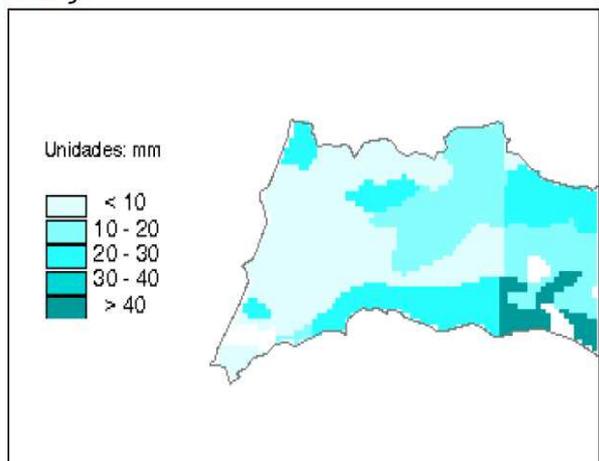
6.3.5 Balanço hídrico

6.3.5.1 Recargas

Os valores determinados de recarga para estas formações, encontrados na literatura (http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf), dão os seguintes valores (Fig. 47):

- ◆ Xistos: < 10 a 20 mm em Março e > 0,2 mm em Setembro.
- ◆ Maciço de Monchique – 20 a 30 mm em Março e 0,4 a 0,8 mm em Setembro.

Março



Setembro

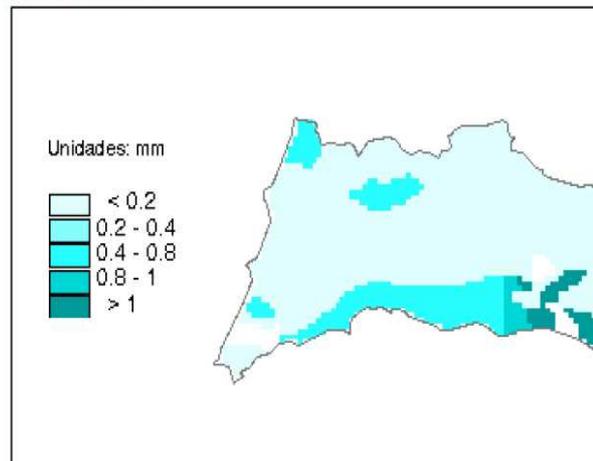


Fig. 47 – Distribuição dos valores de recarga na zona ocidental do Algarve

Fonte: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

6.3.5.2 Descargas

Não estão contabilizadas as descargas nas formações carbónicas, sendo mal conhecidas nas formações do maciço de Monchique. Em http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf.

pdf são indicados, para a globalidade do barlavento algarvio valores de coeficientes de descarga de 0,46 a 0,65, de acordo com o modelo conceptual da Fig. 48.

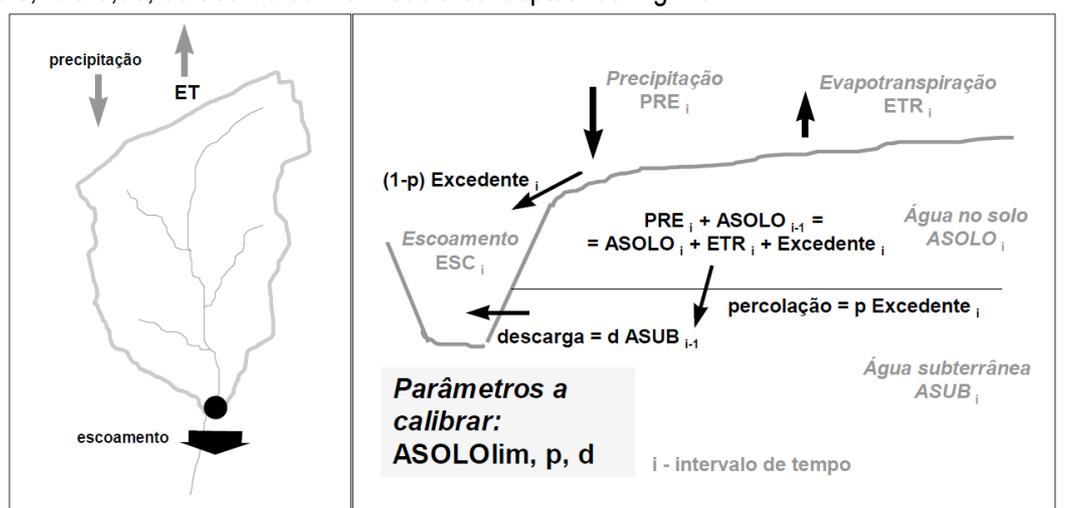


Fig. 48 – Conceptualização de balanço hídrico para o barlavento algarvio

Fonte: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

Para o Maciço de Monchique, considerando o conjunto de nascentes acima descritas obtém-se um valor total anual de descargas de 11 668 m³, sendo de admitir que este valor possa ser na realidade um pouco superior, dado não estarem contabilizados os caudais de outras eventuais nascentes.

Considerando os valores de extracções, tem-se para o concelho de Monchique (valores relativos a 1994) volumes de 0,3 hm³ sendo os caudais médios explorados, em geral, inferiores a 1 l/s, (PROCESL *et al.*, 1999) embora estes dados não precisem que percentagem de tais volumes provêm do Maciço de Monchique.

PROCESL *et al.* (2000b) tem registados, para a totalidade da bacia do rio Arade, um volume utilizado de água de 17,64 hm³/ano para a agricultura, 3,35 a 4,2 hm³/ano para os consumos domésticos e 0,369 hm³/ano (sem discriminar que percentagem deste volume destes provem dos aquíferos carbonatados), perfazendo um total de cerca 21,5 hm³/ano.

6.3.5.3 Balanço hídrico

PROCESL *et al.* (1999) estimou os recursos hídricos subterrâneos médios nas formações dos xistos e grauvaques carbónicos entre 1 l/s.km² e cerca de 3 l/s.km². Nestas condições, os autores consideram que no final da estiagem e sobretudo em períodos de seca, os aquíferos situados nestas rochas atinjam o quase esgotamento; contudo, na maior parte dos casos as reservas são repostas após as primeiras chuvas pelo que não são de prever situações de sobre-exploração permanente.

6.3.6 Funcionamento do sistema aquífero

Estas formações são basicamente de muito baixa produtividade, funcionando como “aquíferos” fracturados, com uma circulação sobretudo realizada nas zonas mais superficiais mas que, na zona de Monchique, tem também uma importante componente de circulação profunda. As

unidades produtivas serão admissivelmente de pequena dimensão, controladas pela existência de fracturação mais ou menos intensa e as direcções de fluxo determinadas pelas orientações das fracturas.

As zonas de fractura serão zonas de infiltração mas também zonas de descarga, tal dependendo da posição da superfície piezométrica face à zona de fracturação e à topografia.

Admite-se que pelo menos algumas nascentes funcionem como pontos de descarga para as linhas de água, fornecendo a componente de escoamento de base. Porém, basicamente, admite-se que esta vasta zona funcione sobretudo como uma zona de recolha da precipitação, que, nas parcelas de escoamento superficial+escoamento de base (este admissivelmente em proporção muito inferior ao superficial), e por intermédio das ribeiras que a atravessam, vão recarregar os sistemas aquíferos desenvolvidos nas formações mesozóicas sítos a jusante.

6.4 Sistema Aquífero de Sines

6.4.1 Caracterização geral

Este é um sistema multiaquífero, de 250 km² de área, constituído por dois reservatórios que, em grande parte do sistema são independentes (Almeida *et al.*, 2000; <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222222>; http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32; cf. Fig. 18)

1. **Um aquífero inferior**, cársico, artesiano, extremamente heterogéneo, desenvolvido nas formações de calcários e dolomitos jurássicos;

2. **Um aquífero superior**, multicamada, poroso, livre a confinado, desenvolvido nas formações do Miocénico marinho e do Plio-Plistocénico. CEZH/RNLSAS (2004) refere que as formações pliocénicas e quaternárias podem ter interesse aquífero mas apenas à dimensão local (ex.: formações aluvionares). De referir que Diamantino (2001), citando Inverno *et al.* (1993) refere as formações plio-quaternárias como unidade hidrogeológica de algum interesse, ao originar pequenos aquíferos freáticos e também aquíferos relativamente profundos e de excelente produtividade, em especial se as espessuras forem relevantes, embora funcionem sobretudo como zonas de alimentação para os aquíferos subjacentes.

De acordo com Almeida *et al.* (2000) e Diamantino (2001) o aquífero jurássico é o de maior importância, tendo recarga directa – nas zonas de afloramento – e recarga por drenância das formações cenozóicas sobrejacentes; o aquífero mio-pliocénico, cuja recarga se faz por via directa e também por ligação hidráulica com as linhas de água, tem uma importância menor, sendo as unidades miocénicas as mais produtivas.

Diamantino (2001) assinala que a fracturação das formações jurássicas é essencial para a sua produtividade, sendo também através da fracturação que se estrutura e progride o carso, e é condicionada a circulação das águas (Silva e Almeida, 1982). A mesma autora faz uma discriminação mais detalhada do comportamento hidrogeológico das formações, a partir das mais recentes:

1. **Aluviões** – podem constituir aquíferos de razoável produtividade se localizados na zona baixa da região, onde têm maiores espessuras, em especial se situadas em cursos de água que drenam para a Lagoa de Santo André. São aquíferos muito vulneráveis e tradicionalmente explorados para a actividade agrícola (regas).

2. **Areias de duna** – podem originar aquíferos suspensos no contacto com formações subjacentes menos permeáveis. Situam-se ao longo da zona costeira e só têm interesse à escala local.

3. **Plio-Plistocénico e Miocénico** – formam aquífero complexo multicamada, com níveis aquíferos livres, confinados e semi-confinados, limitados por aquíferos ou impermeáveis espessos. No geral os níveis aquíferos ocorrem, a N e NE de Sines, a profundidades abaixo dos 9 m mas em Sancha, Galiza e Relvas Verdes são aflorantes. O seu relevo suave favorece a infiltração.

4. **Jurássico superior (Malm)** – unidade aquífera do topo do sistema cársico, a sua carsificação, embora intensa, é no geral mais atenuada do que no Dogger. É contudo um carso juvenil, desenvolvido em profundidade, o que é indicado pelos grandes caudais e pressões hidrostáticas das captações, em especial a Oeste da falha de Santo André (Manuppella, 1983); note-se que as formações do Malm foram intensamente erodidas, e os carsos foram depois total ou quase totalmente preenchidos por sedimentos arenosos e argilosos, sobretudo miocénicos, podendo estes preenchimentos atingirem por vezes mais de 10 m de espessura (Silva e Almeida, 1982). De produtividade muito variável devido à distribuição heterogénea da fracturação e carsificação, com áreas pouco produtivas e áreas produtivas, como a zona terminal da Ribeira dos Moinhos há captações com boa produtividade, o que também se poderá dever à fracturação intensa associada ao maciço eruptivo de Sines (Rodrigues e Borges, 1984).

5. **Jurássico médio (Dogger)** – unidade aquífera do sistema cársico também com produtividade variável, são registadas captações com boa produtividade em Rodeado (JKp9) e captações fracas em Monte do Concelho e Casa da Madeira.

6. **Jurássico inferior (Lias)** – unidade aquífera do sistema cársico, cujas características são menos conhecidas, mas que pode atingir produtividades apreciáveis.

7. **Triásico-hetangiano** – pode ter interesse aquífero à escala local, quando a fracturação e a sua localização face às zonas de alimentação é favorável (Rodrigues e Borges, 1984).

6.4.2 Relação águas superficiais-subterrâneas

Inverno *et al.* (1993, *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000) refere que no sistema plio-quadernário e mio-pliocénico os cursos de água são influentes no semestre húmido e efluentes no semestre seco; a conexão entre as linhas de água e os níveis aquíferos faz-se directamente quando o curso de água intersecta o aquífero ou por conexão indirecta com as aluviões sendo os tempos de resposta distintos para os dois casos. Monteiro *et al.* (2008) considera que as ribeiras associadas às lagoas tendem no geral a ser efluentes na zona terminal (onde os sedimentos são mais grosseiros que os dos fundos das lagoas), e que o balanço hídrico das lagoas depende das conexões hidráulicas entre o aquífero superficial e a rede hidrográfica (Fig. 49). Este mesmo autor refere que as ribeiras das Fontainhas e de Moinhos têm sobretudo um comportamento influente e que as propriedades hidráulicas do aquífero superior controlam os volumes de transferências de água deste aquífero para as linhas de água. Assim, as relações hidráulicas entre a rede hidrográfica e o aquífero superior são variáveis no tempo e também no espaço, ao longo da bacia hidrográfica de cada ribeira, ou mesmo entre diferentes ribeiras. Como se viu acima, algumas ribeiras podem ser sobretudo influentes e outras apresentarem um carácter efluente na zona terminal, podendo admitir-se que nas zonas mais a montante possam ter um carácter mais influente.

Além das ligações hidráulicas entre as ribeiras e o aquífero superior, Inverno *et al.* (1993) refere também existir descarga para os rios, nalguns pontos do sistema aquífero jurássico, através de acidentes tectónicos.

A questão da ligação hidráulica entre lagoas, rede hidrográfica e o aquífero freático superficial, em especial o controle do balanço hídrico acima citado, não se restringe apenas à Lagoa de Melides mas também ocorrem nas lagoas de Santo André e Sancha, pelo que Monteiro *et al.* (2008) considera estas lagoas ecossistemas dependentes das águas subterrâneas. Este sistema aquífero superior é, conforme Monteiro *in* <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222222>, muito importante sob o ponto de vista ecológico pois das suas relações com as ribeiras e as lagoas dependem as transferências de água doce para estes ecossistemas.

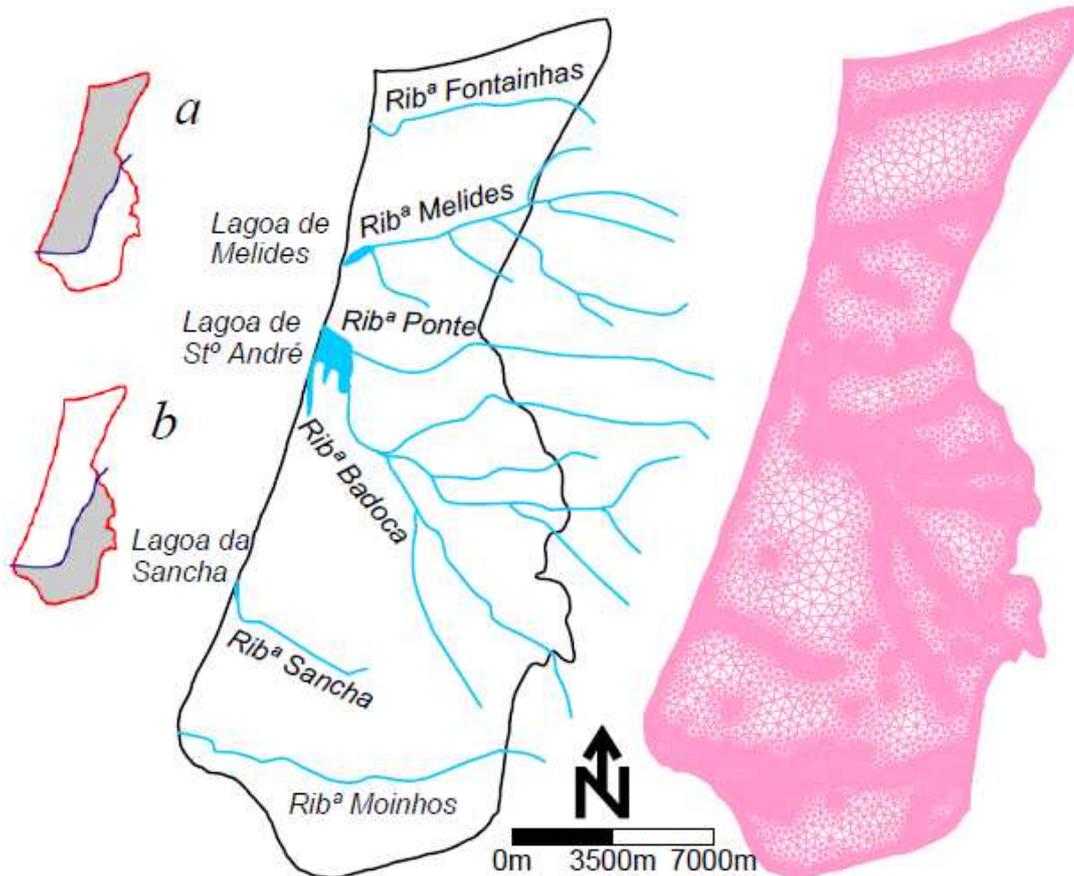


Fig. 49 – Relação entre as ribeiras e as zonas de recarga do aquífero, marcadas a sombreado [a] para o aquífero superior freático; b) para o aquífero inferior carbonatado]

Fonte: Monteiro *et al.* (2008)

Não existem apenas ligações hidráulicas entre as lagoas, a rede hidrográfica e o aquífero superior (e ocasionalmente o cársico profundo) mas também entre os diversos aquíferos, nomeadamente entre o aquífero superior plio-miocénico e o inferior jurássico (Lobo Ferreira *et al.*, 2000). Assim, nas zonas onde o nível piezométrico jurássico se situa abaixo do nível plio-miocénico e não existem níveis impermeáveis a isolar os dois aquíferos, ocorre drenância do aquífero plio-miocénico para o aquífero jurássico; nas zonas onde o nível piezométrico nas formações jurássicas ultrapassa o nível plio-miocénico, e desde que exista conexão hidráulica (ex.: via falhas e zonas de fractura), dá-se a transferência de águas do aquífero jurássico para o plio-miocénico (Inverno *et al.*, 1993). Segundo estes autores as condições que favorecem a criação de desequilíbrios piezométricos favoráveis à alimentação das formações miocénicas pelo aquífero cársico jurássico devem-se à ocorrência de níveis de margas que originam o confinamento dos reservatórios.

Na Fig. 50, a região a oeste da linha a tracejado corresponde à parte onde o aquífero profundo (jurássico) é confinado e não tem qualquer ligação hidráulica com o aquífero detrítico superior (plio-miocénico), podendo ocorrer captações com artesianismo repuxante. No modelo de Monteiro *et al.* (2008) esta região é considerada a zona de recarga do aquífero superior; a zona leste da linha tracejada foi considerada como a zona de recarga do aquífero carbonatado profundo. Considerando que grande parte desta região a Este da linha tracejada está coberta com formações cenozóicas poderá admitir-se que seja a zona preferencial onde se dá a drenância do aquífero miocénico para as formações jurássicas.

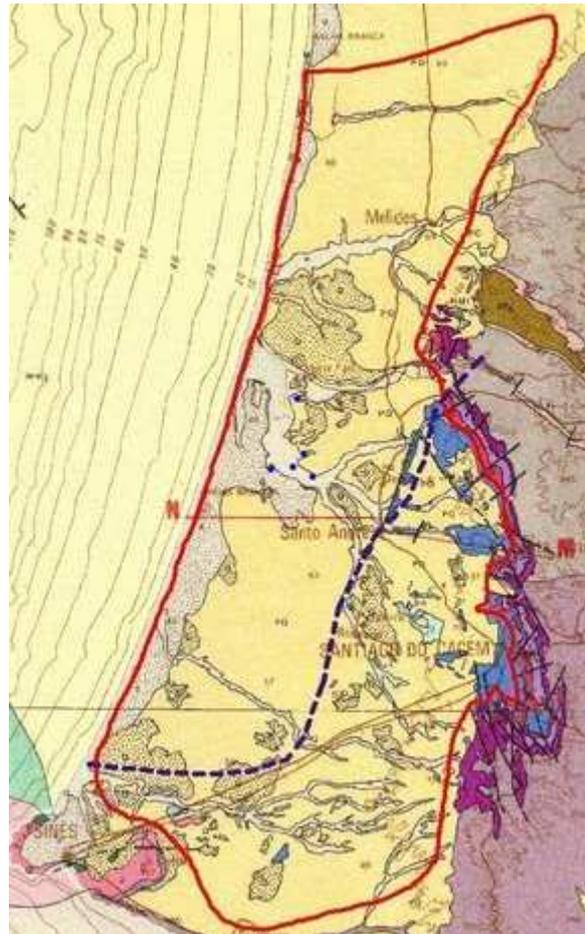


Fig. 50 – Zonamento das diferentes áreas de conexão hidráulica no sistema aquífero de Sines

Fonte: <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222222> (sobre excerto da Carta Geológica de Portugal de escala 1:200 000 dos Serviços Geológicos de Portugal INETI)

Inverno *et al.* (1993) refere ainda que existem transferências de água entre as unidades plio-pleistocénicas e os aquíferos subjacentes, em especial o Miocénico marinho, nos dois sentidos, dependendo do desequilíbrio piezométrico e da presença de contactos permeáveis a semi-permeáveis. Estes autores apresentam como exemplo desta situação as nascentes do afloramento de Melides; a extensão de afloramento desta formação não poderia só por si alimentar os caudais destas nascentes (da ordem das dezenas de m³/h e que fazem a realimentação da lagoa). Estes autores demonstram assim que a lagoa de Melides está dependente da alimentação por águas subterrâneas.

Finalmente, e de acordo com, CEZH/RNLSAS (2004) existe também uma ligação hidráulica com o mar e, conseqüentemente, uma elevada sensibilidade à carga poluente do rio e a fenómenos de intrusão salina. O trabalho de Diamantino (2001) sugere a mesma possibilidade, embora com

variações entre os aquíferos e ao longo do litoral, dependendo das condições hidráulicas vigentes.

6.4.3 Piezometria

Segundo Almeida *et al.* (2000) e http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_Portugal/Cont/mostra_ficha.php?aquif=O32, nas formações jurássicas existem medições de alguns níveis acima da cota do terreno, embora haja zonas – talvez associadas a áreas de maior extracção durante o período das medições – em que os níveis estavam abaixo do nível do mar. Embora, de acordo com os mesmos autores, não se observem tendências evolutivas na piezometria, em quase todos os piezómetros os níveis desceram até 1995, acompanhando a época de seca ocorrida entre 1991 e 1995, verificando-se a sua recuperação após 1995 (*cf.* Fig. 51).

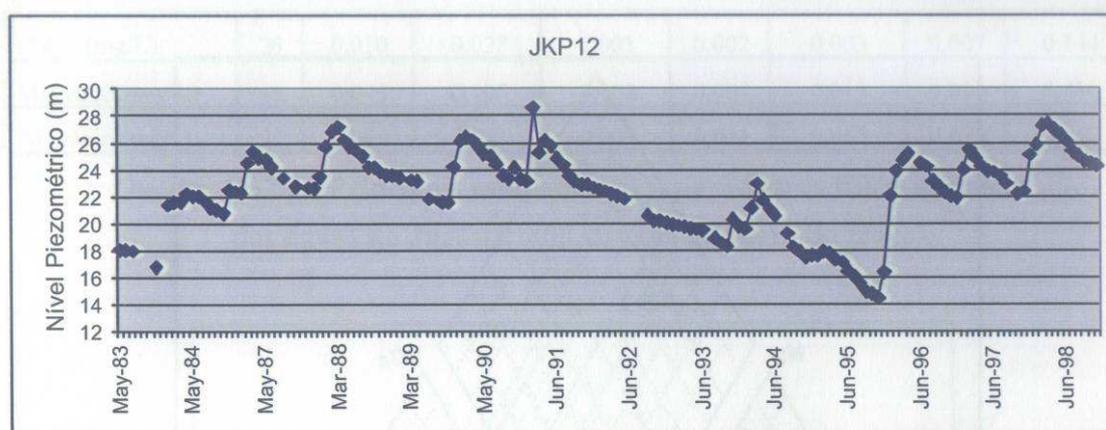


Fig. 51 – Evolução piezométrica do ponto JKP12 no no sistema aquífero de Sines

Fonte: Almeida e tal. (2000)

Esta tendência de descida dos níveis até 1995 foi registada em Diamantino (2001) e Lobo Ferreira *et al.* (2000), com um conjunto de dados que abrangem o período de 1985 a 1994, registando que a descida mais significativa a partir do início de 1992, sendo especialmente expressivo em entre 1992 e 1993, havendo uma leve tendência de recuperação em 1994. Deve referir-se que o período entre 1991 e 1995 correspondeu a um período de acentuada seca, o que poderá explicar esta evolução. Diamantino (2001) refere ainda que a Sul e Sudeste da Lagoa de Santo André os pares furo/piezómetro JKc2a-JKp1, JKc-JKp10, JKc8-P1/12, JKc10- JKc10/1 e JKc102 os níveis piezométricos se encontram próximos ou abaixo do nível do mar e que para as outras captações e furos de pesquisa os níveis têm oscilações sobretudo sazonais.

Em condições naturais de não exploração, na região da bacia de Santo André, os níveis piezométricos das formações jurássicas situam-se acima dos níveis piezométricos das formações miocénicas, havendo frequentemente artesianismo repuxante, como é o caso das captações de Porto Peixe, Galiza, Judia e Monte Velho; estas condições são favoráveis, portanto, ao estabelecimento de fluxos do aquífero cársico jurássico para as unidades miocénicas (Lobo Ferreira *et al.*, 2000; Diamantino, 2001). Por seu lado, na zona de Brejinhos os furos de pesquisa JKp5 e JKp7 que captam o jurássico e o plio-pleistocénico respectivamente, o fluxo é descendente, ou seja, nesta zona o aquífero profundo é alimentado pelas formações plio-pleistocénicas sobrejacentes (Diamantino, 2001).

A possibilidade de um aumento da exploração do aquífero profundo poder aumentar a depressão dos níveis piezométricos, verificada por Diamantino (2001), ao ponto de se dar uma inversão geral do fluxo e ocorrer a salinização das captações foi sugerida por esta mesma autora.

Monteiro *et al.* (2008) apresenta, a partir da modelação matemática, as superfícies piezométricas para o aquífero detrítico superior, para dois valores de transmissividade (Fig. 52), nas quais é possível ver-se expressos alguns exemplos da ligação entre a rede hidrográfica e o aquífero. Esta ligação hidráulica, e o seu conseqüente controlo do fluxo subterrâneo, explicaria assim, de acordo com estes autores, as direcções de fluxo aparentemente divergentes e erráticas obtidas a partir de medições em captações neste aquífero.

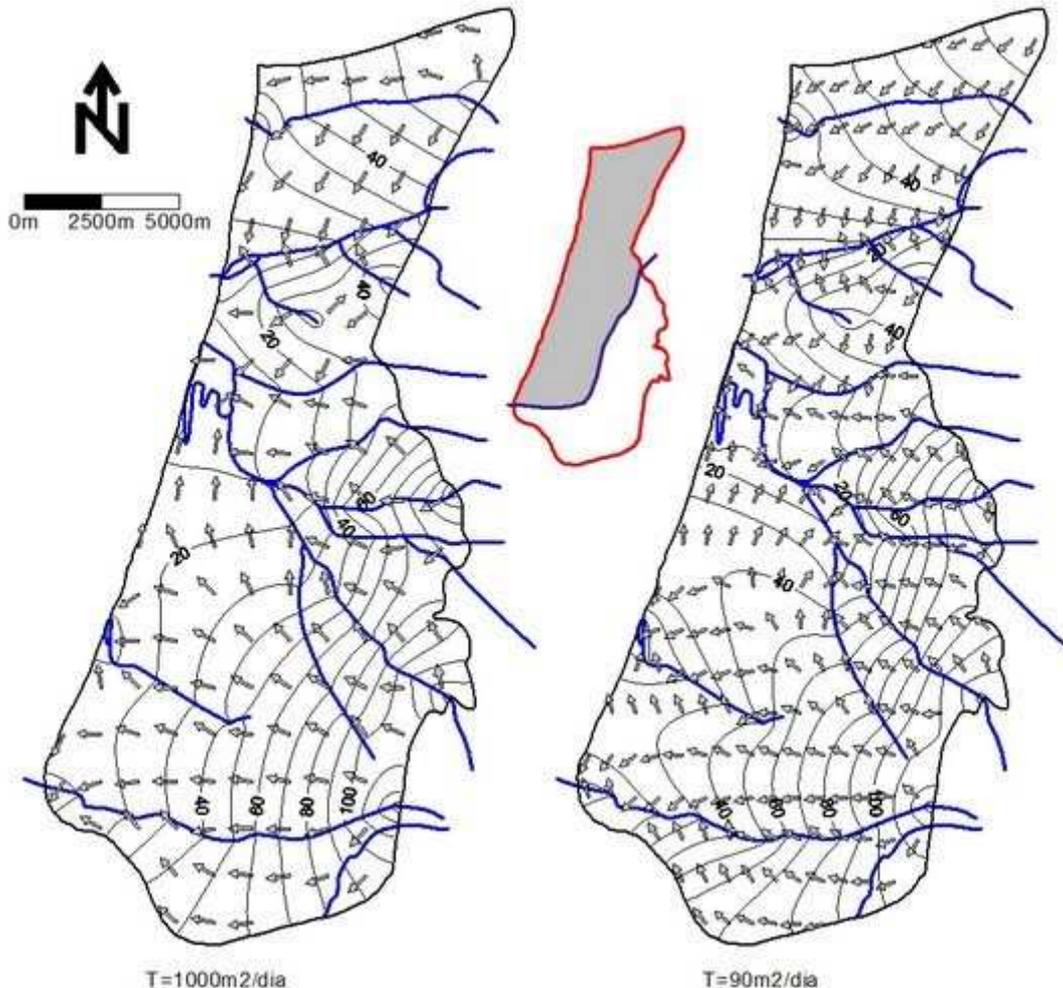


Fig. 52 – Superfície piezométrica e direcções de fluxo para o aquífero superficial do sistema aquífero de Sines

Fonte: <http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222222> e Monteiro *et al.* (2008)

Para as unidades jurássicas, segundo Silva e Almeida (1982 *in* Diamantino, 2001), os valores médios de piezometria estão às cotas de: (1) Jurássico inferior – 80 a 100 m; (2) Jurássico médio – 40 m; (3) Jurássico superior – 10 a 20 m. Estes autores consideram que esta diferença de cotas indica um isolamento hidráulico significativo entre as três séries jurássicas que as impede de funcionar com um único aquífero, ou seja, ter-se-á três níveis aquíferos independentes nas formações jurássicas.

Diamantino (2001) definiu um conjunto de mapas piezométricos relativos ao período entre Outubro de 1986 e Janeiro de 1995 (Fig. 53), para as formações jurássicas. Estes mapas,

obtidos a partir de piezómetros não influenciados por captações, na região entre Sines e Santo André, mostram uma inclinação geral da superfície piezométrica do interior para o litoral, admitindo-se que o escoamento seja de Este para Oeste, em direcção ao litoral e aproximadamente perpendicular à linha de costa (Lobo Ferreira *et al.*, 2000; Diamantino, 2001).

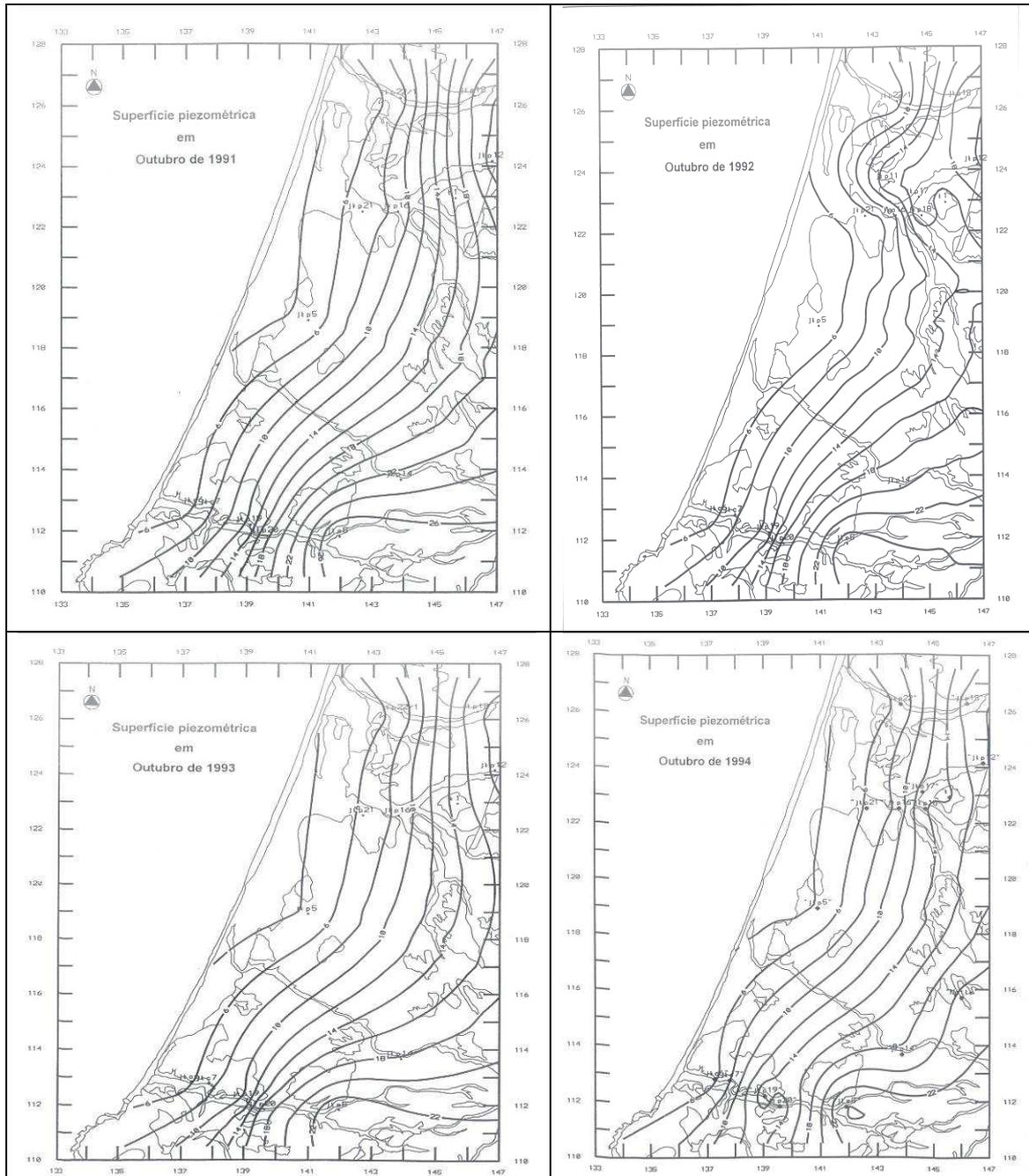


Fig. 53 – Evolução da superfície piezométrica no sistema aquífero de Sines

Fonte: Diamantino (2001)

6.4.4 Parâmetros hidráulicos

Almeida *et al.* (2000), [http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5), Diamantino (2001) Lobo Ferreira *et al.* (2000) e Lobo Ferreira *et al.* (2000a) apresentam os seguintes valores de parâmetros hidráulicos:

a) Transmissividade – Almeida *et al.* (2000) referencia valores entre 44 e 1 118 m²/dia como os mais frequentes para as formações jurássicas. Lobo Ferreira *et al.* (2000) e Lobo Ferreira *et al.* (2000a) apresentam valores de transmissividade das formações carbonatadas que vão de um mínimo de 1 a um máximo de 7 407 m²/dia. A transmissividade do aquífero superior miocénico é mal conhecida mas Lobo Ferreira *et al.* (2000) e Lobo Ferreira *et al.* (2000a), na base de dados <INVENTAR PBHSado.mdb>, apresentam os seguintes valores para captações (ex-Gabinete da Área de Sines) no Jurássico e no Miocénico (Quadro 18):

Quadro 18 – Transmissividades das formações do sistema aquífero de Sines

Unidades Lito-Estratigráficas	Ref. do Ponto de Água	Transmissividade (m ² /d)
Calcários jurássicos	505021041	46
Calcários jurássicos	516021026	10
Calcários jurássicos	516021038	72
Calcários jurássicos	516021039	620
Calcários jurássicos	516021040	43
Arenitos miocénicos	516021036	0,55

O valor para a unidade miocénica, embora não devendo ser tomado como representativo, concorda com Delgado Rodrigues e Roque (1990) que classificam as transmissividades da cobertura areno-argilosa como baixas. Diamantino (2001) refere que as areias de duna têm no geral permeabilidades muito elevadas e as formações plio-pleistocénicas tem permeabilidade no geral baixa embora possam existir níveis de granulometria mais grosseira que podem constituir aquíferos de importância local (Rodrigues e Borges, 1984). Monteiro *et al.* (2008) ao fazer modelação deste aquífero com vista à análise das relações águas superficiais/subterrâneas, conclui que o modelo tem as respostas mais realistas de funcionamento em transmissividades de 1 000 m²/d, para o conjunto das formações porosas (subsistema aquífero superior).

b) Coeficiente de armazenamento – a única informação sobre este parâmetro é a usada na modelação da intrusão salina, realizada por Diamantino (2001) e que considerou para a totalidade do aquífero um valor de coeficiente de armazenamento de 0,0001 e uma porosidade de 0,1. O armazenamento permanente, determinado por Lobo Ferreira *et al.* (2000a) como da ordem 1 010 hm³ para a totalidade do sistema aquífero. Lobo Ferreira *et al.* (2000) apresenta os seguintes valores de síntese para a porosidade eficaz, espessura e armazenamento permanente (Quadro 19):

Quadro 19 – Valores do armazenamento permanente para as formações do sistema aquífero de Sines

Geologia	Área (km ²)	Esp. (m)	Vol. (km ³)	Porosidade eficaz (%)				Armazenamento permanente							
				méd	mín	máx	opção	(mm)				(km ³)			
								méd	mín	Max	opção	Méd	mín	máx	opção
Rochas carbonatadas (Jurássico)	248	100	24,8	0,5	0	1	0,5	500	0	1000	500	0,12	0,00	0,25	0,12
Rochas detriticas (Cenozóico)		40	9,6	16	6	28	9	6300	2550	11000	3700	1,51	0,61	2,63	0,88
Biocalcarenito	239	10	2	3	0,5	20	5	300	50	2000	500	0,07	0,01	0,48	0,12
Arenito fino	239	10	2	10	0	20	2	1000	0	2000	200	0,24	0,00	0,48	0,05
Areia com pequenos seixos	239	10	2	25	10	35	15	2500	1000	3500	1500	0,60	0,24	0,84	0,36
Areia e cascalheira	239	10	2	25	15	35	15	2500	1500	3500	1500	0,60	0,36	0,84	0,36
Sines	248	139	34,4	4,74	1,77	8,37	2,93	6571	2457	11601	4066	1,63	0,61	2,88	1,01

CEZH/RNLSAS (2004) refere que a disponibilidade hídrica subterrânea na região é de 44 hm³/ano, com um volume anual médio de água extraível de 31 hm³/ano.

c) Produtividade – as produtividades para as várias formações aquíferas são, de acordo com Inverno *et al.* (1993):

- ◆ Plio-Plistocénico – média da ordem dos 5 l/s.
- ◆ Miocénico marinho – caudais até 10 l/s.
- ◆ Jurássico – caudais variam entre 3 e 70 l/s.

Para as **formações pós-jurássicas** Almeida *et al.* (2000) apresenta 7 valores – 1,2; 1,6; 2,5; 2,6; 4,5; 9,4 e 9,6 l/s – enquanto Lobo Ferreira e Calado (1989), para captações que no geral não excedem os 50 m de profundidade e em formações plio-plisto-quaténárias, referem produtividades médias de 5 l/s a 10 l/s. Diamantino (2001) afirma que nas aluviões podem ocorrer produtividades razoáveis nas zonas baixas da região, onde têm maiores espessuras, em especial se situadas nos cursos de água que drenam para a Lagoa de Santo André. Silva e Almeida (1982) consideram valores até 10 l/s para o Plio-Plistocénico grosseiro (ex.: Deixa-o-Resto, Brescos, Pegos e Vale de Rainha) e de 4 a mais de 10 l/s para o Miocénico. Lavaredas e Silva (1998), para o sistema terciário, dá valores entre 1,1 e 2,7 l/s, com caudal específico entre 0,07 e 1,2 l/s.m. Relativamente às formações miocénicas, Diamantino (2001) refere produtividade quase sempre baixa, excepto em Breijinhos e Sancha (caudais até 4 l/s e 6,5 l/s, respectivamente) e nos Pegos e Vale de Rainha (> 10 l/s) e Lobo Ferreira e Calado (1989) e Delgado Rodrigues e Roque (1990) referem casos superiores a 20 l/s na área mais profunda da bacia de Santo André. De citar ainda Inverno *et al.* (1993) que refere caudais da ordem das dezenas de m³/h para as nascentes de Melides, as quais, a considerar a descrição deste autor, têm um importante papel ecológico já que suportam o reabastecimento da Lagoa de Melides. Costa (1989) faz um zonamento das produtividades do conjunto das formações porosas, considerando uma área de alta produtividade (e permeabilidade) entre Sul de Monte Paio até ao limite Norte do sistema aquífero, estendendo-se para o interior até à zona de Melides (> 7 l/s.km²), e uma área de produtividade significativa (2 a 7 l/s.km² e permeabilidade média a baixa) a S e E da área de alta produtividade.

Para as **formações jurássicas**, Almeida *et al.* (2000) calculou os seguintes parâmetros de produtividade, a partir de 13 dados (Quadro 20):

Quadro 20 – Produtividades para as formações carbonatadas jurássicas do sistema aquífero de Sines

Média (l/s)	Desv. Padrão (l/s)	Mín. (l/s)	Q ₁ (l/s)	Mediana (l/s)	Q ₃ (l/s)	Max. (l/s)
27,6	39,2	0,3	1,4	15,0	23,8	125,0

*para um coeficiente de variação de 141% (INAG, 1997, *in* Lobo Ferreira *et al.*, 2000)

A heterogeneidade das produtividades destas formações é também assinalada por Diamantino (2001), que refere vários furos improdutivos ou muito pouco produtivos – e caudais entre 3 e 42 l/s (conforme também a Silva e Almeida, 1982) – e por Lobo Ferreira *et al.* (2000), que regista valores entre os 0,03 e 125 l/s (informação da base de dados <INVENTAR PBHSado.mdb>). Delgado Rodrigues e Roque (1990) registam produtividades máximas de 100 l/s e Lavaredas e Silva (1998) consideram valores de produtividades geralmente acima dos 10 l/s podendo chegar até aos 100 l/s. Os valores máximos considerados por todos estes autores são superiores aos máximos considerados por Inverno *et al.* (1993).

Em termos de zonamento de produtividades por litologias Diamantino (2001) referem que as formações liásicas têm produtividades até 18 l/s, as formações do Dogger (Jurássico médio) têm no geral baixas produtividades (furos JKp6 e JKp14) que podem ocasionalmente tornar-se boas

(ex.: furo JKp9) e que as formações do Malm (Jurássico superior) tem produtividades muito variáveis, com regiões de produtividades muito elevadas e zonas onde as produtividades são baixas.

Em termos de zonamento geográfico Lobo Ferreira *et al.* (2000) afirma que os valores mais baixos ocorrem no extremo N do sistema (entre os 0,5 e 3,3 l/s) e as áreas de maior produtividade (valores no geral acima de 20 l/s, atingindo até mais de 100 l/s nalguns casos) se situam a NE de Sines (Zona da Ribeira dos Moinhos) e na região de Santo André; na zona de Santiago do Cacém até S de Monte da Vinha as produtividades variam entre 0,83 e 5,1 l/s, sendo em regra quase todas superiores a 2 l/s. Costa (1989), para a área Este do sistema aquífero, e nas unidades carbonatadas aflorantes, atribui valores entre 2 a mais de 7 l/s.km². Diamantino (2001) define para o Malm grandes caudais e pressões hidrostáticas, em especial a W da falha de Santo André que estarão associadas ao carso juvenil profundo. Fora das áreas de alta produtividade Diamantino (2001) afirma que as produtividades são no geral baixas e Rodrigues e Borges (1984) admitem que a grande produtividade da região de Ribeira dos Moinhos se deva à intensa fracturação das formações provocada pelo maciço eruptivo de Sines. Diamantino (2001) tem valores de caudais médios para o conjunto das captações em: (1) Santo André – de 5 789 m³/dia; (2) Ribeira de Moinhos – de 10 550 m³/dia.

Relativamente aos caudais específicos Lavaredas e Silva (1998, *in* Lobo Ferreira *et al.* 2000) referem um leque de valores entre 0,01 e 26,6 l/s.m, e afirmam que no geral estes caudais são significativamente inferiores nas formações terciárias. Contudo, como se pode ver do Quadro 21, a dispersão de valores é muito maior nas formações jurássicas, o que reflecte a grande heterogeneidade deste aquífero.

Quadro 21 – Caudais específicos no sistema aquífero de Sines

Formação	Local	Caudal específico (l/s.m)
Jurássicas	Santo André	0,01 a 0,08
	Ribeira de Moinhos	0,5 a 26,6
	Porto Peixe	2,6
	Monte Velho	2,7
	Lezíria	1,0
	Vale da Rainha	4,58
	Complexo de Sines	0,05 a 0,17
	Quinta de Pegos	0,5
	Casoto	1,3
Cenozóicas	<i>Cerca Velha</i>	1,2
	<i>Lentiscais</i>	0,1
	<i>Litoral Santo André</i>	0,41
	<i>Deixa-o-Resto</i>	0,07

6.4.5 Balanço hídrico

6.4.5.1 Recargas

De acordo com Diamantino (2001) a recarga directa das formações jurássicas dá-se sobretudo na bordadura oriental do sistema aquífero – na zona alta – onde afloram estas formações ao longo de uma estreita faixa, mais ou menos contínua. As formações jurássicas são recarregadas ainda por drenância dos depósitos detríticos sobrejacentes e, eventualmente, por alguma influência dos cursos de água (INAG, 1997, *in* Lobo Ferreira *et al.* 2000); esta recarga diferida

admite-se que seja a percentagem mais significativa da recarga total, dada a pequena área de afloramento destas formações (INAG, 1997). O aquífero superficial (formações miocénicas e plio-pleistocénicas) tem recarga directa ao longo da sua extensa área de afloramento, recarga a partir da rede hidrográfica (à qual também cede água), podendo também, em condições a isso favoráveis, receber recarga a partir aquíferos jurássicos subjacentes (Diamantino, 2001). Algumas destas formações de cobertura têm coeficientes de infiltração muito elevados (ex.: as areias de duna; cf. Diamantino 2001), mesmo que, pelas suas reduzidas dimensões possam não constituir níveis aquíferos significativos.

A recarga potencial média foi calculada por Moinante *et al.* (1994) em 56 hm³/ano (224 mm/ano). Lobo Ferreira *et al.* (2000a) e Lobo Ferreira *et al.* (2000) calcularam, pelo método de Vermeulen *et al.* (1993, 1994), para a totalidade da área do sistema aquífero de Sines e admitindo uma precipitação média de 610 mm/ano, os valores que se apresentam no Quadro 22, assumindo nas áreas de afloramento das formações cársicas que a recarga corresponde ao escoamento total.

Quadro 22 – Recargas para o sistema aquífero de Sines

Recarga Max. (mm/a)	Recarga Mín. (mm/a)	Recarga Méd. (mm/a)	Recarga Méd. (hm ³ /a)	Precipitação média (mm/a)	Taxa de recarga média (%)
292	1	177	44	610	29

Nota: Os valores de recarga máxima e mínima referem-se aos valores estimados para as diferentes secções de afloramento deste sistema hidrogeológico

Henriques e Rodrigues (1987, in Almeida *et al.* 2000), considera um valor mais modesto, 31,5 hm³/ano (4 l/s.km²), valor que foi adoptado por Almeida *et al.* (2000) e [http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32). Monteiro *et al.* (2008) admite um valor similar de recarga (32 hm³/ano) dividido em 12 hm³/ano para a área de recarga do aquífero profundo (95 km²) e 20 hm³/ano para a área de recarga do aquífero superficial (cerca de 155 Km²).

6.4.5.2 Descargas

Rodrigues e Roque (1990) atribuíram menos de 0,5 hm³/ano para as extracções para **abastecimento domiciliário** no concelho de Sines (para a população residente em 1981 e capitação de 100 l/dia). Lobo Ferreira *et al.* (2000) dão valores de extracções de 2,19 m³/ano para abastecimento (para o ano de 1994, de acordo com o Inventário Nacional do Saneamento Básico). EURO MILLÉNIUM (1999) determinou, para o abastecimento doméstico + industrial (embora os volumes para a indústria sejam mínimos) um valor muito mais baixo, da ordem dos 1,06 hm³/ano. Os **consumos agrícolas** variam entre 1,8 hm³/ano (Lobo Ferreira *et al.*, 1995) e 1,3 hm³/ano (Rodrigues e Roque, 1990).

Assim, enquanto Rodrigues e Roque (1990) consideram valores de extracções (urbano+agrícola) inferiores a 1,8 hm³/ano, Lobo Ferreira *et al.* (2000) consideram um de 2,86 hm³/ano. Estes valores não consideram as saídas a partir de eventuais nascentes, especialmente as que possam ocorrer ao longo da orla marítima. Por seu lado Henriques e Rodrigues (1987, in Almeida *et al.* 2000) calculam como **valor total médio das saídas** de água 6,6 hm³/ano. Este valor, que apontaria para um significativo n.º de saídas naturais, escoadas pela rede de drenagem e eventualmente através de nascentes costeiras (Diamantino, 2001), foi adoptado por [http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32](http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32) e Almeida *et al.* (2000).

6.4.5.3 Balanço hídrico

Segundo os valores de Lobo Ferreira *et al.* (2000), para extracções totais de 2,86 hm³/ano e de recarga de 44 hm³/ano, o balanço hídrico será da ordem dos **41 hm³/ano**. De acordo com Almeida *et al.* (2000), para um valor de saídas de 6,6 hm³/ano e de recarga de 31,5 hm³/ano, o balanço hídrico cifra-se nos **25 hm³/ano**. Esta grande discrepância de valores dever-se-á à utilização de metodologias muito distintas no cálculo da recarga. Almeida *et al.* (2000) além de admitirem que os seus valores possam estar sobreavaliados, consideram que o sistema aquífero será largamente excedentário.

Refira-se que em nenhum dos casos foram considerados – pela dificuldade de estimar ou medir os seus valores – os caudais das nascentes, em especial das que descarregam para as linhas de água ou eventuais emergências submarinas, podendo assim admitir-se que os valores reais do balanço hídrico sejam inferiores aos apresentados.

Lobo Ferreira *et al.* (2000) e Lobo Ferreira *et al.* (2000a) calcularam ainda a disponibilidade hídrica subterrânea (DHS) e os volumes extraíveis (VS), tendo obtido os seguintes valores (Quadro 23):

Quadro 23 – Disponibilidades hídricas e volumes extraíveis do sistema aquífero de Sines

DHS Min. (mm/a)	DHS Max. (mm/a)	DHS Méd. (mm/a)	DHS Méd. (hm ³ /a)	VS Min. (mm/a)	VS Max. (mm/a)	VS Méd. (mm/a)	VS Méd. (hm ³ /a)
1	292	177	44	1	204	124	31

Nota: As disponibilidades hídricas subterrâneas máxima e mínima e volumes extraíveis máximo e mínimo referem-se aos valores estimados para as diferentes secções de afloramento deste sistema aquífero.

De acordo com estes autores, como o armazenamento permanente do sistema aquífero é superior à recarga anual média, as disponibilidades hídricas subterrâneas consideram-se iguais à recarga anual média (44 hm³/ano). O volume extraível calculou-se em 31 hm³/ano (70 % da recarga média).

Os valores do balanço hídrico sugerem que globalmente o sistema aquífero não se encontra em sobreexploração, o que é expresso em Lobo Ferreira *et al.* (2000b), que calcularam a percentagem das extracções sobre os volumes extraíveis (Quadro 24):

Quadro 24 – Percentagens de consumos versus volumes extraíveis do sistema aquífero de Sines

Consumos (hm ³ /ano)			Volume extraível (hm ³ /ano)	Consumos vs. Volume extraível (%)
Doméstico + Industrial	Agrícola	Totais		
1,062	1,8	2,86	20,8	14

Localmente podem contudo ocorrer situações de sobreexploração. Um destes eventuais casos pode situar-se a S e SE da Lagoa de Santo André, onde alguns pares de captação/piezómetros apresentam níveis piezométricos abaixo do nível médio do mar (Diamantino, 2001).

6.4.6 Funcionamento do sistema aquífero

Este é um sistema multiaquífero, com um aquífero profundo, desenvolvido em calcários carsificados jurássicos, e um aquífero superficial, desenvolvido em materiais porosos miocénicos a quaternários (em que as formações miocénicas são consideradas, por Almeida *et al.* (2000), como as mais produtivas). A unidade mais importante é a unidade cársica jurássica, que aflora

numa estreita faixa alongada aproximadamente N-S entre Vale de Olhos e S de Melides, no extremo leste da bacia sedimentar que deu origem a este sistema aquífero; esta unidade está coberta pelas formações pós-mesozóicas em toda a restante bacia até ao litoral.

As formações pós-mesozóicas apresentam-se sub-horizontais e afectadas pela fracturação neotectónica. As formações jurássicas apresentam dobramentos de grande raio de curvatura e dobras, fracturas e filões associadas à instalação do maciço de Sines. Além das estruturas associadas ao maciço de Sines, as formações jurássicas estão ainda afectadas por numerosa fracturação, que dividiu estas formações em numerosos blocos. Esta fracturação condicionou o desenvolvimento das condutas cársicas nos vários níveis carbonatados jurássicos e condiciona a circulação dentro e entre os blocos, sendo geralmente zonas preferenciais de circulação, excepto quando estão argilificadas ou põem em contacto formações impermeáveis, passando então a funcionar como barreiras (Silva e Almeida, 1982). A fracturação condiciona igualmente as transferências de água entre o aquífero jurássico e o aquífero superficial detrítico pós-mesozóico. As ligações com a superfície por parte dos aquíferos são reflectidas pelas oscilações sazonais de diversas captações e furos de pesquisa.

De acordo com Costa (1989) e com os resultados da modelação de Diamantino (2001) e de Monteiro *et al.* (2008) o fluxo, entre a latitude da Lagoa de Santo André e a de Sines, ocorre:

1. **Para as formações jurássicas** – de Este para Oeste, em direcção ao oceano e perpendicularmente à linha de costa (Fig. 54), partindo do extremo Este da bacia, que corresponde à área de recarga directa das formações carbonatadas. Percursos mais curtos, também de direcção Este para Oeste, no sentido do mar, podem estabelecer-se quer onde localmente as formações jurássicas aflorem na zona baixa da bacia, ou as formações cenozóicas estabeleçam zonas de descarga para os calcários jurássicos. No sector litoral – de acordo com os resultados da modelação de Monteiro *et al.* (2008) – ocorre a descarga das águas do maciço cársico, quer em emergências à superfície (ou no oceano), quer para o aquífero superior detrítico.

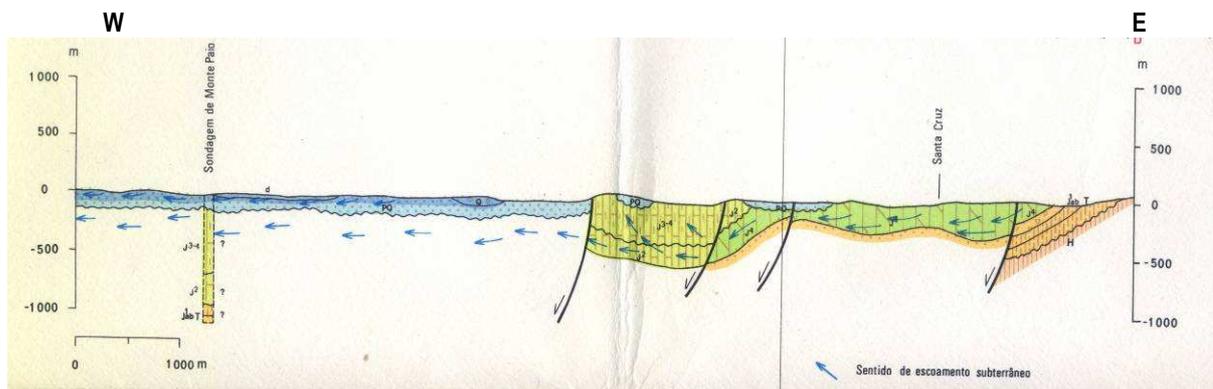


Fig. 54 – Direcções regionais de fluxo no sistema aquífero de Sines

Fonte: Costa (1989)

2. **Para as formações pós-mesozóicas** – igualmente, em termos gerais, de Este para Oeste em direcção ao mar mas aqui a influência das ribeiras desvia localmente o fluxo, tornando-o mais complexo (Fig. 52). Assim, as ribeiras, que podem ter um carácter influente nos sectores de montante, têm por via de regra um comportamento efluente nos sectores de jusante. Algumas ribeiras (ex.: Melides e Ribeira da Ponte) parecem, de acordo com Fig. 52, receber contribuição das águas do aquífero superficial ao longo de toda a sua extensão.

Pode assim definir-se um conjunto de sectores neste sistema aquífero com o seguinte funcionamento aquífero (Diamantino, 2001):

a) **Zona dos afloramentos carbónicos** – define o limite oriental do sistema aquífero e é a zona de cabeceira das linhas de água mais importantes; funciona de forma indirecta como zona de alimentação dos aquíferos a jusante, por transferência do escoamento superficial através destas linhas de água, até às áreas de infiltração.

b) **Zona alta** – inclui as zonas montante das principais linhas de água; zona principal de afloramento das formações jurássicas, a que se associam algumas formações de cobertura é a principal área de recarga dos aquíferos jurássicos.

c) **Zona baixa** – situa-se a W do alinhamento de Cativa-Maria da Moita e inclui a maior parte da bacia hidrográfica da Ribeira da Sancha; zona tectonicamente afundada, sem afloramentos de formações jurássicas ou miocénicas. Zona preponderante de circulação através dos aquíferos profundos, que vão descarregar no litoral e na Lagoa de Santo André. É também uma zona de infiltração importante para as formações plio-pleistocénicas e (por drenância) para as formações miocénicas.

d) **Bacia da Ribeira dos Moinhos** – neste sector a boa permeabilidade das formações jurássicas deve-se à proximidade ao maciço eruptivo de Sines (e conseqüente fracturação e dobramento das unidades jurássicas). A circulação está condicionada ainda por barreiras impermeáveis, definidas pelos filões e apófises ígneas associados a este maciço intrusivo.

Segundo Almeida *et al.* (2000) e http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32 a recarga do **sub-sistema aquífero superficial poroso** faz-se por via directa ao longo de toda a sua área de afloramento e também por infiltração da água do escoamento das ribeiras, nos sectores onde estas cedem água para a profundidade; como se viu acima, estas formações também podem receber recarga do aquífero cársico profundo, especialmente na região litoral, em condições em que o equilíbrio piezométrico não haja sido perturbado pelas extracções (Diamantino, 2001). Conforme ainda aos mesmos autores, o **sub-sistema aquífero profundo cársico** tem recarga directa nas suas zonas de afloramento – no limite leste do sistema – e uma recarga diferida, que deverá ser significativa, por drenância do aquífero superficial poroso; pontualmente podem ocorrer ligações hidráulicas entre a rede hidrográfica e as formações jurássicas (nos sectores a Este, e normalmente por infiltração do escoamento das ribeiras nas formações carbonatadas).

Pormenorizando, tem-se a seguinte sucessão de níveis aquíferos:

1. **Sub-sistema aquífero poroso superficial** – constituído pelas formações detríticas mio-pleistó-quaternárias (Inverno *et al.*, 1993; Lobo Ferreira *et al.*, 2000; Diamantino, 2001):

a) **Unidade plio-quaternária** – formada por aquíferos freáticos muito superficiais, no geral de reduzidas dimensões, e por aquíferos semi-confinados e confinados sitos a profundidades moderadas, sendo que os aquíferos mais profundos podem apresentar muito boa produtividade, em especial se as espessuras tiverem dimensão relevante. Esta unidade aquífera tem ainda um importante papel na alimentação por drenância dos aquíferos sitos nas formações jurássicas. Os aquíferos mais superficiais ocupam os espaços interfluviais e raramente os ultrapassam, estabelecendo amiúde relações hidráulicas com a rede hidrográfica, seja de modo directo – quando esta intersecta o aquífero – ou de modo indirecto (através das aluviões), tendendo de um modo geral a receber contribuições dos aquíferos na sua secção de jusante e, admite-se, a contribuírem para a recarga dos aquíferos nos sectores de montante das linhas de água. Esta unidade é constituída pelos seguintes aquíferos:

a.1. Aluviões – podem constituir aquíferos de razoável produtividade se localizados na zona baixa da região, onde têm maiores espessuras, e em especial se em cursos de água que drenam para a Lagoa de Santo André. São aquíferos muito vulneráveis e

tradicionalmente explorados para a actividade agrícola (regas). Nas zonas das lagoas, estes sedimentos limitam a conexão hidráulica entre o meio hídrico superficial e o aquífero freático; por seu lado, e no geral nas zonas terminais das ribeiras, onde os sedimentos são mais grosseiros, dá-se a ligação hidráulica entre o aquífero e a rede de drenagem, com o aquífero a descarregar para as linhas de água (Monteiro *et al.*, 2008).

a.2. Areias de duna – sitas ao longo da zona costeira, podem originar aquíferos suspensos no contacto com formações subjacentes menos permeáveis, tendo interesse só à escala local.

a.3. Plio-Plistocénico – aquífero complexo multicamada, com níveis aquíferos livres, confinados e semi-confinados, limitados por aquitardos ou impermees espessos. No geral os níveis aquíferos ocorrem, a N e NE de Sines, a profundidades abaixo dos 9 m mas em Sancha, Galiza e Relvas Verdes são aflorantes. O relevo suave da maior parte da sua área de afloramento favorece a infiltração; na zona alta da bacia estes depósitos são pouco espessos, estão muito recortados pelas linhas de água e contactam com o carbónico e o Jurássico; na zona baixa (onde assentam sobre o Miocénico) a sua espessura é bastante significativa, podendo desenvolver aquíferos significativos. Embora de produtividades e permeabilidades no geral baixas, tem produtividades significativas nas zonas de Deixa-o-Resto, Brescos, Pegos e Vale de Rainha. As zonas mais produtivas estão no geral associadas a depósitos mais grosseiros.

b) **Unidade miocénica** – as formações do Miocénico marinho formam aquífero importante (Almeida *et al.*, 2000), em ligação hidráulica com as formações sobrejacentes e as formações jurássicas subjacentes. Dada a sua escassa área de afloramento, é recarregado a partir sobretudo das formações plio-pleistocénicas, nas zonas onde há contacto por litologias permeáveis a semi-permeáveis; podem contudo estabelecer-se fluxos no sentido inverso, em condições em que o desequilíbrio piezométrico entre as duas unidades aquíferas o permita. O Miocénico serve também como zona de recarga diferida para o aquífero jurássico, embora, em zonas onde os níveis piezométricos jurássicos estejam acima dos miocénicos (ex.: região costeira, quando em condições de não perturbação hidrostática) a circulação se possa realizar no sentido inverso, ou seja do aquífero jurássico para o miocénico, desde que existam estruturas tectónicas e/ou zonas de litologias permeáveis que permitam este contacto hidráulico.

2. Sub-sistema aquífero cársico profundo – de grande complexidade estrutural, está compartimentado tectonicamente numa sucessão de blocos – em que é definida uma crista que passa por Outeiro Alto e Cabeço do Barro, separando duas depressões cujo desenvolvimento se inicia na ribeira de Moinhos e se prolongam para N – originados pela rede de falhas. Esta rede de falhas controla o desenvolvimento da carsificação (que é variável para as diferentes formações), a circulação e os padrões de fluxo, assim como a capacidade de armazenamento, conferindo grande variabilidade de armazenamento, transmissividade e produtividade. Estes diferentes blocos têm conexões variáveis com o fluxo regional de descarga, que se dá para ocidente, e se admite que descarregue no litoral submarino (Monteiro *et al.*, 2008). Por regra, e embora as formações jurássicas atinjam profundidades superiores, a percolação de água raramente é significativa abaixo dos 200 m (Diamantino, 2001). Este aquífero tem carácter artésiano – com captações por vezes repuxantes (ex.: captações de Porto Peixe, Galiza, Judia e Monte Velho) – no sector ocidental, devido às condições de confinamento das unidades carbonatadas, originadas pela presença de níveis impermees (Diamantino, 2001; Monteiro *et al.*, 20). A recarga faz-se por infiltração directa nas zonas de afloramento, e por drenância a partir das formações detriticas pós-mesozóicas; embora esta drenância possa ocorrer em diferentes áreas da bacia, Monteiro *et al.* (2008) consideraram, no seu modelo matemático, que a principal área de recarga por drenância se situa na bordadura Este e Sudeste⁹ (cf. Fig. 50, sector a Este

⁹ Nesta região as formações plio-pleistocénicas estão com frequência em contacto directo com as unidades jurássicas devido à não ocorrência das litologias miocénicas.

da linha tracejada); contudo, exemplos de drenância das formações pós-mesozóicas para as formações jurássicas fora desta área ocorrem em Breijinhos (zona dos furos Jkp5 e Jkp7), onde se observou que o fluxo se dá no sentido descendente (Diamantino, 2001). Quando as condições litológicas, estruturais e piezométricas são adequadas ocorre também descarga dos aquíferos jurássicos para as unidades pós-mesozóicas (e eventualmente para zonas pontuais das ribeiras), em especial ao longo dos acidentes tectónicos, como é por exemplo o caso da zona de Santo André, em condições de não perturbação do sistema (Diamantino, 2001); as zonas mais favoráveis para estas descargas ocorrem na bordadura litoral, onde os níveis piezométricos das formações jurássicas se situam acima dos níveis piezométricos das formações miocénicas (Monteiro *et al.*, 2008; Lobo Ferreira *et al.*, 2000b). Esta ligação entre as unidades aquíferas porosas pós-mesozóicas e as unidades aquíferas carbonatadas jurássicas é expressa pelas fácies hidroquímicas mistas encontradas em certas regiões do sistema aquífero (Monteiro *et al.*, 2008). Este subsistema aquífero pode ser dividido nas seguintes unidades aquíferas, o que é expresso pelos diferentes níveis piezométricos definidos para cada uma destas unidades e que, segundo Silva e Almeida (1982), reflectem barreiras hidráulicas importantes entre si:

a) **Jurássico superior (Malm)** – níveis piezométricos às cotas de 10 a 20 m (Silva e Almeida, 1982). Corresponde a um carso juvenil desenvolvido em profundidade (Manuppella, 1983), embora com carsificação menos intensa que nas formações do Jurássico médio; este carso tem grandes caudais e pressões hidrostáticas, em especial a W da falha de Santo André. Dada a grande variabilidade espacial da fracturação e carsificação, tem produtividade muito variável. As áreas mais produtivas são: (1) zona das captações JKc2a, JKc3, JKc4 e JKc8; (2) zona terminal da Ribeira dos Moinhos (neste último caso devido à fracturação intensa associada ao maciço eruptivo de Sines; *cf.* Rodrigues e Borges, 1984). A restante área tende a apresentar produtividade baixa.

b) **Jurássico médio (Dogger)** – níveis piezométricos às cotas de 40 m (Silva e Almeida, 1982). A carsificação é superior à dos calcários do Malm, sendo a carsificação mais intensa nos calcários de Rodeado (os mais antigas). A sua produtividade parece ser no geral baixa, embora o furo JKp9 tenha apresentado boa produtividade.

c) **Jurássico inferior (Lias)** – níveis piezométricos situam-se às cotas de 80 a 100 m, não havendo dados conhecidos sobre eventual carsificação.

As simulações matemáticas de Monteiro *et al.* (2008) revelam uma distribuição das piezometrias similar à acima mencionada (Fig. 55).

Embora as indicações existentes até ao momento não pareçam indicar condições de sobreexploração – a tendência de descida dos níveis piezométricos até 1993, referida por Diamantino (2001), poderá ser um reflexo do período de seca que ocorreu entre 1991 e 1995 – a modelação da intrusão salina realizada por esta mesma autora sugere que, na zona de Santo André, para volumes de extracção superiores a 11 578 m³/dia, são produzidos rebaixamentos importantes e a interface água doce/água salgada tende a avançar para o interior. Uma resposta similar do modelo ocorre na zona da Ribeira dos Moinhos para um aumento dos caudais de exploração. Alguns casos de salinização que ocorrem neste sistema aquífero demonstram aspectos locais de funcionamento:

a) **Captação da Palhota** – sita na margem direita da Ribeira da Cascalheira, os elevados teores de cloretos não parecem estar relacionados com intrusão salina pois os níveis no piezómetro mais próximo (JKp13) estão muito acima do nível do mar. É de admitir que esta salinização possa ser resultado de influências diapíricas ou mobilização de águas salinas fósseis (Diamantino, 2001).

b) **Furo JKc6** – sito na Ribeira dos Moinhos, a 1 km de distância do litoral e onde esta ribeira forma uma pequena lagoa salobra. Sendo pouco provável que a salinização se deva a infiltração a partir da lagoa, e considerando que o furo JKc7 (sito a pouca distância) tem um aumento muito gradual dos cloretos, então será possível que a salinização do JKc6 se deva a um processo muito localizado de salinização que não se estende ao JKc7 (Diamantino, 2001). Em alternativa pode admitir-se que o furo JKc6 intersectou a cunha salina desde o seu início, mas que esta não teve significativo avanço para o interior, dada a reduzida subida dos cloretos ao longo do tempo em JKc7. Ambas as hipóteses podem explicar porque as diagrfias realizadas indicam um aumento ligeiro dos cloretos para a base da captação (Rodrigues, 1990).

c) **Furo JKc7** – sito na Ribeira dos Moinhos, 500 m a montante do JKc6, capta as formações pliocénicas (Rodrigues, 1990). Diamantino (2001) considera que os teores anómalos neste furo se devem à infiltração de águas a partir da lagoa acima citada, associada ao uso destas mesmas águas para irrigação dos arrozais que existem na vizinhança da captação.

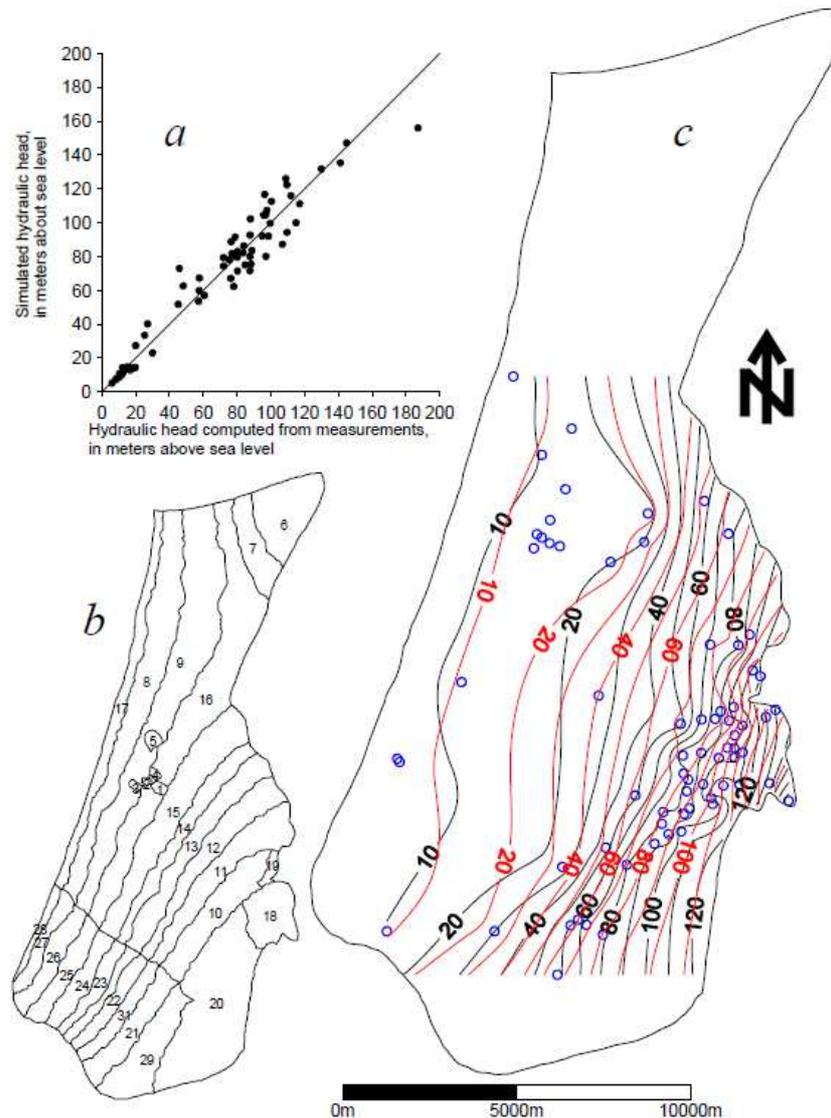


Fig. 55 – Níveis piezométricos observados (a negro) e simulados por modelação matemática (a vermelho) para o sistema aquífero de Sines

Fonte: Monteiro *et al.* (2008)

Refira-se em nota de rodapé que as formações triásico-hetangianas podem ter interesse aquífero à escala local, quando associadas a zonas de fracturação intensa, com fluxo significativo de água (Rodrigues e Borges, 1984).

Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Setembro de 2010

VISTOS

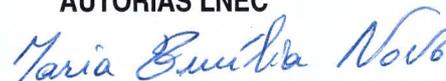


J.P. Cárcamo Lobo Ferreira
Chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas



Rafaela de Saldanha Matos
Directora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente

AUTORIAS LNEC



Maria Emília Novo
Geóloga, Doutra em Ciências do Ambiente
Investigadora Auxiliar
Núcleo de Águas Subterrâneas

Bibliografia

<http://algarvedir.com/CMS/section-blog/32-portuguese/160-guia-percursos-pedestres-algarve.html>

<http://dre.pt/pdf1sdip/1991/10/233A00/52815285.pdf>

http://mlking.cm-loule.pt/index2.php?option=com_content&do_pdf=1&id=31

http://portal.icnb.pt/NR/rdonlyres/115C846F-C85F-4F57-8758-7DE8AA662E5A/0/%C3%81reasProtegidasestatutos_de_conservacao.pdf

<http://portal.icnb.pt/ICNPortal/vPT2007-AP-LagoasSAndre/A+Reserva/Valores+Naturais/Geologia+Hidrologia+e+Clima/?res=922x691>

http://rochadapena.no.sapo.pt/pages/enquadr_geolog.htm

<http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home222222>

<http://sites.google.com/site/jppmonteiro/home2222223>

http://snirh.pt/snirh/atlas_portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M3

http://snirh.pt/snirh/atlas/portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=M5

http://snirh.pt/snirh/atlas_portugues/docs/aquiferos_PortugalCont/mostra_ficha.php?aquif=O32

http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/rh_barlavento.pdf

http://www.aguas.ics.ul.pt/faro_benemola.html

<http://www.cima.ualg.pt/valemon/geologia.html#>

http://www.cm-loule.pt/index.php?option=com_content&task=view&id=244&Itemid=290

http://www.icn.pt/dia_mundial_zonas_humidas.htm

http://www.igeo.pt/atlas/Cap1/Cap1e_4.html

http://www.igeo.pt/atlas/Cap1/Cap1e_p76_image.html

Almeida, C., 1985 – *Hidrogeologia do Algarve Central*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Doutor em Geologia. Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa, pp. 333.

Almeida, C., Mendes, J.L., Jesus, M. R., Gomes, A.J., 2000 – *Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Instituto da Água e Centro de Geologia da FCUL, Lisboa, pp. 477-489.

Andrade, G., 1989 – *Contribuição para o Estudo da Unidade Hidrogeológica Tôr-Silves*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada. Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa.

Cabral, J., Ribeiro, A., 1988 – *Carta Neotectónica de Portugal Continental, Escala 1:1 000 000*. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa - Departamento de Geologia, Gabinete de Protecção e Segurança Nuclear, pp. 10.

Carreira, P.M.M., 1991 – *Mecanismos de Salinização dos Aquíferos Costeiros do Algarve*. Relatório de Actividades. Laboratório Nacional de Engenharia e Tecnologia Industrial, Sacavém, pp. 130.

CEZH/RNLSAS, 2004 – *Reserva Natural das Lagoas de St.º André e Sancha, uma Contribuição para o Plano de Gestão*. Instituto da Conservação da Natureza / Centro de Zonas Húmidas., pp. 111. In: http://portal.icnb.pt/NR/rdonlyres/C10C43DD-6F7E-4EF2-BAE6-DF902E58F00C/0/RNL/SASGestao_Contribuicao_2004.pdf.

Costa, E.F., (coord.), 1989 – *Carta Hidrogeológica do Sul de Portugal, Escala 1:200 000, Folha 7 e Folha 8*. Serviços Geológicos de Portugal. Lisboa

Costa, F.E., Brites, J.A., Pedrosa, M.Y., Silva, A.V., 1985 – *Carta Hidrogeológica da Orla Algarvia, Escala 1:100 000, Notícias Explicativa*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Delgado Rodrigues, J., Roque, A., 1990 – *Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Algarve e Alentejo*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório LNEC 97/90 – NP, pp. 65.

Diamantino, C., 2001 – *Intrusão Salina: Caracterização da Situação na Faixa Costeira de Portugal Continental e Aplicação de um Modelo matemático a uma Região a Norte de Sines*. Informação Científica Hidráulica, INCH 6, LNEC, pp. 143.

Direcção de Serviços de Monitorização Ambiental, 2003 – *Recursos Hídricos na Região do Algarve: Situação em Maio de 2003*. Ministério das Cidades, Ordenamento do Território e Ambiente, Direcção Regional do Ambiente e do Ordenamento do Território do Algarve, Divisão de Monitorização Ambiental, pp. 94. In: http://www.ccdr-alg.pt/ccdr/parameters/ccdr-alg/files/File/documentos/ambiente/recursos_hidricos/Recursos_Hidricos_200305.pdf.

EURO MILLÉNIUM, 1999 – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado. Avaliação das Necessidades de Água para o Abastecimento Doméstico e Público*. Euro Millénium, Estudos e Projectos, Lda. Évora, Maio de 1999, pp. 12.

Henriques, P.C., 2006 - *Áreas Protegidas de Portugal Continental – Estatutos de Conservação*. ICNB – DID, Lisboa, pp. 10. In: http://portal.icnb.pt/NR/rdonlyres/115C846F-C85F-4F57-8758-7DE8AA662E5A/0/%C3%81reasProtegidasestatutos_de_conservacao.pdf.

INAG, 1997 – *Definição, Caracterização e Cartografia dos Sistemas Aquíferos de Portugal Continental*. Estudo coordenado pelo Prof. Costa Almeida, Faculdade de Ciências de Lisboa, para o Instituto da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, Divisão de Recursos Subterrâneos, 236 pp.

Inverno, C.M., Manuppella, G., Zbyszewski, G., Pais, J., Ribeiro, M.L., 1993 – *Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 42-C: Santiago do Cacém*. Serviços Geológicos de Portugal, 75 pp.

Ittersum, M.K., Howden, S.M., Asseng, S., 2003 – *Sensitivity of Productivity and Deep Drainage of Wheat Cropping Systems in a Mediterranean Environment to Changes in CO₂, Temperature and Precipitation*. Agriculture Ecosystems & Environment, Vol. 97, pp. 255-273

Lavaredas, J.M., Silva, M.O., 1998 – *Contribuição para o Conhecimento Hidrogeológico do Sistema Aquífero de Sines*. Lisboa, Comunicação apresentada ao 4º Congresso da Água “A Água como Recurso Estruturante do Desenvolvimento”, pp. 11.

Lobo Ferreira, J.P., Calado, F.J., 1989 – *Avaliação da Vulnerabilidade à Poluição e Qualidade das Águas Subterrâneas de Portugal. Parte A: Algarve e Alentejo. Relatório Final*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório LNEC 156/89-NHHF, pp. 107.

Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M. e Ciabatti, P., 1995 – *Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal. Volume 1: (1) Caracterização dos Recursos Hídricos Subterrâneos e Mapeamento DRASTIC da Vulnerabilidade dos Aquíferos de Portugal. (2) Executive Summary of the Final Report on the Characterisation of Groundwater Resources and DRASTIC Vulnerability Mapping of the Aquifers of Portugal. (3) Síntese da Caracterização e do Mapeamento das Águas Subterrâneas de Portugal. (4) Análise de Legislação sobre Zonamento de Protecção de Captações de Águas Subterrâneas. Aplicação a Dois Casos de Estudo Portugueses*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1995, pp. 525.

Lobo Ferreira, J.P., Moinante, M.J., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Novo, M.E., Moreira, P., Henriques, M.J., 2000 – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado, Anexo 4: Recursos Hídricos Subterrâneos. Parte B - Caracterização das Áreas com Potencial Interesse Hidrogeológico*. Lisboa, LNEC, Estudo realizado para a Hidroprojecto, Engenharia e Gestão, S.A, Versão Revisão 1 de 30/10/2003, pp. 258.

Lobo Ferreira, J.P., Moinante, M.J., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Novo, M.E., Moreira, P., Henriques, M.J., 2000a) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado, 1ª Fase, Volume III – Análise, III.2 – Análise Sistémica, Parte 1 – Subsistema Hidrológico. D – Análise das Variáveis Hidrológicas*. Lisboa, LNEC, Estudo realizado para a Hidroprojecto, Engenharia e Gestão, S.A, pp. 11

Lobo Ferreira, J.P., Moinante, M.J., Oliveira, M.M., Leitão, T.E., Novo, M.E., Moreira, P., Henriques, M.J., 2000b) – *Plano de Bacia Hidrográfica do Rio Sado, Anexo 11: Situações Hidrológicas Extremas. Parte 3 – Sobreexploração de aquíferos*. Lisboa, LNEC, Estudo realizado para a Hidroprojecto, Engenharia e Gestão, S.A, Versão Revisão 1 de 30/10/2003, pp. 9.

Lopes, A.R.S., 1995 – *Contribuição da Geomatémática para o Estudo da Dinâmica Espaço-Temporal do Sistema Aquífero Lias-Dogger do Algarve Central*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Mineralogia e Planeamento Mineiro, IST, Lisboa, pp. 113.

Lopes, A.R., Rodrigues, R., Orlando, M., 2005 – *O Aproveitamento Hídrico Sustentável dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Sistema Aquífero Querença-Silves na Seca de 2004/2005*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Instituto

da Água, Direcção de Serviços de Recursos Hídricos, pp28. In: http://snirh.pt/snirh/download/relatorios/saquifero_m5_mar05.pdf.

Loureiro, J.M., Nunes, M.F., 1980 – *Monografia Hidrológica do Algarve*. Direcção Geral dos Recursos e Aproveitamentos Hidráulicos, Lisboa.

Manuppella, G., 1970 – *Rochas Dolomíticas de Santiago do Cacém*. Estudos, Notas e Trabalhos. Serviço do Fomento Mineiro, Porto, Vol. XIX, Fasc. 3-4, pp. 277-295.

Manuppella, G., 1983 – *O Dogger de Santiago do Cacém*. Comunicações dos Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa, Vol. 69, pp. 47-61.

Manuppella, G., Rocha, R.B., 1988 – *Contribuição para a Datação do Conglomerado de Odeáxere*. Ciências da Terra, UNL, No. 9, pp. 9-18. In: http://run.unl.pt/bitstream/10362/1537/1/CT_09_01.pdf.

Mendonça, L., Almeida, C., 2003 – *A Exploração de Recursos Hídricos Subterrâneos: O Exemplo do Sistema Aquífero Querença-Silves*. Revista recursos hídricos, APRH, Vol. 24, n.º 3, pp. 53-61, In: e-geo.ineti.pt/edicoes_online/obras/costa_almeida/tp067.pdf.

Monteiro, J.P., 2006a) – *Hidrogeologia do Sistema Aquífero Querença-Silves. Notas para uma Visita Guiada. Guia de Campo*. I Encontro de Professores do Alentejo e Algarve. Universidade do Algarve, 13 e 14 Outubro.

Monteiro, J.P., 2006b) – *Mudanças no Uso, Gestão e Conhecimento da Água na Segunda Metade do Século XX: O Caso do Algarve*. Congresso Ibérico sobre Gestão e Planeamento da Água. Fundação Nova Cultura da Água. Faro, Dezembro de 2006. pp. 10.

Monteiro, J.P., 2010 – *Hidrologia e Hidrogeologia do Algarve Central. Notas para uma Visita Guiada. Guia de Campo*. 10º Congresso da Água. Alvor, 21 a 24 Março.

Monteiro, J.P., Guerreiro, P., Martins, J., Matos Silva, J., Reis, E., 2006a) – *A Ribeira do Algre e os Aquíferos do Algarve Central: Relações entre Águas Superficiais e Subterrâneas*. Projecto POCI/AMB/57432/2004 Groundwater Flow Modelling and Optimisation of Groundwater Monitoring Networks at the Regional Scale in Coastal Aquifers: The Algarve Case Study. In: http://www.cvrn.ualg.pt/projectos/malgar/publ_archive/7_rel-sub-sup-V0_ok.pdf.

Monteiro, J.P., Ribeiro, L., Martins, R., Martins, J., Bento, L., 2006b) – *Monitorização e Modelação dos Aquíferos Costeiros do Algarve*. VII Congresso Nacional de Geologia, 29 de Junho a 13 de Julho de 2006, Pólo de Estremoz da Universidade de Évora. Actas do VII Congresso Nacional de Geologia. Sociedade Geológica de Portugal, Vol. II, pp. 557-560

Monteiro, J.P., Vieira, J., Nunes, L., Fakir, Y., 2006c) – *Inverse Calibration of a Regional Flow Model for the Querença-Silves Aquifer System (Algarve-Portugal)*. Integrated Water Resources Management and Challenges of the Sustainable Development. International Association of Hydrogeologists, IAH. Marrakech. pp 44, doc. elect. CD-ROM - 6pp.

Monteiro, J.P., Silva, J.M., Guerreiro, P., Martins, J., Reis, E., 2007a) – *Modelação de Relações entre Águas Superficiais e Subterrâneas nos Aquíferos do Algarve Central*. Seminário Sobre Águas Subterrâneas, Março 2007, APRH, Lisboa, pp. 8.

Monteiro, J.P., Ribeiro, L., Reis, E., Martins, J., Matos Silva, J., 2007b) – *Modelling Stream-Groundwater Interactions in the Querença-Silves Aquifer System*. XXXV AIH Congress. Groundwater and Ecosystems. Lisbon. Portugal. pp 41-42, doc. elect. in CD Rom, pp.10.

Monteiro, J.P., Chambel, A., Martins, J., 2008 – *Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, South Portugal)*. Artigo no âmbito do Projecto POCTI/AMB/57432/20004. International Groundwater Symposium. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR). Istanbul-Turkey, pp. 7684.

Moinante, M.J., Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P., 1994 – *Desenvolvimento de um Inventário das Águas Subterrâneas de Portugal: Caracterização dos Sistemas Hidrogeológicos de Portugal Continental e Avaliação das suas Reservas Hídricas*. Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório LNEC 329/94 - GIAS, pp. 262.

Nicolau, R., 2002 – *Modelação e Mapeamento da Distribuição Espacial da Precipitação: Uma Aplicação a Portugal Continental*. Dissertação de Doutoramento, FCT, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa, pp. 356.

Nunes, G., Monteiro, J.P., Martins, J., 2006 – *Quantificação do Consumo de Água Subterrânea na Agricultura por Métodos Indirectos: Detecção Remota*. ESIG 2006 – IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, USIG, Tagus Park, 15 a 17 Novembro, pp. 14.

Oliveira, J.T. (coord.), Andrade, A.S., Antunes, M.T., Carvalho, D., Coelho, A.V.P., Feio, M., Gonçalves, F., Manuppella, G., Marques, B., Monteiro, J.H., Munhá, J., Oliveira, J.T., Ramalho, M., Rey, J., Ribeiro, A., Rocha, R., Zbyszewski, G., 1984 – *Carta Geológica de Portugal, Escala 1:200 000, Folha 7*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Paradela, P.L., Zbyszewski, G., 1971 – *Hidrogeologia Geral do Centro e Sul de Portugal*. 1º Congresso Hispano-Luso-Americano de Geologia Económica. Livro Guia da Excursão N.º 9. Direcção Geral de Minas e Serviços Geológicos, Lisboa, pp. 123.

PROCESL, Hidro4, ProSistemas, 1999 – *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve. 1ª Fase, Análise e Diagnóstico da Situação de Referência, Anexo 4 – Recursos Hídricos Subterrâneos*. Ministério do Ambiente, Instituto da Água, Direcção Regional do Ambiente Algarve, pp. 96.

PROCESL, Hidro4, ProSistemas, 2000 a) – *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve – 1ª Fase. Análise e Diagnóstico da Situação de Referência. Volume III – Análise. Capítulo 2. Análise Sistémica. Parte F. Subsistema Institucional*. In: http://www.ccdr-alg.pt/ccdr/parameters/ccdr-alg/files/File/documentos/ambiente/recursos_hidricos/cdrom/Fase_I/Volume_III/parte_f.pdf, ***

PROCESL, Hidro4, ProSistemas, 2000 b) – *Plano de Bacia Hidrográfica das Ribeiras do Algarve – 1ª Fase. Análise e Diagnóstico da Situação de Referência. Volume III – Análise. Capítulo 2. Análise Sistémica. Parte A. Subsistema Hidrogeológico*. In: http://www.ccdr-alg.pt/ccdr/parameters/ccdralg/files/File/documentos/ambiente/recursos_hidricos/cdrom/Fase_I/Volume_III/parte_a.pdf, pp. 109

Reis, M.E., 1993 – *Estudo Hidrogeológico das Formações do Lias-Dogger Situadas a Ocidente do Rio Arade (Algarve)*. Dissertação para a Obtenção do Grau de Mestre em Geologia Económica e Aplicada, Departamento de Geologia da FCUL, Lisboa.

Reis, E., Gago, C., Borges, G., Matos, M., Cláudio, A., Mendes, E., Silva, A., Serafim, J., Rodrigues, A., Correia, S., 2007 – *Contribuição para o Cálculo do Balanço Hídrico dos Principais Sistemas Aquíferos do Algarve*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional. Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional, pp. 41.

Ribeiro, A., Antunes, M.T., Ferreira, M.P., Rocha, R.B., Soares, A.F., Zbyszewski, G., Almeida, F.M., Carvalho, D., Monteiro, J.H., 1979 – *Introduction à la Géologie Générale du Portugal*. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Rocha, R.B., Ramalho, M.M., Antunes, M.T., Coelho, A.V.P., 1983 – *Carta Geológica de Portugal, 1:50 000, Notícia Explicativa da Folha 52-A: Portimão*. Serviços Geológicos de Portugal, pp. 57.

Rodrigues, J.D., 1990 – *Inventário dos Recursos Hídricos Subterrâneos do Algarve e Alentejo*. Relatório 97/90, LNEC, Lisboa, pp. 67.

Rodrigues, J.D., Borges, J.F., 1984 – *Estudo Hidrogeológico da Bacia de Santo André*. Lisboa, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Relatório 92/84 – Geotecnia.

Santos, R., 2006 – *Volumes de Água Subterrânea Licenciados nos Sistemas Aquíferos do Algarve entre Julho de 2004 e Novembro de 2006*. CCDR Algarve, Relatório Interno.

Silva, J.A.H., Almeida, F.A., 1982 – *Condições Hidrogeológicas na Área de Sines*. Santo André, Gabinete da Área de Sines, Laboratório de Geotecnia e de Materiais de Construção. Vol. 1, Relatório 22/82.

Stigter, T.Y., Monteiro, J.P., Nunes, L.M., Vieira, J., Cunha, M.C., Ribeiro, L., Nascimento, J., Lucas H., 2009 – *Screening of Sustainable Groundwater Sources for Integration into a Regional Drought-prone Water Supply System*. Hydrology and Earth Systems Sciences Vol. 13, pp. 1185-1199.

Terrinha, P., 1998 – *Structural Geology and Tectonic Evolution of the Algarve Basin, South Portugal*. Ph.D. Thesis, Imperial College, London.

Vermeulen, H., Lobo Ferreira, J.P. e Oliveira, M.M., 1993 – *A Method for Estimating Aquifer Recharge in DRASTIC Vulnerability Mapping*. Comunicação apresentada ao “Seminário Águas Subterrâneas e Ambiente”, realizado pela Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos em Lisboa.

Vermeulen, H., Lobo Ferreira, J.P. e Oliveira, M.M., 1994 – *A Method for Estimating Aquifer Recharge in DRASTIC Vulnerability Mapping*. Comunicação apresentada à “Second European Conference on Advances in Water Resources Technology and Management”, realizada pela European Water Resources Association, em Lisboa, em Junho de 1994; Rotterdam, A.A. Balkema.

