

## ANÁLISE DO RISCO DE SECA NO AQUÍFERO QUERENÇA-SILVES

Emília NOVO <sup>(1)</sup>; L. OLIVEIRA <sup>(2)</sup>

### RESUMO

Neste trabalho apresenta-se uma análise do risco de seca do sistema aquífero Querença-Silves, para as condições actuais e em cenários de alterações climáticas. Com base nos valores de precipitação verificou-se que entre 1979-2009, 10% dos anos foram muito secos e 16,7% extremamente secos; a precipitação mínima registada ocorreu no ano de 2004/2005 (249 mm). A recarga directa em anos extremamente secos é inferior a 143 mm e em anos muito secos inferior a 189 mm, sendo o valor médio nos últimos 30 anos de 294 mm. Além desta recarga directa existe uma importante componente de recarga a partir do escoamento superficial que é igual a 16,7% da recarga directa. Para um ano de precipitação média o total de extracções no aquífero Querença-Silves é muito inferior à recarga directa mas em anos extremamente secos estas podem ser superiores a 90%. Para os cenários de alterações climáticas a recarga reduz-se, no caso do cenário A2, a quase metade do valor actual, sendo inferior à do limiar superior dos actuais anos extremamente secos; no cenário mais favorável (IS92a) a recarga será cerca de 83% da actual; a recarga alóctone segue uma evolução similar. Deste modo no cenário A2 poderão verificar-se situações de sobreexploração.

**Palavras-chave:** seca, recarga de aquíferos, necessidades de irrigação, alterações climáticas, sobre-exploração

---

1

<sup>2</sup> Mestre em Engenharia do Ambiente, ex-bolseiro de projecto, LNEC-NRE, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [loliveira@lnec.pt](mailto:loliveira@lnec.pt)



## 2. METODOLOGIA UTILIZADA PARA A ANÁLISE DO RISCO

Dado que a análise do risco utilizada considera 1) a probabilidade de ocorrência de seca na zona e 2) o impacto que as secas têm no balanço hídrico é primeiro necessário definir que um aquífero possui um balanço hídrico equilibrado se num determinado período (ex.: 10 anos) registar volumes de entrada (recarga natural, recarga a partir de massas de água superficial, etc.) aproximadamente iguais aos volumes de saída (extração por captação, caudais de nascentes, etc.). Caso os volumes de saída sejam manifestamente superiores aos volumes de entrada por efeito dos volumes extraídos por captações de água, o aquífero considera-se em sobreexploração, situação que, dependendo das condicionantes naturais como permeabilidade, dimensão do aquífero, etc., se tornará a mais ou menos médio prazo insustentável. Esta metodologia analisa o risco não apenas para as condições actuais de precipitação e ocupação do solo mas também em cenários de mudança. Os cenários considerados foram: (1) mudança na ocupação do solo, ou seja um cenário de mudança a curto-médio prazo, cujo horizonte temporal é 2030 e a mudança é essencialmente dominada por condicionantes sócio-económicas, (2) alterações climáticas, ou seja um cenário de mudança a longo prazo, cujo horizonte temporal é 2100 e em que a mudança é dominada por condicionantes climáticas, as quais podem igualmente ser expressas em variações não apenas da precipitação/recarga mas também do coberto vegetal. Na análise dos cenários de alterações climáticas considerou-se apenas o efeito da variação precipitação versus recarga; os efeitos da variação do coberto vegetal associado aos cenários climáticos não foram considerados dado ser necessário conhecimento de pormenor que não cabia no âmbito do projecto PROWATERMAN, nomeadamente ao nível das variações efectivas do coberto vegetal como resposta às alterações do clima, alteração efectiva do consumo de água por parte do novo coberto vegetal, sobretudo ao nível da água no solo, impactos das estratégias de adaptação dos agricultores às mudanças climáticas (alteração do tipo de culturas, dos calendários de culturas e irrigação, alteração dos métodos de cultivo e de irrigação, etc.). A metodologia definida para a análise do risco da seca no caso de estudo do sistema aquífero de Querença-Silves e que abaixo se descreve, adopta os seguintes pressupostos: (1) a recarga natural é directamente influenciada pela precipitação, ou seja, quanto maior a precipitação maior a recarga natural, verificando-se uma menor recarga quanto menor for a precipitação; (2) a diminuição da precipitação implica um aumento da extração, visto as culturas necessitarem da mesma quantidade de água para se manterem (ou mesmo maior, se a seca for acompanhada por um aumento térmico), a qual terá de ser fornecida pela rega que, por este motivo, terá de fornecer volumes superiores de água àqueles que seriam necessários em ano normal; (3) das várias actividades económicas que necessitam de água, a agricultura é aquela que regista maiores consumos. A metodologia definida para a análise do risco da seca estrutura-se portanto nos seguintes passos (Oliveira et al., 2012):

**Passo 1** – aplicação do Método dos Decis (Gibbs e Maher, 1967). Foi utilizado o período de referência e, classificando-se os anos em função da quantidade de precipitação em anos “secos”, “normais” ou “húmidos”, fez-se a avaliação da frequência da ocorrência de secas.

**Passo 2** – definição da relação precipitação/recarga natural. A representação desta relação foi feita de forma gráfica e a recarga natural do sistema aquífero de Querença-Silves foi calculada pelo programa BALSEQ\_MOD (Oliveira et al., 2008).

**Passo 3** – cálculo do peso percentual das diferentes culturas presentes e regadas com água extraída do sistema aquífero e cálculo das necessidades de água mensais de cada cultura.

**Passo 4** – cálculo das dotações de rega mensais por cultura e necessidades mensais e anuais de rega. O cálculo das dotações de rega foi obtido através da comparação entre as necessidades mensais por cultura e precipitação mensal, tendo-se neste cálculo

desprezado o armazenamento de água no solo. O cálculo do volume anual de necessidades de rega foi obtido entrando em consideração com a área regável por cultura.

**Passo 5** – determinação da relação, ao longo dos últimos 30 anos hidrológicos, entre as extracções totais no sistema aquífero Querença-Silves e precipitação registada na estação de São Bartolomeu de Messines.

**Passo 6** – definição dos limiares de 90%, 70% e 50% da recarga anual versus precipitação, referentes aos últimos 30 anos. O limiar de 90% é definido com vista ao estabelecimento do limiar de definição do bom estado quantitativo do sistema aquífero Querença Silves. O valor de 90% da recarga foi estabelecido para obedecer ao expresso no ponto 3 do Artigo 7º da Portaria n.º 1115/2009, de 29 de Setembro, no qual se estabelece que o bom estado qualitativo de uma massa de água subterrânea ocorre quando “a taxa média anual de captações a longo prazo existentes na massa de água subterrânea for inferior a 90 % da recarga média anual a longo prazo da mesma massa de água”.

**Passo 7** – definidas as relações extracções-precipitação e os limiares de 90%, 70% e 50% da recarga versus precipitação (Passos 5 e 6), obteve-se uma avaliação integrada do modo como a disponibilidade de água do sistema aquífero Querença-Silves será afectada pela precipitação anual, e sua variação. Desta análise foi excluída a capacidade de armazenamento do sistema, porque se pretendia avaliar as condições de resiliência nos piores cenários possíveis, em sectores do sistema aquífero com transmissividades muito elevadas e, deste modo, com muito pouca resiliência a condições de seca, caso não fossem alimentados por outros sectores do sistema aquífero com os quais estejam em conexão hidráulica.

**Passo 8** – análise do impacto dos cenários de mudança associados a alteração do uso do solo (cenários de mudança de curto prazo). Partindo das projecções sócio-económicas determina-se o crescimento ou redução em área das diferentes culturas para o horizonte temporal de 2030. Esta avaliação é realizada com base na análise desenvolvida em Lourenço et al. (2012), no âmbito do projecto PROWATERMAN. Com as novas áreas projectadas, e aplicando a estas novas condições os cálculos descritos no Passo 4, calcula-se o impacto que a expansão ou retracção das diferentes culturas tem tanto ao nível da recarga como das necessidades de rega, e portanto de extracção de água do sistema aquífero, e deste modo no seu balanço hídrico.

**Passo 9** – análise do impacto dos cenários de mudança associados a alterações climáticas (cenários de mudança de longo prazo). Definidos os valores de recarga para diferentes cenários de alterações climáticas (Oliveira et al., 2012), pressupondo a manutenção mais ou menos constante das áreas agrícolas por cultura, e aplicando os cálculos descritos no Passo 4, determinam-se as necessidades de rega das culturas face à alteração das precipitações e a conseqüente variação das extracções, daí resultando a determinação da variação das extracções versus recarga, e deste modo o impacto a longo prazo que as alterações climáticas poderão ter no balanço hídrico do sistema aquífero Querença-Silves.

### **3. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA AO CASO DE ESTUDO**

#### **3.1. *Aplicação do Método dos Decis à classificação dos anos hidrológicos em função da sua precipitação***

O Método do Decis permite definir um índice de seca que utiliza a distribuição empírica da precipitação através dos decis de ocorrência desta. De acordo com este método, um ano é

classificado de:

- **Extremamente Seco** – quando a precipitação de 90% dos anos (Decil 1) de um período de referência é superior à registada neste ano “Extremamente Seco”.
- **Muito Seco** – quando a precipitação de 80% dos anos (Decil 2) desse período de referência é superior à deste ano “Muito Seco”.
- **Seco** – se a precipitação de 70% dos anos (Decil 3) do período de referência é superior à desse ano.
- **Húmido** – quando a precipitação de um ano ultrapassa a precipitação de 70 % dos anos (Decil 7) do período de referência.
- **Muito Húmido** – quando a precipitação de um ano ultrapassa a precipitação de 80 % dos anos (Decil 7) deste período de referência.
- **Extremamente Húmido** – quando a precipitação ultrapassa a precipitação de 90 % dos anos (Decil 9) desse período.

Para a precipitação registada na estação udométrica de São Bartolomeu de Messines no período de referência de 1930/1931 – 2008/2009, os intervalos de classificação, para os anos abaixo do normal, são os seguintes:

- Ano seco – precipitação entre: [500 mm/ano; 557 mm/ano].
- Ano muito seco – precipitação entre: [394 mm/ano; 500 mm/ano].
- Ano extremamente seco – precipitação inferior a 394 mm/ano.

Com base nestes dados e fazendo a análise para o período de 1979/1980 – 2008/2009, para a precipitação na mesma estação udométrica, obteve-se a classificação que se apresenta no Quadro 1. Verifica-se deste Quadro 1 que para os últimos 30 anos se verificou a ocorrência de 3,3 % de anos secos, 10,0 % de anos muito secos e 16,7 % de anos extremamente secos. Se se adoptar como intervalo mínimo de análise um período de 2 anos, verifica-se que nos últimos 30 anos ocorreu uma única sequência de dois anos com precipitação inferior à normal: ano 1991/1992 (extremamente seco) e ano 1992/1993 (muito seco). A sequência mais seca teve uma duração de 5 anos e correspondeu aos anos 1990/1991 a 1994/1995; esta sequência iniciou-se com um ano normal, sucedendo-se-lhe 1 ano extremamente seco, 1 muito seco, 1 normal e por fim 1 ano extremamente seco. O ano hidrológico mais seco foi o de 2004/2005, com uma precipitação de 249 mm. De referir que um ano hidrológico médio apresenta uma precipitação na ordem dos 643 mm/ano.

**Quadro 1.** Classificação dos últimos 30 anos hidrológicos em São Bartolomeu de Messines (Método dos Decis)

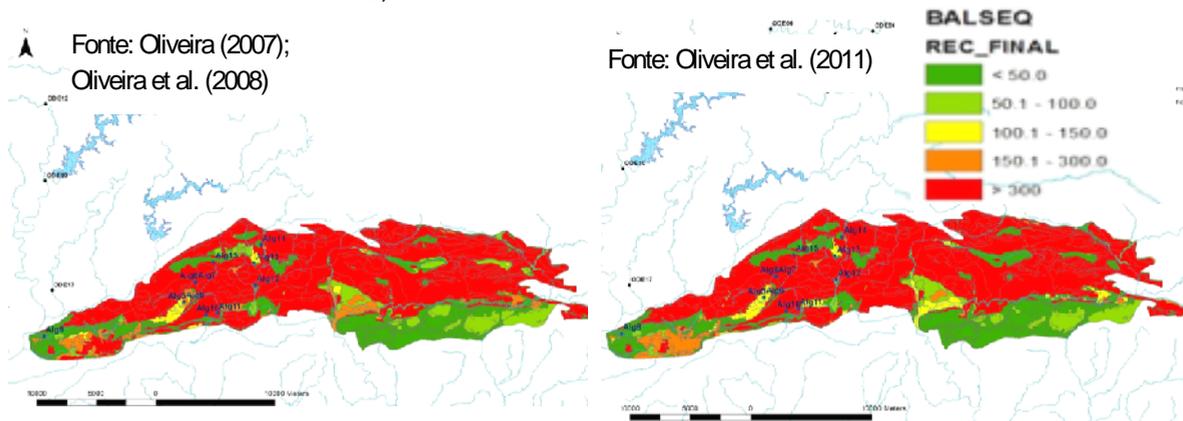
Ano hidrológico	Classificação (Método Decis)	Ano hidrológico	Classificação (Método Decis)	Ano hidrológico	Classificação (Método Decis)
1979/1980	Normal	1991/1992	Extremamente seco	2003/2004	Normal
1980/1981	Extremamente seco	1992/1993	Muito seco	2004/2005	Extremamente seco
1981/1982	Normal	1993/1994	Normal	2005/2006	Normal
1982/1983	Muito seco	1994/1995	Extremamente seco	2006/2007	Normal
1983/1984	Normal	1995/1996	Extremamente húmido	2007/2008	Normal
1984/1985	Normal	1996/1997	Normal	2008/2009	Muito seco
1985/1986	Normal	1997/1998	Extremamente húmido		
1986/1987	Seco	1998/1999	Extremamente seco		
1987/1988	Muito húmido	1999/2000	Normal		
1988/1989	Húmido	2000/2001	Muito húmido		

1989/1990	Extremamente húmido	2001/2002	Normal
1990/1991	Normal	2002/2003	Normal

### 3.2. Definição da relação precipitação/recarga natural

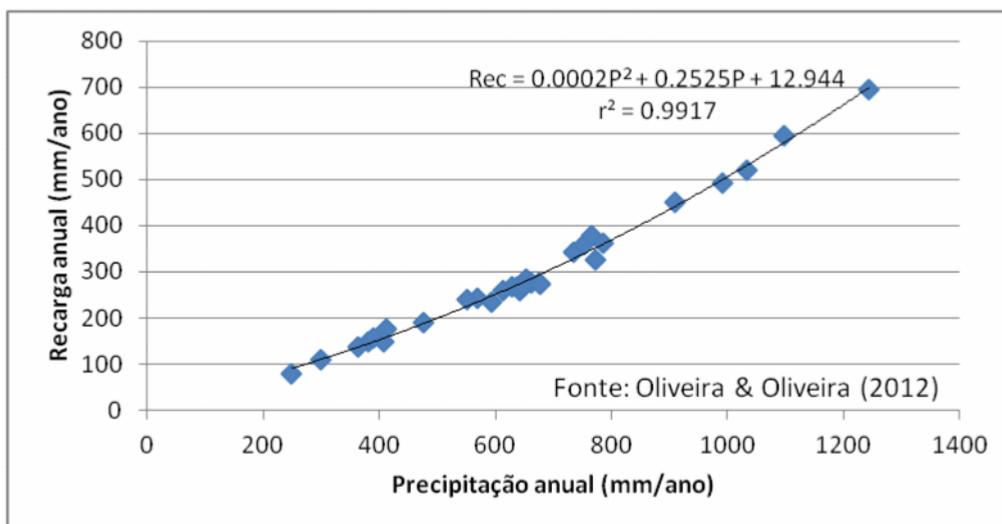
A determinação da recarga foi realizada para o sistema aquífero de Querença-Silves, pelo BALSEQ\_MOD (Oliveira et al., 2008) para o período de Outubro de 1979 a Setembro de 2009 para a bacia do Arade e para os períodos de Outubro de 1941 a Setembro de 1991 e Outubro de 1979 a Setembro de 2009 para o sistema aquífero de Querença-Silves (cf. Oliveira et al., 2011). Os valores obtidos foram (Figura 2):

- **Sistema aquífero de Querença-Silves** – 323 mm/ano (= 102,82 hm<sup>3</sup>/ano), para o período de 1941-1991 (Oliveira et al., 2008); 294,21 mm/ano (= 93,65 hm<sup>3</sup>/ano) para o período de 1979-2009 (Oliveira et al., 2011). Nas áreas de afloramento das unidades jurássicas carsificadas a recarga é superior a 450 mm/ano (Oliveira, 2007 e Oliveira et al., 2008)
- **Bacia do rio Arade** – 38,47 mm/ano.



**Figura 2.** Recarga no sistema aquífero Querença-Silves: a) período 1941-1991; b) período 1979-2009

Tomando o conjunto de valores anuais de recarga da série hidrológica relativa aos últimos 30 anos, com os valores de precipitação para esse mesmo período obtêm-se a relação matemática entre estas duas variáveis, tal como mostra a Figura 5. Para este período a recarga anual máxima foi de 694 mm, correspondente a uma precipitação anual de 1 244 mm (ano hidrológico de 1995/1996). A recarga mínima ocorreu na seca extrema de 2004/2005, registando um valor de 79 mm, a que corresponderam 249 mm de precipitação.



**Figura 3.** Relação entre a precipitação anual e a recarga natural anual

Com base nos intervalos de classificação dos anos em função da precipitação (ano muito seco, seco, húmido, muito húmido, etc.) e a distribuição dos valores de recarga versus precipitação, tal como é expressa na Figura 3, definiram-se os intervalos de recarga natural do sistema aquífero Querença-Silves para diferentes classes de seca. Estes intervalos são expressos no Quadro 2 através dos respectivos limites superiores (precipitação e recarga natural máximas). Esta recarga refere-se somente à que é gerada por infiltração da precipitação, não incluindo os volumes devidos à recarga por excedentes de rega nem às contribuições das ribeiras vindas de áreas a montante do aquífero, os quais são significativos (cf. Oliveira et al., 2011); estas duas outras componentes da recarga correspondem, respectivamente, em 0,02% e em 16,7% da recarga total do sistema aquífero, segundo PGBH Ribeiras do Algarve (2011).

**Quadro 2.** Limites superiores das classes de seca – Precipitação e recarga natural no sistema aquífero Querença-Silves

Ano	Precipitação máxima (mm/ano)	Recarga natural máxima (mm/ano)
Extremamente seco	394	143
Muito seco	500	189
Seco	557	216

Fonte: Oliveira et al. (2012)

### 3.3. Cálculo do peso percentual das diferentes culturas presentes e regadas com água extraída do sistema aquífero e cálculo das necessidades de água mensais de cada cultura

As áreas cultivadas no sistema aquífero de Querença-Silves estão distribuídas essencialmente por culturas de citrinos, culturas de Primavera e culturas de Verão, com 2 920 ha ocupados por citrinos, 170 ha por culturas de Primavera e 560 ha por culturas de Verão (cf. Nunes et al., 2006), ou seja, 80% da área agrícola é ocupada por citrinos, 15% por culturas de Verão e 5% por culturas de Primavera. Considerando as condições de evapotranspiração média ao longo do ano e as características fisiológicas de cada cultura, é possível calcular as necessidades hídricas mensais e o total anual para cada cultura (Quadro 3).

**Quadro 3.** Necessidades de água por tipo de cultura existentes no sistema aquífero Querença-Silves (em mm)

Culturas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
----------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	-------

Citrinos	50,38	50,38	64,33	72,85	85,25	93,78	100,75	95,33	79,83	62,00	55,80	49,60	860,28
De Primavera	41,60	41,60	53,12	60,16	70,40	77,40	83,20	78,72	65,92	51,20	46,08	40,96	710,36
De Verão	51,35	51,35	65,57	74,26	86,90	95,59	102,70	97,17	81,20	63,20	56,88	50,56	876,90

Fonte: Nunes et al. (2006, in Oliveira et al., 2012)

### **3.4. Cálculo das dotações de rega mensais por cultura e necessidades mensais e anuais de rega**

Conhecidos os valores de precipitação (cf. Quadro 4) e as necessidades hídricas das plantas num ano de precipitação média (Quadro 3), calcularam-se as necessidades de irrigação mensais e anuais por cultura (Quadro 5), tendo-se obtido o volume de rega a partir das áreas adstritas a cada tipo de cultura (Quadro 6). Estes cálculos foram realizados sem entrar em consideração com o eventual armazenamento de água no solo, condição que poderá ocorrer no primeiro ano a seguir a um período de seca prolongada.

**Quadro 4.** Precipitação para um ano médio na estação de São Bartolomeu de Messines

	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Precipitação (mm)	79	65	51	64	34	7	2	4	28	84	112	122	654

Fonte: Oliveira et al. (2012)

**Quadro 5.** Necessidades de irrigação no sistema aquífero Querença-Silves considerando um ano médio (em mm)

Culturas	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Anual
Citrinos	0,00	0,00	13,24	8,72	51,50	86,78	98,52	90,97	51,59	0,00	0,00	0,00	401,33
De Primavera	0,00	0,00	2,03	0,00	36,65	70,40	80,97	74,36	37,68	0,00	0,00	0,00	302,10
De Verão	0,00	0,00	14,48	10,13	53,15	88,59	100,47	92,81	53,13	0,00	0,00	0,00	412,77

Fonte: Oliveira et al. (2012)

**Quadro 6.** Necessidade de irrigação para as culturas existentes no sistema aquífero Querença-Silves num ano de precipitação média (= 644 mm/ano)

Culturas	Rega anual (mm/ano)	Área (ha)	Volume para rega (hm <sup>3</sup> /ano)
Citrinos	401	2 920	11,72
De Primavera	302	170	0,51
De Verão	412	560	2,31
<b>Total</b>	--	<b>3 650</b>	<b>14,54</b>

Fonte: Oliveira et al. (2012)

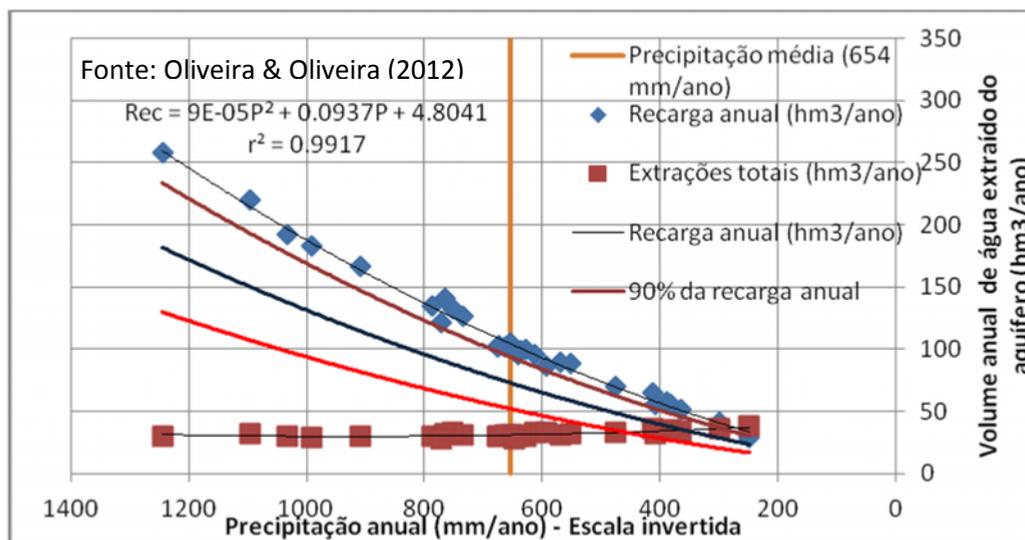
Sendo 14,28 hm<sup>3</sup>/ano de extracções do sistema aquífero destinadas ao abastecimento de outras actividades com exclusão das regas (PGBH das Ribeiras do Algarve, 2011), e as necessidades de rega das culturas abastecidas a 100% por água extraída do sistema aquífero são de 14,54 hm<sup>3</sup>/ano, o volume total de extracção do sistema aquífero Querença-Silves, para um ano médio, é pelo menos da ordem dos 28,8 hm<sup>3</sup>/ano. Se se considerar que a recarga média oscilará entre 93,65 hm<sup>3</sup>/ano e cerca de 103 hm<sup>3</sup>/ano, para anos de precipitação média, conclui-se que as extracções são muito inferiores à recarga. Acresce-se que para uma correcta avaliação da importância das extracções face à recarga e consequente pressão destas extracções sobre o aquífero têm de se considerar igualmente o volume de água cedido pelas ribeiras que chegam de montante, sendo que num ano médio esta recarga por intermédio das ribeiras entre 8 hm<sup>3</sup> na área da sub-cia de Ponte Mesquita e de 54 hm<sup>3</sup> na área da sub-bacia do Purgatório (Oliveira & Oliveira, 2012).

**3.5. Relação entre parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves**

Com base na classificação hidrológica realizada em 3.2. e tendo em conta as necessidades hídricas e correspondente dotações de rega para os últimos 30 anos (com base na análise efectuada em 3.3. e 3.4.) correlacionou-se a variação da precipitação e recarga com a variação das extracções (Figura 4). Esta análise considerou não as médias de precipitação e recarga ao longo da série hidrológica mas os valores anuais individualmente, e à recarga directa do aquífero foi adicionada a recarga proveniente das ribeiras (recarga alóctone). Esta abordagem foi escolhida para melhor definir o impacto de períodos de seca, na recarga, extracções e eventuais períodos de risco quantitativo, em especial os eventos prolongados.

As curvas de tendência que relacionam a precipitação com o valor de 100% da recarga directa do aquífero, 90% de recarga directa (valor que define o limiar do bom estado qualitativo; cf. alínea 3 do Artigo 7º da Portaria n.º 1115/ 2009, de 29 de Setembro), 70% e 50% desta mesma recarga com a precipitação, são também apresentadas na Fig. 6. Como já se referiu acima e se pode verificar na Fig. 6, os volumes médios de água extraídos do

sistema aquífero (para o valor de médio de precipitação = 654 mm/ano) são bastante inferiores a 90% da recarga média anual, ou seja, **para um ano médio**, ou para a média global dos últimos 30 anos, o sistema aquífero Querença-Silves encontra-se em **estado quantitativo Bom**. Porém, para condições de 50% de recarga anual, as extracções tendem a aproximar-se do limiar a partir do qual o estado qualitativo é classificado de Mediocre. Isto sublinha por um lado a importância da definição adequada destes limiares e por outro, se se considerar que os anos extremamente secos – e que constituem cerca de 16,7% dos últimos 30 anos – têm precipitações e concomitantes recargas que se aproximam destes valores de 50%, então o problema das secas, e em particular das secas extremas, torna-se algo significativo, com as extracções, nesses anos a atingirem o limiar do estado qualitativo Bom. Com efeito, num **ano Extremamente Seco** (precipitações inferiores a 394 mm) as **extracções podem ser superiores a 90%** de recarga (cf. Figura 4).



**Figura 4.** Relação entre os parâmetros do balanço hídrico no sistema aquífero Querença-Silves

Contudo, devido a condicionantes de funcionamento deste sistema aquífero, como reservas hídricas elevadas, transferências de água entre diferentes compartimentos e o efeito regulador de alguns destes compartimentos, se estes eventos de extrema seca forem curtos (1 a 2 anos), o sistema tem ainda assim capacidade para satisfazer as necessidades, como foi demonstrado nos últimos eventos de seca intensa. Um exemplo desta situação foi o que ocorreu no ano de 2004/2005, o ano mais seco dos últimos 30 anos, com uma precipitação anual de 249 mm, uma recarga de 25 hm<sup>3</sup> e uma extracção superior a 50 hm<sup>3</sup> (ou seja, um valor 2x superior à recarga calculada) devido à incapacidade das barragens – por mor da escassez de água aí registada – em fornecer grande parte da procura. Apesar de neste ano o balanço no sistema aquífero Querença-Silves ter sido claramente negativo, ainda assim conseguiu abastecer o grosso das extracções, devido precisamente às grandes reservas hídricas que possui. Os problemas podem começar a surgir se porventura em vez de 1 ou 2 anos Extremamente Secos ocorrer uma sequência de vários destes anos, ou uma alternância prolongada entre anos Extremamente Secos e anos Muito Secos. Nesta situação há condições para se verificar um défice hídrico, podendo caminhar-se para situações de risco pontual de sobre-exploração. Considerando a frequência algo significativa destes anos Extremamente Secos e as condições projectadas para a região pelos cenários de alterações climáticas (cf. secção 3.5.2.), verificar-se-á que este problema tenderá a ocorrer mais frequentemente, o que exigirá a definição de estratégias de gestão dos recursos de modo a de alguma forma manter a capacidade do aquífero satisfazer as extracções mesmo em condições adversas.



### 3.6. *Análise de risco de seca em cenários de mudança*

A análise acima apresentada refere-se às condições ao longo dos últimos 30 anos. Porém o futuro traz alterações tanto em termos de modificação dos consumos como, no caso das alterações climáticas, nas várias componentes do ciclo hidrológico. Para avaliar as condições futuras é assim necessário recorrer a cenários de mudança, e neste estudo usaram-se cenários de evolução sócio-económica (até 2030) e cenários de alterações climáticas, (entre 2070-2100).

#### 3.6.1. *Análise de risco de seca em cenários de alteração da área agrícola*

Os cenários utilizados foram os cenários sócio-económicos desenvolvidos por Lourenço et al. (2012), no âmbito do estudo PROWATERMAN. A partir destes cenários foi possível definir a provável evolução das áreas agrícolas por tipo de cultura e deste modo – admitindo a manutenção das condições climáticas actuais – determinar os consumos de água sob estas novas condições de cobertura do solo, as quais estão dependentes da evolução das actividades económicas previstas por esses cenários. Para o Algarve, os cenários sócio-económicos adoptados prevêm as seguintes condições:

- Aumento do tecido urbano, das áreas industriais, de comércio e de transportes.
- Retracção da importância das culturas temporárias, e conseqüente redução das áreas associadas a este tipo de culturas.
- Expansão das culturas permanentes e, deste modo, o aumento das áreas associadas a estas culturas.

Estas condições originam os seguintes impactos, os quais irão condicionar de alguma forma as componentes do ciclo hidrológico na área de estudo:

- Diminuição da recarga natural devido ao aumento da área das zonas impermeabilizadas (por expansão das áreas urbanas, industriais, comerciais e de transportes).
- Aumento da extração de água para consumo humano, industrial e de comércio.
- Diminuição do consumo de água associado às culturas de Primavera e de Verão
- Aumento da extração de água para regadio dos citrinos (cultura permanente).

Considerando as necessidades hídricas das culturas e a alteração de área para cada tipo de cultura, em conformidade com as projecções dos cenários sócio-económicos, é possível definir as necessidades de rega para as novas áreas agrícolas, para o horizonte temporal de 2030 (Quadro 7). Conforme se pode verificar deste Quadro 8, o aumento da área de citrinos é compensado pelo da redução das áreas de culturas de Primavera e de Verão, levando a uma redução efectiva do total das necessidades hídricas face às necessidades actuais. Tal deve-se ao facto de que, tendo as culturas de Primavera e de Verão necessidades hídricas similares às de citrinos, a redução total de área destas duas culturas (= 205 ha) é superior ao aumento da área de citrinos (=160 ha).

**Quadro 7.** Previsão para 2030 das necessidades hídricas por cultura

<b>Culturas</b>	<b>Área actual (ha)</b>	<b>Área prevista em 2030 (ha)</b>	<b>Necessidades actuais (hm<sup>3</sup>/ano)</b>	<b>Necessidades em 2030 (hm<sup>3</sup>/ano)</b>
Citrinos	2 920	3 080	25,12	26,50
De Primavera	170	120	1,21	0,85
De Verão	560	395	4,91	3,46
<b>Total</b>	<b>3 650</b>	<b>3 595</b>	<b>31,24</b>	<b>30,81</b>

Se se considerar a manutenção das condições actuais em termos de distribuição da precipitação ao longo do ano e necessidades hídricas das plantas, as regas terão por seu

turno a evolução registada no Quadro 8.

**Quadro 8.** Previsão para 2030 dos volumes de rega por cultura

Culturas	Área actual (ha)	Área prevista em 2030 (ha)	Rega actual (hm <sup>3</sup> /ano)	Regas em 2030 (hm <sup>3</sup> /ano)
Citrinos	2 920	3 080	11,72	12,35
De Primavera	170	120	0,51	0,38
De Verão	560	395	2,31	1,63
<b>Total</b>	<b>3 650</b>	<b>3 595</b>	<b>14,54</b>	<b>14,36</b>

Admitindo que a recarga se mantém em níveis similares aos actuais, e tomando para valor a recarga directa média para o conjunto dos últimos 30 anos, a actual extracção para rega corresponderá a algo entre os 10,7 e os 15,6% desta recarga. Considerando as projecções dos cenários sócio-económicos, cujos efeitos sobre a evolução dos volumes de rega se expressa no Quadro 8, então em 2030 as regas corresponderão a um valor de 10,6 a 15,4% da recarga directa, registando portanto uma redução da pressão sobre o sistema aquífero. A situação inverte-se se se considerarem todos os consumos. Assim, actualmente o total de consumos cifra-se entre os 20 e os cerca de 31% do total da recarga directa. Como os cenários sócio-económicos prevêm um aumento do turismo e da ocupação urbana, embora na área de estudo esta subida se preveja menos acentuada do que noutras áreas do Algarve, daqui resulta um aumento dos consumos domésticos, de lazer e rega de espaços públicos (jardins), que poderá chegar a um máximo de 33,8 hm<sup>3</sup>/ano, ou seja algo entre 25 e 36% da recarga directa.

### 3.6.2. Análise de risco de seca em cenários alterações climáticas

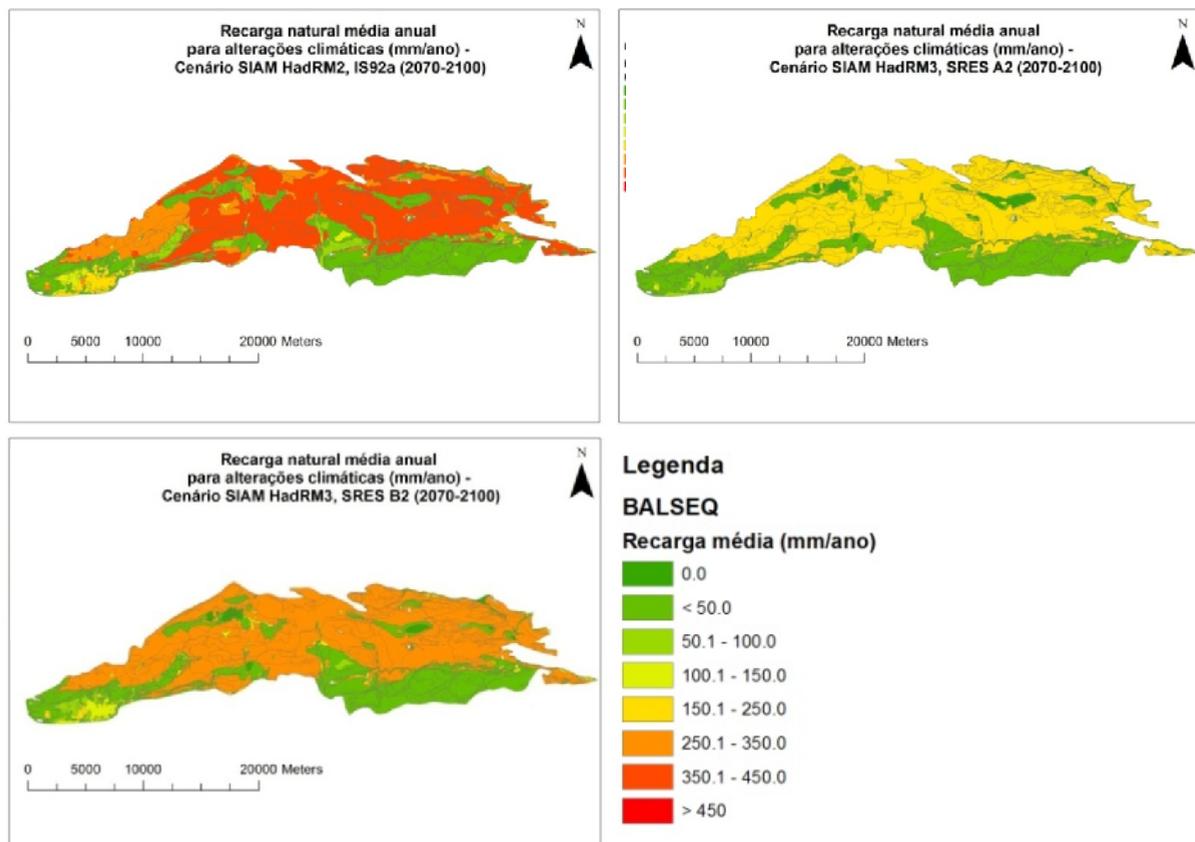
Na análise do risco de seca sob cenários de alterações climáticas considerou-se que as áreas agrícolas se manteriam similares às actuais. Este pressuposto foi adoptado porque é difícil conhecer a evolução das áreas agrícolas até 2100 e os estudos actualmente realizados (ex.: Rounsevell et al., 2006) sugerem que o cenário de manutenção da área agrícola será um *worst case scenario*. Aplicando o modelo de balanço hídrico sequencial diário a nível do solo BALSEQ\_MOD às séries modificadas de precipitação, temperatura e evapotranspiração para cada um dos 3 cenários climáticos considerados – IS92a, SRES A2 e SRES B2 – obtiveram-se os valores de recarga para o horizonte temporal de 2100, que se apresentam no Quadro 9. A distribuição da recarga no sistema aquífero é ilustrada na Figura 5. A explicação da metodologia utilizada para os cálculos destas recargas, as estações cujas séries foram alteradas e uma descrição geral do BALSEQ\_MOD é apresentada em Oliveira et al. (2012).

**Quadro 9.** Recarga natural e escoamento direto em cenários de alterações climáticas

Cenário, modelo climático (horizonte 2070-2100)	Escoamento Directo (mm/ano)	Recarga natural (mm/ano)	% do valor atual	
			Escoamento Direto	Recarga
1979-2009	115	294	--	--
HadRM2/IS92a	100	245	87,6%	83,4%
HadRM3/SRES A2	59	136	51,4%	46,2%
HadRM3/SRES B2	79	186	68,9%	63,3%

Os valores obtidos indicam que o cenário SRES A2 é o mais desfavorável, com recargas inferiores a 50% dos valores actuais. Se se comparar os valores deste cenário com os do Quadro 2 verifica-se que no regime climático actual um ano Extremamente Seco tem recargas levemente superiores às projectadas para o cenário SRES A2, ou seja, neste cenário existe o potencial para a criação de condições, pelo menos algo frequentes, de sobre-exploração, tanto mais quanto a recarga alóctone neste cenário sofrerá também reduções da ordem dos 50%.

Aplicando a relação entre precipitação mensal e necessidades hídricas das plantas (cf. secção 3.3) obtém-se, para as séries de precipitação dos cenários de alterações climáticas considerados, as necessidades hídricas das culturas. Neste cálculo está-se a partir do pressuposto que as plantas, nomeadamente os citrinos, não aumentam as suas necessidades hídricas nas condições climáticas destes cenários. Contudo, como efectivamente as plantas, em especial os citrinos, deverão aumentar as suas necessidades hídricas dado que são plantas de tipo C3 e em condições de maior temperatura e aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico, tenderão a aumentar a sua actividade fotossintética, e consequente aumento das suas áreas foliares e consumos de água (cf. <http://www.co2science.org/subject/b/summaries/biodivc3vsc4.php>), para os cálculos dos volumes de rega, e na ausência de dados fiáveis do aumento das necessidades hídricas dos citrinos para o território algarvio sob estes cenários climáticos, considerar-se-á a totalidade das necessidades hídricas como correspondendo ao total das necessidades de rega.



**Figura 5.** Recarga natural média anual em cenários de alterações climáticas

Note-se que actualmente as necessidades de rega são pouco menos de metade das necessidades hídricas das plantas para um ano de precipitação média (cf. Quadro 3 e Quadro 7). Tendo em atenção as recargas obtidas para cada um destes cenários climáticos (cf. Oliveira et al., 2012; Quadro 10) as principais componentes do balanço hídrico são apresentadas no Quadro 11 para os três cenários climáticos considerados neste estudo. Entrando em conta com as recargas para os diferentes cenários climáticos, um balanço hídrico para cada cenário. As principais componentes destes balanços estão apresentadas no Quadro 10. Note-se que o valor “Extracções” se refere exclusivamente às extracções para rega.

**Quadro 10.** Relação extracção/recarga para a agricultura em cenários de alterações climáticas

Modelo climático / Cenário de emissões	Precipitação (mm/ano)	Recarga (hm <sup>3</sup> /ano)	Extracção (hm <sup>3</sup> /ano)	Relação extracção/recarga (%)
SIAM HadRM2, IS92a (2070-2100)	589	78,05	32,10	41,10
SIAM HadRM3, SRES A2 (2070-2100)	388	43,27	32,93	76,10
SIAM HadRM3, SRES B2 (2070-2100)	490	59,33	30,61	51,60

Daqui se verifica que em nenhum dos cenários climáticos as regas, um das duas parcelas mais importantes dos consumos de águas subterrâneas na região, colocarão o sistema aquífero em condições de sobre-exploração (extracção superior a 90%. Porém, se se considerarem os totais dos consumos (agricultura+domésticos+lazer+indústria) a situação torna-se já bastante diferente. Em particular, para o cenário SRES A2, se a relação extracção para rega versus recarga é de 76%, quando se somam os consumos das outras actividades, este valor poderá atingir os 95% (Quadro 11). Note-se que os cálculos obtidos para consumos domésticos e de lazer admitem a manutenção das necessidades hídricas da população (quando na realidade o aumento da temperatura potenciará um aumento destas necessidades) e um crescimento populacional em conformidade com os cenários sócio-económicos desenvolvidos no PROWATERMAN, e admitindo-se que este crescimento estagna em 2030.

**Quadro 11.** Relação extracção/recarga para a globalidade dos consumos em cenários de alterações climáticas

Modelo climático / Cenário de emissões	Recarga (hm <sup>3</sup> /ano)	Consumos totais (hm <sup>3</sup> /ano)	Relação extracção/recarga (%)
SIAM HadRM2, IS92a (2070-2100)	78,05	40,29	51,32%
SIAM HadRM3, SRES A2 (2070-2100)	43,27	40,89	94,49%
SIAM HadRM3, SRES B2 (2070-2100)	59,33	38,57	65,00%

Assim, se o sistema aquífero poderá ser resiliente para o abastecimento do regadio, pode contudo não ser capaz de abastecer todos os consumos, em especial se se verificarem as condições do cenário SRES A2. Uma outra indicação de que se poderá caminhar para situações de ruptura se a evolução climática se der para as condições do cenário SRES A2, é fornecida se se analisar o que se passa nos anos actualmente classificados de Extremamente Secos. Para estes anos a recarga é de 143 mm/ano (cf. Quadro 2), valor um pouco superior ao obtido para a recarga neste cenário e que foi de 136 mm/ano (cf. Quadro 9). Nestes anos Extremamente Secos (ex.: ano de 2004/2005) verifica-se uma taxa de exploração superior à recarga directa do aquífero, sendo que este abastece a procura porque recebe recarga alóctone muito significativa e porque tem grandes reservas hídricas. No entanto, em condições de alterações climáticas, a recarga alóctone sofrerá reduções acentuadas (até 51% no caso do cenário SRES A2) e as condições “médias” serão as actuais de cauda da distribuição, ou seja anos Extremos. Nestas condições é de admitir que a médio prazo as reservas hídricas diminuam acentuadamente, caso não se estabeleçam estratégias inovadoras de gestão.

#### 4. DISCUSSÃO DA METODOLOGIA UTILIZADA E SEUS RESULTADOS

Esta metodologia permite avaliar os potenciais riscos de sobreexploração dum aquífero, prever os impactos decorrentes das secas e realizar projecções sobre os recursos hídricos disponíveis em cenários de mudança sócio-económica ou climática. Eiva contudo dalgumas debilidades, como o facto de se basear em valores globais do balanço hídrico não permitir

detectar, em aquíferos de grande dimensão e/ou variabilidade hidráulica, situações localizadas de sobreexploração. O cálculo das necessidades hídricas não considerou aspectos relevantes como a modificação potenciada pelas alterações climáticas das necessidades hídricas das plantas, assim como a alteração dos calendários de cultura, técnicas de irrigação, alteração do tipo de cultivares, além da evolução as áreas agrícolas, dada a grande incerteza associada a estes aspectos. Além disso, o método dos decis, embora expedito e fácil de aplicar, não é o mais exacto na definição de períodos de seca, sendo preferível, recorrer aos índices SPI ou PSDI, o que não foi possível no caso presente.

Em termos de resultados há a referir que apesar de, em seca extrema o aquífero Querença-Silves apresentar balanço hídrico no campo da sobre-exploração, tem contudo grande capacidade de armazenamento pelo que, se a seca for extrema mas de curta duração, não entra de ruptura. Para o caso dos volumes de água captados para irrigação foi admitida uma relação proporcional entre a captação de água subterrânea e a necessidade das culturas o que pode não se verificar em situação de seca, pelas estratégias de aproveitamento da água nestas situações.

## 5. CONCLUSÕES

Nos últimos 30 anos 16,7% dos anos foram extremamente secos e 10% anos muito secos, o que corresponde a quase 30% do total; a anos extremamente secos correspondem recargas directas no sistema aquífero de Querença-Silves inferiores a 143 mm/ano e em anos muito secos inferiores a 189 mm/ano ao passo que a recarga média para o conjunto dos últimos 30 anos se cifra nos 294 mm/ano. Além da recarga directa o sistema aquífero é recarregado com águas externas à área do aquífero, trazidas pelas ribeiras, num montante estimado em cerca de 20% da recarga directa (= 18,6 a 27,2 hm<sup>3</sup>); os excedentes de rega perfazem um volume equivalente a 0,02% da recarga directa. O total de extracções num ano de precipitação média é de 28,8 hm<sup>3</sup>, 14,5 hm<sup>3</sup> dos quais para irrigação, consumindo os citrinos 11,7 hm<sup>3</sup>. Em anos extremamente secos as extracções podem ultrapassar a recarga directa em mais de 90%; contudo, as reservas hídricas existentes e a transferências de água entre diferentes compartimentos, e a recarga a partir das ribeiras (embora em caso de seca esta componente tenha também uma redução drástica) permitem fazer face às extracções, mesmo que estas seja 2x superiores à recarga durante a seca, caso este evento seja curto (1 a 2 anos).

A análise para os cenários cenários sócio-económicos desenvolvidos no âmbito do estudo PROWATERMAN por Lourenço et al. (2012), projecta uma redução das áreas agrícolas das culturas de Primavera e Verão superior ao aumento projectado das culturas de citrinos, o que é traduzido por uma ligeira redução das necessidades de rega actuais de 15,5% da recarga para 15,4% em 2030.

Para os cenários de alterações climáticas em 2100, as recargas directas sofrem uma redução que no cenário mais desfavorável (SRES A2) chega aos 46% do valor actual; o escoamento superficial passará neste cenário a de 51% do valor actual, indiciando uma redução significativa da recarga a partir das ribeiras, incluindo as provenientes das zonas externas ao aquífero. Comparando as recargas calculadas para anos extremamente secos dos últimos 30 anos e as recargas nos cenários climáticos considerados verifica-se que os actuais anos extremamente secos têm recarga máxima de 143 mm ao passo que a recarga dum ano médio no cenário SRES A2 = 136 mm/ano); o ano médio do cenário B2 tem recargas que correspondem às dos actuais anos muito secos (186 mm/ano). Deste modo, e para o cenário A2 a possibilidade de ocorrência de situações de sobreexploração, pelo menos em áreas localizadas do aquífero, tenderá a aumentar, criando situações de mais difícil gestão, tanto mais que neste cenário a recarga a partir das ribeiras (e que actualmente é significativa) deverá sofrer reduções de cerca 50%. Apesar destas condições, e se se

considerar a análise consumos/recarga, sendo estes consumos exclusivamente agrícolas, o aquífero terá capacidade para satisfazer a procura, atingido taxas de exploração de 76% no caso do cenário A2 (o mais desfavorável); contudo, se se considerar o total dos consumos (admitindo que não variarão significativamente face aos projectados para 2030) as taxas de exploração variarão entre cerca de 50% (cenário IS92a e o mais favorável) e 95% (cenário A2). Dada a importância deste sistema aquífero na realidade algarvia é necessário estudar a alteração das necessidades hídricas das culturas, os impactos da introdução de novas culturas, técnicas de irrigação, modificação dos calendários agrícolas, rotações de culturas, alteração dos consumos de pessoas e animais devido às futuras condições climáticas.

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado no âmbito do estudo PROWATERMAN financiado pela FCT.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

<http://www.co2science.org/subject/b/summaries/biodivc3vsc4.php> (acedido a 22 de Janeiro de 2013).

Gibbs, W.J., Maher, J.V. (1967). Rainfall Deciles as Drought Indicators. *Australian Bureau of Meteorology Bull.*, (48), 1-38.

Lourenço, N., Machado, C.R., Rodrigues, L., Vilhena, J., Pires, A., Norberto, S., Esteves, L. (2012). *Água, Ecossistemas 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. Relatório da Task n.º 2 – Analysis of Environmental and Socio-Economic Driving Forces*. Universidade Atlântica, Barcarena.

Monteiro, J.P. (2006). Hidrogeologia do Sistema Aquífero Querença-Silves. Notas para uma Visita Guiada. Guia de Campo. *1º Encontro de Professores do Alentejo e Algarve. Universidade do Algarve*, 13 e 14 Outubro.

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 Informacao Geografica*, USIG, Tagus Park, 15 a 17 Novembro, pp. 1-14.

Oliveira, L. (2007). *Soluções para uma Gestão Adequada de Bacias Hidrográficas e de Sistemas Aquíferos em Cenários de Escassez Hídrica Extrema. Aplicação ao Sistema Aquífero Querença-Silves (Algarve) no Âmbito da Acção de Coordenação ASEMWaternet*. Dissertação de Mestrado em Engenharia do Ambiente, IST, Lisboa, 102 pp.

Oliveira, M.M., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2008). Estimativa da Recarga Natural no Sistema Aquífero de Querença-Silves (Algarve) pela Aplicação do Modelo BALSEQ\_MOD. *9.º Congresso da Água*, Cascais.

Oliveira, L., Leitão, T.L., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Novo, M.E. (2011). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Terceiro Relatório Temático – Resultados Quantitativos e Qualitativos das Campanhas de 2011 e Balanços Hídricos*. Relatório 291/2011-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.

Oliveira, L., Martins, T., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M. M., Novo, M. E., Leitão, T. E. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Quarto Relatório Temático – Contributos para o Desenvolvimento de Medidas para uma Gestão*

*Sustentável dos Recursos Hídricos no Sul de Portugal. Relatório 153/2012-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.*

PGBH Ribeiras do Algarve (2011). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que Integram a Região Hidrográfica das Ribeiras do Algarve (RH8) – Volume I. Relatório do Consórcio: Nemus, Gestão e Requalificação Ambiental; Hidromod, Modelação em Engenharia, Lda. e Agrogos, Sociedade de Estudos e Projectos, Lisboa.*

Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaapää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P., Tuck, G., (2006). A Coherent Set of Future Land Use Change Scenarios for Europe. *Agricultural Ecosystems & Environment*, (114), 57-68.