

# Metodologia para a definição de medidas de intervenção para a recuperação do estado “Bom” do meio hídrico superficial e subterrâneo: o caso de estudo da bacia hidrográfica de Melides

Emília Novo<sup>1</sup>, Luís Oliveira<sup>2</sup>, Teresa Leitão<sup>3</sup>, Manuel M. Oliveira<sup>4</sup>, João P. Lobo Ferreira<sup>5</sup>

1 Geóloga, Dr. Engenharia do Ambiente, Investigadora auxiliar, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [enovo@lneec.pt](mailto:enovo@lneec.pt)

2 Mestre em Engenharia do Ambiente, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [lgsoliveira@gmail.com](mailto:lgsoliveira@gmail.com)

3 Doutora em Hidrogeologia, Investigadora principal, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [tleitao@lneec.pt](mailto:tleitao@lneec.pt)

4 Doutor em Hidrogeologia, Investigador auxiliar, Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal, 218 443 436, [moliveira@lneec.pt](mailto:moliveira@lneec.pt)

5 Doutor em Engenharia Civil, Investigador-coordenador e chefe do Núcleo de Águas Subterrâneas, LNEC, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, [lferreira@lneec.pt](mailto:lferreira@lneec.pt)

**Palavras-chave:** recuperação de ecossistemas aquáticos, pressões antrópicas, águas subterrâneas, águas superficiais, lagoa costeira, medidas de recuperação, cenários de mudança, alterações climáticas.

**Tema:** Sub-tema 8 – Água e meio ambiente pela busca do balanço entre as necessidades do homem e dos ecossistemas terrestres e aquáticos

**Tipo de comunicação:** Oral

**Resumo:** Apresenta-se uma metodologia para a definição de medidas de recuperação das massas de água ao estado qualitativo e quantitativo bom, que aborda holisticamente os meios hídricos superficial e subterrâneo, permitindo lidar com situações em que ocorre transferência de poluição entre estes dois meios. A metodologia considera as condicionantes geológicas e hidrogeológicas, traduzidas em modelos matemáticos que lhe servem de suporte, para avaliar das reduções de cargas poluentes e/ou consumos em face de: fontes de poluição actuais e cargas poluentes associadas, áreas de entrada das cargas poluentes nas diferentes massas de água, tempos de percurso, estado actual das massas de água, contribuição de cada fonte poluente para a carga total e estado actual das diferentes áreas das massas de água, consumos associados a cada unidade agrícola, pecuária, doméstica e outras, evolução das taxas de exploração e cargas poluentes em cenários de mudança (sócio-económicos, alterações climáticas) e a conseqüente evolução do estado das massas de água. As reduções de consumos e cargas poluentes a efectuar são assim definidas para as condições actuais e futuras, constituindo valores-guia para as medidas de recuperação, servindo também de base à escolha destas. A aplicação da metodologia ao caso de estudo de Melides permitiu verificar que a poluição da lagoa se deve: prioritariamente à agricultura, não apenas pelas descargas superficiais dos arrozais mas também por uma até agora insuspeita e significativa contribuição subterrânea (> 50% da carga poluente); as fossas na envolvente da lagoa são o segundo maior problema; uma parcela significativa da poluição tem tempos de percurso suficientemente longos para surgir na lagoa após 2027; num futuro próximo a carga poluente aumentará um pouco devido a estas cargas, tornando-se mais dominada pela componente fossas. Deste modo as medidas de recuperação devem definir-se para os arrozais mas também para a componente subterrânea (poluição agrícola e doméstica).

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade de repor as massas de água no estado “Bom”, nas suas vertentes quantitativas, qualitativas e ecológicas, como resultado da Lei da Água, levou à necessidade de definir medidas de atuação com vista a recuperar o estado quantitativo e/ou qualitativo para o estado “Bom” das massas de

água actualmente em mau estado, até mais tardar 2027, e a manter o bom estado no caso das massas de água que atualmente assim se encontram. No caso dos sistemas aquíferos que por condicionantes naturais não possam atingir o bom estado até 2027 (ex.: aquíferos associados a níveis evaporíticos) os objetivos ambientais deverão ser alterados em conformidade com as especificidades verificadas nesses sistemas aquíferos. Do que acima fica expresso resulta que cada massa de água tem especificidades próprias e, deste modo, a intervenção com vista à manutenção ou recuperação do seu bom estado exige atuações distintas, que refletem a especificidade de cada situação. Por esta razão é necessário criar metodologias que guiem a escolha das medidas de intervenção, as quais sejam as mais eficazes para as condições específicas de funcionamento do meio hídrico a intervir e para o conjunto de pressões qualitativas e quantitativas que sobre ele se exercem e serão exercidas no futuro.

A metodologia que é aqui apresentada foi inicialmente desenvolvida no âmbito dos Planos de Bacia Hidrográfica (para os sistemas aquíferos de Caldas da Rainha e de Escusa). Posteriormente, e contemplando uma visão integradora da gestão do recurso hídrico, esta metodologia foi refinada no âmbito do projeto PROWATERMAN na área de estudo de Melides, onde os meios hídricos superficiais e subterrâneo se encontram profundamente interrelacionados. Com efeito esta metodologia permitiu verificar que o meio subterrâneo tem uma forte influência sobre o meio superficial e a resolução dos problemas do meio hídrico superficial – nomeadamente a eutrofização da Lagoa – exige intervenções não apenas na rede hidrográfica e Lagoa mas também no meio subterrâneo.

## 2. CARACTERIZAÇÃO GERAL DA ÁREA DE APLICAÇÃO DA METODOLOGIA

A área de estudo onde a metodologia foi implementada é a bacia hidrográfica de Melides, sita no litoral alentejano (Fig. 1), estando incluída na Região Hidrográfica 6.

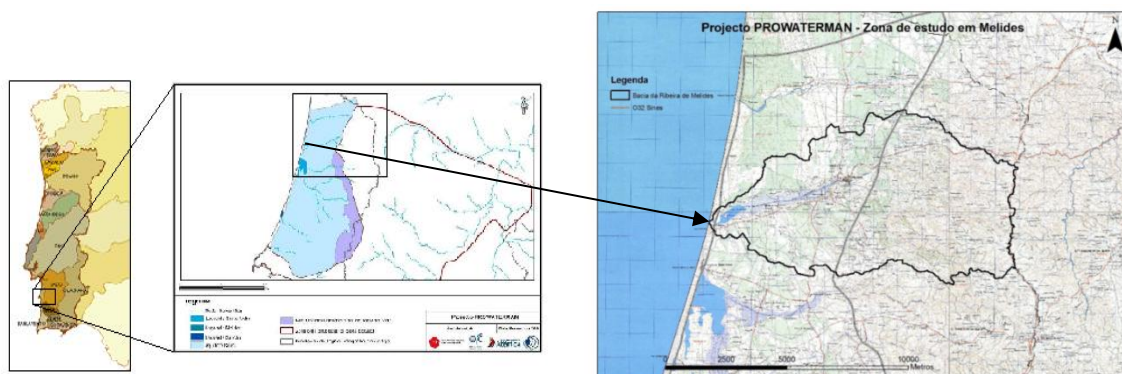
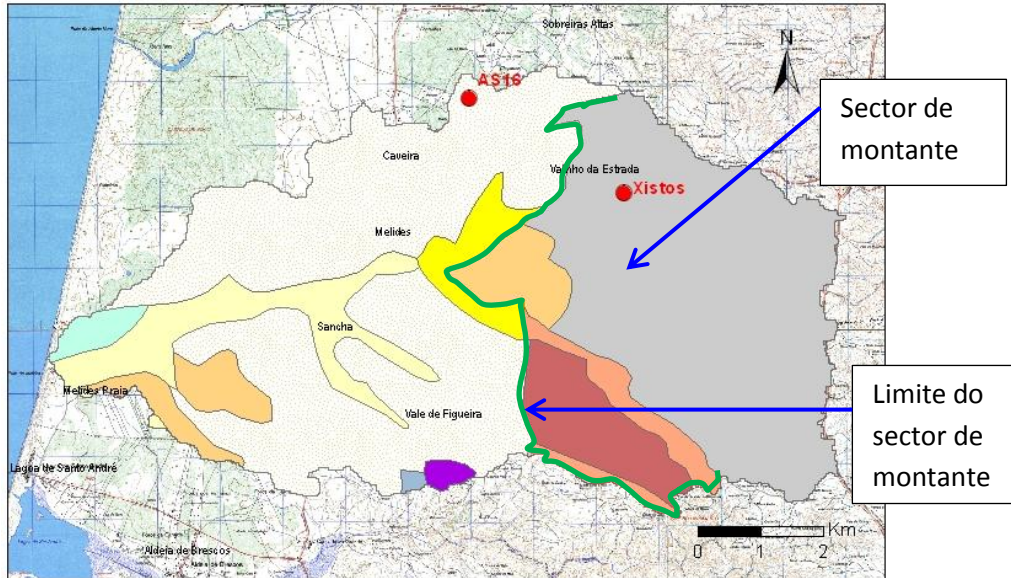


Fig. 1 – Localização da área de estudo

No seu troço de montante atravessa litologias de xistos e grauvaques, essencialmente impermeáveis, o que é expresso por uma alta densidade de drenagem. No sector jusante encontram-se terrenos detríticos terciários e quaternários, dominados por arenitos e areias de origem marinha e litoral, por vezes com seixos e intercalações carbonatadas e argilosas de reduzida extensão lateral; estas unidades detríticas recobrem as unidades carbonatadas jurássicas, estando todo o conjunto sedimentar separado das unidades de xistos pelo acidente tectónico regional da Falha de Santo André (Fig. 2).

O meio hídrico superficial é constituído pela rede hidrográfica de Melides e pela lagoa de Melides, a qual constitui a foz desta rede hidrográfica; o meio hídrico subterrâneo que interessou para o estudo dado ser este que está em ligação hidráulica com o meio hídrico superficial corresponde a um pequeno sector do aquífero mais superficial do sistema aquífero de Sines (zona de jusante da bacia), estando delimitado a Leste pelas formações pouco permeáveis da Zona Sul Portuguesa da Bacia do Sado (NEMUS et al., 2012). Este aquífero pouco profundo, poroso, encontra-se instalado nas formações detríticas terciárias e quaternárias, descarregando para o meio hídrico superficial, como foi indiciado pelos trabalhos de modelação de Monteiro et al. (2008), posteriormente refinados no estudo PROWATERMAN (Oliveira et al., 2012) assim como pelos dados do levantamento piezométrico (Fig. 3).

Com efeito neste estudo determinou-se, por intermédio de balanços hídricos, que cerca de 26,5% do volume entrado na Lagoa de Melides provém do meio subterrâneo, isto é das formações arenosas do sector de jusante, correspondendo a mais de 90% da recarga do aquífero superficial na área da bacia hidrográfica (Oliveira et al., 2012), o que tem implicações significativas na importância das origens poluentes para a qualidade do meio hídrico superficial.



Enquadramento litoestratigráfico

Fonte: Henriques e Martins (2012)

- Aluviões - Quaternário
- Dunas - Quaternário
- Formação de Marateca - Pliocénico
- Formação de Esbarradadoiro - Miocénico
- Complexo Vulcano-Sedimentar - Jurássico inf.
- Formações de Dagorda, Pereiros e Grés de Silves - Triásico
- Formação Filito-Quartzítica: filitos, siltitos e quartzitos - Devónico sup.
- Xistos, siltitos, tufitos e jaspes (Complexo Vulcano-Sedimentar da Faixa Piritosa) - Devónico sup.-Carbónico inf
- Turbiditos (Fm. Mértola) - Carbónico inf.

Fig. 2 – Geologia da bacia de Melides

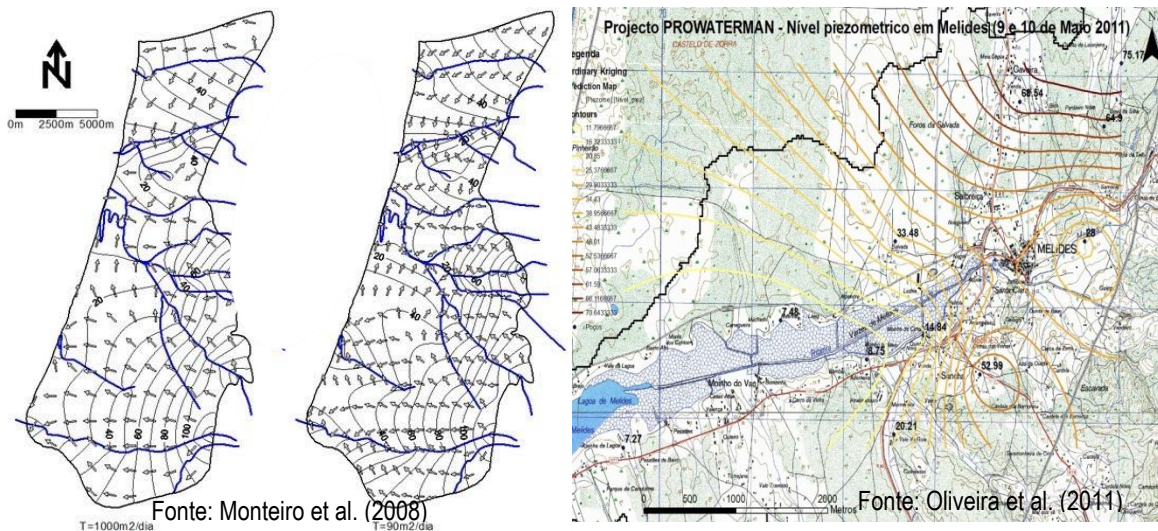


Fig. 3 – Piezometria, direções de fluxo e ligações hidráulicas entre o meio superficial e subterrâneo: a) Modelação matemática; b) isopiezias definidas a partir da piezometria

A importância da contribuição das fontes superficiais e subterrâneas para a alimentação da Lagoa tanto na área xistosa como na área arenosa é apresentada na Fig. 4, tendo os volumes totais de água

que alimentam a Lagoa sido calculados em cerca de 20 hm<sup>3</sup>/ano, no total de contribuições superficiais e subterrâneas, assim distribuídas (Oliveira et al., 2012):

- **Origem superficial:** (1) ribeira de Melides e seus afluentes (principal alimentação na no sector xistente da bacia; o escoamento superficial vindo desta área constitui cerca de 57% da alimentação da Lagoa; (2) excedentes das águas de rega, com especial destaque para os arrozais; (3) água das ETARs de Melides e de Vale Figueira; (4) excedentes da Fonte de Olhos (Melides).
- **Origem subterrânea:** (1) água subterrânea que aflui diretamente à lagoa; (2) água subterrânea que aflui à ribeira; (3) recarga por rega das áreas agrícolas e que posteriormente atinge a lagoa.

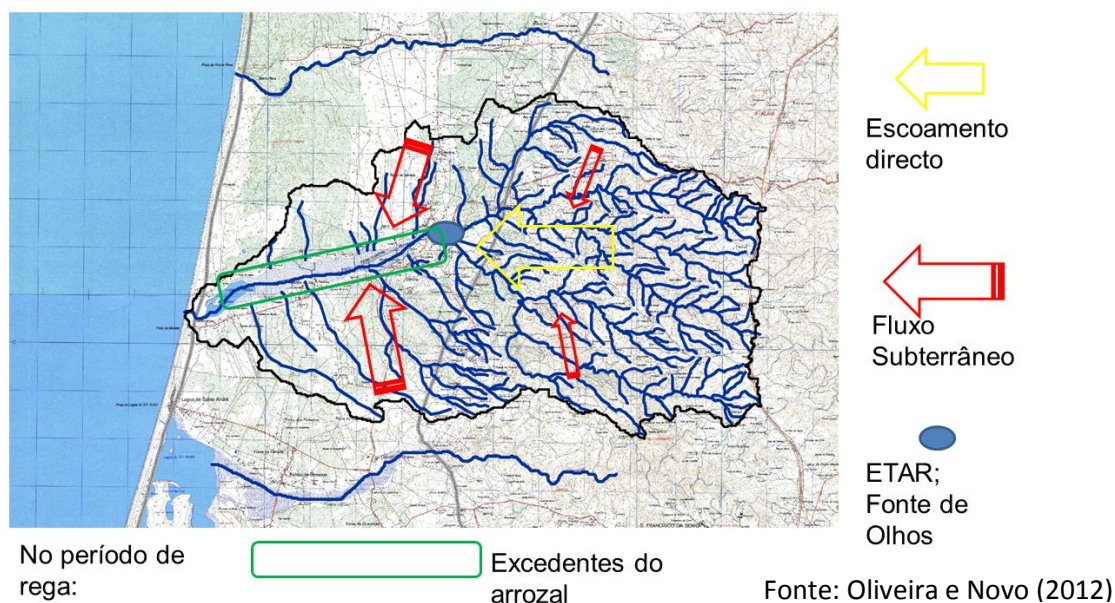


Fig. 4 – Origens da água que alimentam a Lagoa e sua importância relativa

O levantamento efetuado no projeto PROWATERMAN das fontes de poluição existentes na bacia hidrográfica identificou três tipos de fontes poluentes – agrícola, pecuária e urbana – que se concentram na zona de jusante da bacia, ou seja, sobre as formações arenosas que albergam o aquífero superficial (Fig. 5). A zona de montante caracteriza-se por uma muito reduzida ocorrência de fontes de poluição. Em termos de contribuição das fontes poluentes para os diferentes meios hídricos, podem definir-se três grupos:

- **Contribuição essencialmente para o meio superficial** – ETAR de Melides e ETAR de Vale Figueira.
- **Contribuição essencialmente para o meio subterrâneo** – fossas sépticas, campos agrícolas, instalações agropecuárias (dado que estas fazem a rejeição dos efluentes por espalhamento no solo).
- **Contribuição para o meio hídrico superficial e para o meio hídrico subterrâneo** – arrozais.

Na realidade, dado que grande parte do volume de água entrada no aquífero acaba por ser descarregada nas linhas de água e lagoa, as contribuições subterrâneas podem ser encaradas como fontes de poluição do meio superficial a médio prazo. Nalguns casos este prazo pode ser suficientemente longo para um poluente conservativo poder alcançar a superfície após 2027, o que pode colocar obstáculos ao cumprimento das normas comunitárias.

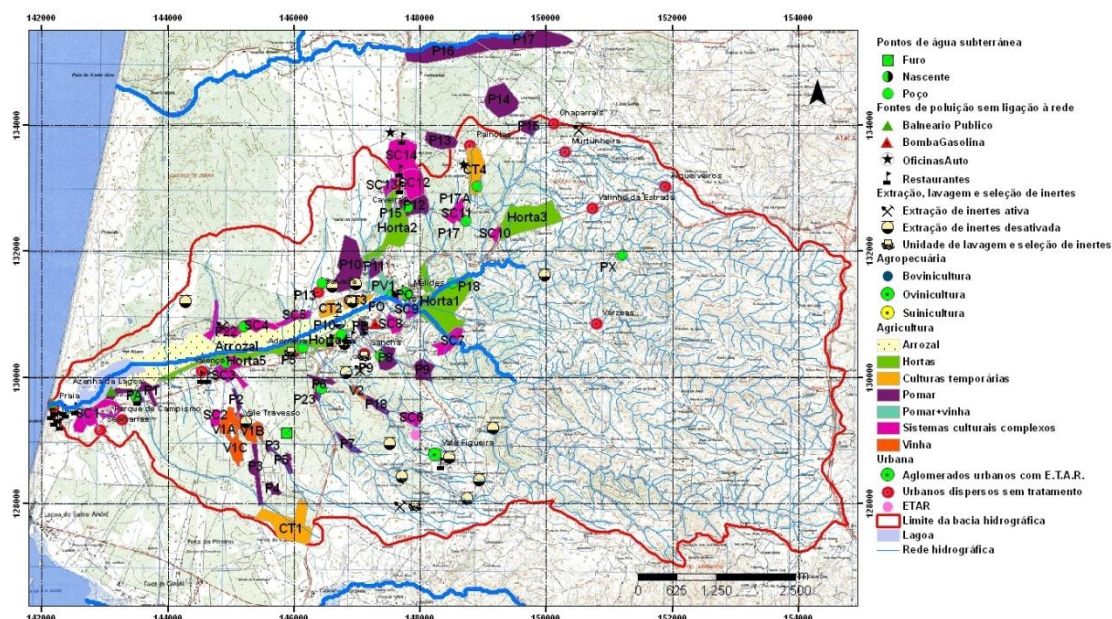


Fig. 5 – Distribuição das fontes poluentes na bacia hidrográfica de Melides

A análise do estado das massas de água na bacia de Melides realizado no Plano de Bacia Hidrográfica indica que a ribeira de Melides tem estado Mediocre devido ao parâmetro diatomáceas (NEMUS et al., 2011); a concentração destes organismos por seu turno ocorre em regra devido a concentrações elevadas de nutrientes nas águas. Ocasionalmente, talvez devido a picos de concentração destes compostos, ocorrem episódios de eutrofização, por vezes com morte de significativo número de peixes. As campanhas de monitorização realizadas no projeto PROWATERMAN identificaram as seguintes situações (Oliveira et al., 2012; Novo et al., 2012):

- **Qualidade** – apresentam valores acima dos limiares:
  - Meio subterrâneo – P3, P9, P10, P15, P23 (para os nitratos).
  - Meio superficial – MSup\_13 (para os compostos fosfatados).
- **Estado ecológico** – foram identificados em estado mesotrófico os seguintes pontos: MSup\_4, MSup\_5 e MSup\_6.

Deste modo, para recuperar os meios hídricos superficiais, são necessárias medidas que actuem não apenas no meio superficial mas tenham actuem também na componente de poluição vinda do meio hídrico subterrâneo. Assim, as medidas terão de ser as mais adequadas para as condições de funcionamento do meio hídrico superficial mas também do aquífero, suas ligações com a ribeira e lagoa, distribuição e cargas das fontes poluentes, tempos de percurso, importância relativa de cada fonte poluente para a carga total (Oliveira et al., 2012), sem descurar a evolução sócio-económica da região, visto que as medidas deverão resolver problemas não apenas no momento presente mas garantir a qualidade dos meios hídricos no futuro. Com vista a definir o tipo de medidas mais adequados e os meios em que se deve realizar a intervenção foi desenvolvida a metodologia que abaixo se apresenta. Para definição das áreas em que se deverá actuar prioritariamente foi também desenvolvida uma metodologia, em ambiente SIG (Novo et al., 2012; Novo et al., 2013a; Novo et al., 2013b).

### 3. METODOLOGIA PARA DEFINIÇÃO DE MEDIDAS RECUPERAÇÃO DO BOM ESTADO DAS MASSAS DE ÁGUA

Esta metodologia tem a seguinte estrutura:

**Passo 1: Análise das condicionantes geológicas e hidrogeológicas e desenvolvimento dos modelos conceptual e matemático** – faz-se a identificação do funcionamento hidrogeológico, definindo

áreas em que o processo dominante é o escoamento superficial, zonas preferenciais de recarga, de circulação preferencial caso existam, zonas de descarga do aquífero e áreas de influência do meio superficial sobre o subterrâneo caso existam, volumes de água das diferentes componentes no ciclo hidrológico da bacia e vulnerabilidade e risco à poluição dos aquíferos e águas superficiais. No caso de estudo foi possível definir entre outros aspectos as áreas sem potencial aquífero (dominadas pelo escoamento superficial) onde a poluição entra no meio hídrico por via superficial e áreas aquíferas, onde uma componente significativa da poluição do meio hídrico superficial provém da poluição subterrânea que atinge a superfície nas zonas de descarga do aquífero.

Os modelos conceptuais e matemático são construídos com base neste conjunto de informações, devendo simular não apenas os fluxos no aquífero e o transporte de poluentes mas os volumes transferidos entre o meio hídrico superficial e subterrâneo, zonas onde decorrem essas transferências e se possível os volumes transferidos em cada uma, as áreas de recarga, os tempos de percurso e trajectos dos poluentes desde as fontes até às zonas de descarga, etc. No caso de estudo, o modelo matemático (Fig. 6) determinou as direcções de fluxo e os locais de descarga do aquífero no meio superficial, calculou os tempos de percurso, as percentagens de poluente de cada fonte poluente que são descarregados em cada ponto de descarga (Novo et al., 2012). O modelo matemático deverá ser também utilizado para simular a eficácia das medidas que se pretendam aplicar.

No caso de estudo o modelo permitiu identificar, entre outros condicionalismos, as fontes poluentes de muito curtos tempos de percurso e que necessitam de intervenção imediata, as fontes cujos longos tempos de percurso as tornam pouco prioritárias e aquelas cujos poluentes, se conservativos, poderão alcançar o meio superficial após 2027 e que por essa razão exigirão intervenção especial.

Uma outra análise, recorrendo aos balanços hídricos e ao cálculo do volume médio da lagoa, demonstrou que o total anual de água que atinge a lagoa (por via superficial + subterrânea) é cerca de 12,6 vezes superior, o que indica uma significativa capacidade de depuração deste corpo de água (Oliveira et al., 2012).

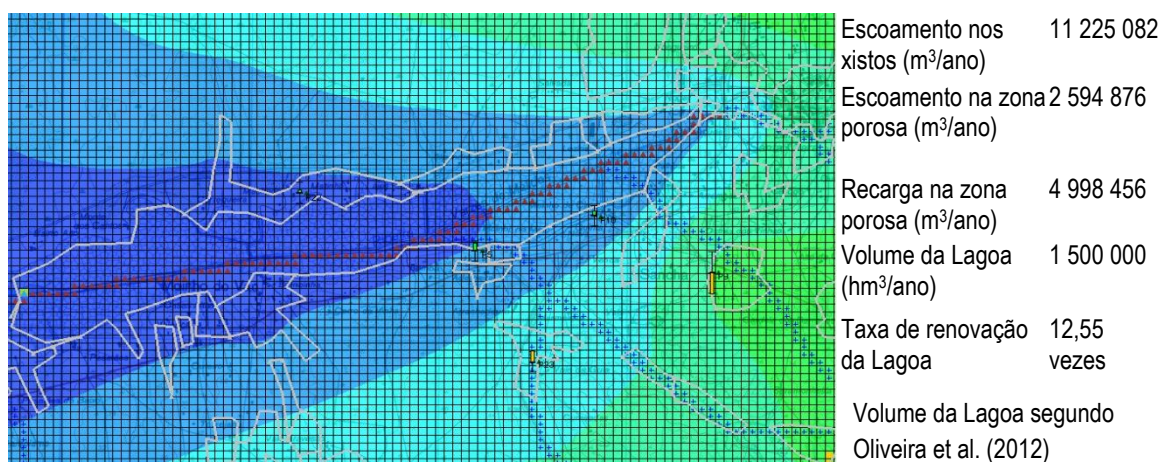


Fig. 6 – Malha do modelo matemático

**Passo 2: Definição das pressões quantitativas** – identifica-se primeiro qual o meio hídrico (superficial ou subterrâneo) que abastece quais actividades económicas na bacia, e seguidamente os consumos por tipo de actividade económica. Os consumos são determinados considerando os consumos *per capita* e população em cada núcleo populacional, consumo por tipo e nº de cabeças de gado e tipo de estabelecimento por unidade pecuária, as necessidades hídricas das culturas, área de cada cultura por parcela agrícola e eficiência de rega. Conhecidos os consumos, a origem dos abastecimentos por actividade económica (e/ou parcela/povoado/unidade pecuária), os volumes de recarga e de escoamento superficial, calculam-se as taxas de exploração anual (Quadro 1) e mensais totais e por actividade económica, podendo deste modo determinar a situação em termos de quantidade e quais as actividades que exercem maior pressão em cada massa de água. Especificamente para o meio subterrâneo é possível, com base na piezometria, distribuição dos pontos de captação e respectivos volumes de extracção, áreas em eventual sobre-exploração. Os consumos e taxas de exploração mensais permitem definir variações ao longo do ano devidas aos abastecimentos para rega.

Quadro 1 – Consumos atuais

Meio hídrico	Volumes de consumos (m³/ano)				Taxas de exploração (%)
	Doméstico (1)	Arrozais	Outras culturas	Pecuária	
Subterrâneo	525 288	--	1 521 414	1 568,1	38,87
Superficial	--	640 000	--	--	4,63

(1) Valor actual obtido de INSAAR (2011).

**Passo 3: Definição das pressões qualitativas e estado das massas de água** – o estado de qualidade e ecológico é definido caso se possua um número significativo de dados durante intervalos de tempo representativos; no caso destes dados não existirem pode definir-se o ponto da situação qualitativa e ecológica a partir de campanhas de amostragem (Quadro 2). Esta informação permite definir as condições actuais das massas de água, as zonas que podem apresentar problemas de qualidade e as zonas em estado mais crítico. Esta identificação permite definir quais as áreas que exigem intervenção imediata, intervenção posterior ou que não necessitam de intervenção e/ou apenas de medidas de prevenção. Nalguns casos pode ocorrer que os maus resultados em termos de parâmetros de qualidade se devam a condicionamentos naturais (ex.: circulação de águas em unidades evaporíticas); nestes casos terão de se modificar os critérios de avaliação da qualidade.

Quadro 2 – Estado atual da qualidade das águas no aquífero

Ponto de monitorização	Tipo de ponto de água	Concentração (mg/l)		Situação atual
		Nitratos	Fósforo	
PX (nos xistos)	Poço	< 2,0	0,036	Não ultrapassa limiares
P3	Furo (1)	101,00	< 0,010	Muito acima dos limiares
P4	Poço	39,2	0,045	Aproxima-se dos limiares
P5	Poço	64,5	0,279	Ultrapassa limiares
P9	Poço	107,00	< LQ	Muito acima dos limiares
P17A	Poço	< 2,0	< LQ	Não ultrapassa limiares
P17	Poço	2,52	< LQ	Não ultrapassa limiares
P18	Poço	< 2,0	< LQ	Não ultrapassa limiares
FO	Nascente	11,70	0,046	Não ultrapassa limiares
P10	Poço	28,8	0,716	Muito acima dos limiares
P13	Poço	< 2,0	0,162	Não ultrapassa limiares
P15	Poço	< 2,0	0,590	Muito acima dos limiares
P21	Poço	< 2,0	0,010	Não ultrapassa limiares
P22	Poço	< 2,0	0,020	Não ultrapassa limiares
P23	Poço	7,42	0,662	Ultrapassa limiares

**Passo 4: Distribuição das fontes poluentes e respectivas cargas** – identifica-se o número, tipo e localização de cada fonte poluente por tipo de actividade económica/espectro poluente e meio onde faz as suas descargas. Esta análise permite identificar as fontes poluentes mais significativas, a sua localização e a contribuição de cada fonte para a carga poluente total de cada massa de água. No caso de estudo de Melides associou-se a cada fonte poluente um espectro poluente típico da actividade associada a essa fonte e calculou-se a carga poluente respectiva considerando: tipo de fonte poluente (agrícola, pecuária, doméstica, etc.); área de cultivo, tipo de cultura e necessidades da cultura em nutrientes para cada parcela agrícola; n.º cabeças de gado, tipo de animal estabulado e tipo de estabulamento por cada unidade pecuária; número de habitantes em cada agregado populacional, habitantes-equivalente, carga tratada por fossa séptica. A metodologia de cálculo é apresentada em Oliveira et al. (2012). Determinadas as cargas poluentes para cada fonte (Quadro 3) define-se a contribuição percentual de cada fonte poluente para a carga poluente total e determina-se a importância relativa de cada fonte, identificando-se não apenas a componente poluente de origem antrópica mas alguma eventual contribuição natural e quais as fontes que poderão exigir maior prioridade de intervenção.

Quadro 3 – Contribuição das diferentes fontes poluentes para a poluição na Lagoa

Fonte poluente	Nitratos		Fosfatos	
	Carga (kg)	% vs total poluição	Carga (kg)	% vs total poluição
Arrozal	2832	33,47	2741	56,08
P1	92	1,09	34	0,70
CT2	265	3,13	120	2,44
CT3	277	3,27	125	2,55
SC1	542	6,41	221	4,51
SC3	276	3,26	283	5,80
SC9	81	0,96	36	0,74
PV	207	2,45	106	2,17
BOV	677	8,00	307	6,28
OV	720	8,51	270	5,52
Aderneira	25	0,29	6	0,12
Salvada	38	0,45	10	0,20
Sesmarias	356	4,21	92	1,88
Campismo	2073	24,50	538	11,01
Agrícola	4572	54,04	3665	74,98
Pecuária	1397	16,51	577	11,80
Urbana	2492	29,45	646	13,22

**Passo 5: Identificação das fontes poluentes que afectam os pontos de amostragem e sua para a carga poluente total aí registada** – isto realiza-se através do modelo matemático, o qual identifica para cada ponto de amostragem quais as fontes poluentes que atingem cada ponto e a percentagem de poluente de cada fonte que chega a cada um, estabelecendo deste modo uma relação quantitativa entre o estado de poluição e as origens da poluição (Quadro 4).

Quadro 4 – Contribuição de cada fonte poluente nos pontos de monitorização e meio hídrico superficial

Fonte poluente		Percentagem de poluição que alcança:	
		Pontos de monitorização subterrânea	Ribeira
Pomares	P6	P5 = 20% (= 23,2 kgN/ano e 10,4 kgP/ano)	100%
	P7	P23 = 5% (= 3,8 kgN/ano e 1,7 kgP/ano)	100%
		P5 = 35% (= 26,3 kgN/ano e 11,9 kgP/ano)	
	P8	P9 = 7% (= 10,5 kgN/ano e 4,7 kgP/ano)	100%
		P10 = 7% (= 10,5 kgN/ano e 4,7 kgP/ano)	
P12	P15 = 17% (= 33,5 kgN/ano e 15,0 kgP/ano)	100%	
P15	P18 = 10% (= 8,6 kgN/ano e 3,9 kgP/ano)	100%	
Sistemas culturais mistos	SC4	P22 = 6% (= 26,1 kgN/ano e 11,7 kgP/ano)	100%
	SC6	P23 = 15% (= 17,7 kgN/ano e 6,5 kgP/ano)	100%
		P5 = 10% (= 11,8 kgN/ano e 4,3 kgP/ano)	
SC11	P17 = 20% (= 35,6 kgN/ano e 16,0 kgP/ano) P18 = 13% (= 23,2 kgN/ano e 10,4 kgP/ano)	100%	
Culturas temporárias	CT4	P15 = 3% (= 24,1 kgN/ano e 10,8 kgP/ano) P17A = 10% (= 80,2 kgN/ano e 36,1 kgP/ano) P17 = 8% (= 64,2 kgN/ano e 28,9 kgP/ano) P18 = 35% (= 280,7 kgN/ano e 126,4 kgP/ano)	Ribeira = 100%
Urbana	Azenha da Lagoa	P21 = 30% (= 5,6 kgN/ano e 1,5 kgP/ano)	Lagoa = 30% Ribeira = 70%
	Aderneira	P5 = 40% (= 9,8 kgN/ano e 2,4 kgP/ano)	Ribeira = 100%
	Sancha	P10 = 27% (= 9,5 kgN/ano e 2,4 kgP/ano)	Ribeira = 100%
	Sesmarias	Nenhum ponto atingido	Lagoa = 90%
	Parque Campismo	Nenhum ponto atingido	Lagoa = 100%
Agropecuária	SUI1	Nenhum ponto atingido	Ribeira = 100%
	SUI2	P17 = 20% (= 43,2 kgN/ano e 20,2 kgP/ano)	Ribeira = 100%
	BOV1	P5 = 20% (= 135,4 kgN/ano e 61,4 kgP/ano)	Ribeira = 100%



Definem-se ainda as diferentes zonas afectadas do aquífero, o seu grau de degradação e a proporção que cada fonte desempenha neste processo, obtendo-se uma hierarquia de zonas poluídas e das fontes mais e menos contribuidoras para esta degradação.

**Passo 6: Definição das zonas de descarga de poluentes no meio hídrico superficial (superficiais e subterrâneas) e contribuição das diferentes fontes para a carga poluente em cada zona de descarga** – faz-se a definição das fontes que contribuem maioritariamente para a poluição do meio superficial ou subterrâneo, em função da sua tipologia. No caso de estudo as ETARs são fontes poluentes dominantemente do meio superficial, os arrozais são fontes poluentes igualmente significativas do meio superficial e subterrâneo, outras parcelas agrícolas, unidades pecuárias e fossas são fontes de poluição essencialmente subterrâneas. Critérios de proximidade geográfica às linhas de água e/ou lagoa foram usados para definir percentagens subsidiárias de contribuição das fontes agrícolas e pecuárias (via escoamentos superficiais) para a poluição o meio superficial. Foram ainda definidas, por modelação matemática, as zonas de descarga do aquífero no meio hídrico superficial (lagoa e ribeiras) e a percentagem de contribuição de cada fonte poluente nessas zonas (Quadro 5; Novo et al., 2012). Esta análise permite identificar as fontes poluentes que afectam o meio superficial, o peso de cada uma na poluição, assim como a importância da contribuição subterrânea para a poluição superficial.

Quadro 5 – Pontos de descarga do aquífero e respectivas contribuições por fonte poluente para a carga poluente total nesses pontos

Fontes poluentes		Pontos de monitorização onde poluente foi detectado	Pontos de descarga na ribeira e respectivas percentagens face à carga total de cada fonte poluente											
Hortas / Culturas temporárias	CT1	--	77432 33%	77214 40%	76781 22%	76564 5%								
	CT2	--	75475 20%	75254 33%	75033 13%	74592 7%	74371 13%	74150 7%	73929 7%					
	CT3	--	73708 27%	73709 13%	73710 7%	73488 13%	73489 13%	73268 13%	73047 7%	72825 7%				
	CT4	P15 = 3%; P17A = 10%; P17 = 8%; P18 = 35% da carga	73709 10%	72604 83%	72383 5%	72402 3%								
Vinhas	V1A	--	77218 16%	76997 4%	76998 4%	76999 8%	77000 4%	77001 8%	77002 4%	77003 32%	76781 12%	76782 8%		
	V1B	--	76782 12%	76783 12%	76784 24%	76785 16%	76786 12%	76564 16%	76565 8%					
	V1C	--	77215 28%	77218 20%	76997 8%	76999 12%	77000 4%	77001 12%	77002 12%	77003 4%				
	V2	--	75696 100%											
Pecuária	SUI1	--	77219 80%	76997 20%										
	SUI2	P17 = 20% da carga	72384 100%											
	BOV1	P5 = 20% da carga	75918 20%	75696 80%										
	BOV2	--	76783 20%	76784 20%	76785 20%	76786 40%								
	OVI	--	72384 100%											

**Passo 7: Definição dos tempos de percurso** – estes definem-se, para cada fonte poluente subterrânea, através do modelo matemático (Quadro 6); para o meio superficial esta determinação recorre ao tempo de concentração, sendo que no caso de estudo esse tempo é inferior a 1 dia. Esta análise permite definir as fontes poluentes que têm um impacto muito rápido e significativo na lagoa (fontes associadas a curtos tempos de percurso e elevadas cargas poluentes), fontes com impactos mais

retardados (associadas a tempos de percurso mais longos), fontes que têm impactos muito atenuados fontes associadas a tempos de percurso suficientemente longos para as cargas poluentes serem atenuadas ao longo do seu trajecto no aquífero, fontes associadas a tempos de percurso que farão os poluentes atingir a lagoa algum tempo após 2027 (exigem intervenções sobre a fonte e sobre as áreas de descarga a elas associadas). Foi assim possível definir classes de intervenção: imediata (fontes de tempos de percurso rápido a muito rápido e grandes cargas poluentes); prevenção (fontes com tempos de percurso suficientemente longos para terem um reduzido impacto sobre o meio hídrico superficial); intervenção sobre as zonas de descarga (fontes associadas a tempos de percurso intermédios).

Quadro 6 – Tempos de percursos associados a cada fonte poluente

Fonte poluente		Tempo de percurso	Fonte poluente	Tempo de percurso		
Agrícola	Arrozais	A	Sistemas culturais mistos	334 dias		
		B		228 dias		
		C		28 dias		
	Vinhas	V1		A	22 anos	
				B	26 anos	
				C	60 anos	
	Pomares	V2		Pecuária	9 anos	
		P1			1 ano	
		P2			6 anos	
		P3			77 anos	
		P4			105 anos	
		P5			73 anos	
		P6			8 anos	
		P7			13 anos	
		P8			27 anos	
		P9	77 anos			
		P10	10 anos			
		P11	7 anos			
		P12	37 anos			
		P13	156 anos			
		P14	Não vai para a Lagoa			
		P15	218 anos			
		P16	Não vai para a Lagoa			
		P17	Não vai para a Lagoa			
	P18	11 anos				
	Pomar + vinha PV	1 ano	Urbana (fossas)	Moinho	2 anos	
	Hortas	CT1		209 anos	Valença	3 anos
		CT2		1 ano	Aderneira	281 dias
		CT3		300 dias	Sancha	4 anos
		CT4		134 anos	Caveira	36 anos
Sistemas culturais mistos	SC1	A		164 dias	Azenha	2 anos
		B		1 ano	Vale Travesso	25 anos
	SC2	26 anos		Salvada	293 dias	
	SC3	255 dias		Sesmarias	113 dias	
	SC4	2 anos		Praia	Vai para o litoral	
	SC5	2 anos		Parque Campismo	138 dias	
	SC6	88 anos				
	SC7	3 anos				
	SC8	16 anos				
	SC9	307 dias				
SC10	39 anos					

**Fontes poluentes associadas a tempos de percurso:**

Muito curtos (< de 1 ano) → Vermelho

Curtos (1 a 3 anos) → Laranja

Intermédios (3 a 15 anos) → Amarelo

Alargados (15 a 25 anos) → Verde

Longos (25 a 70 anos) → Azul

Muito longos (> 70 anos) → Cinza

As áreas que mais poderão limitar a eficácia das medidas de recuperação da lagoa são as de tempo de percurso intermédio pois a poluição que hoje entre no aquífero atingirá o meio superficial após 2027.

Adaptado de Oliveira e Novo (2012)

Os passos anteriores definem as condições actuais dos meios hídricos e de uso do recurso e os locais a necessitar de intervenção para alcançar o estado Bom das massas de água. No entanto para as

medidas serem eficazes a médio prazo (2027 e posteriormente) é necessário considerar também as cargas poluentes e taxas de exploração futuras. A estimativa destas condições futuras faz-se com recurso a cenários de mudança (sócio-económicos, climáticos). Tal análise realiza-se nos passos seguintes:

**Passo 8: Evolução até 2027 das fontes poluentes (distribuição, n.º e cargas) sob cenários sócio-económicos** – com base nas estimativas de evolução da demografia e das atividades económicas definidas num conjunto de cenários sócio-económicos – que no caso da área de estudo foram desenvolvidos por Lourenço et al. (2011) no âmbito do projecto PROWATERMAN – calcula-se a evolução dos consumos e das cargas poluentes para os horizontes temporais de 2015 e 2027, admitindo que não se implementam quaisquer medidas de recuperação das massas de água. A estimativa destas evoluções é necessária para se definirem objectivos quantitativos de redução das cargas poluentes e/ou consumos com vista à recuperação e/ou manutenção do bom estado das massas de água. Esta estimativa foi realizada do seguinte modo:

- **Pressões domésticas** – determinadas a partir da evolução da população residente e população flutuante (que se fez corresponder à ocupação turística), pois os dois grupos populacionais podem ter evoluções distintas. Na área de estudo, com efeito, projecta-se uma regressão da população residente e o aumento da população flutuante. A população residente está associada a consumos e carga poluente que ocorre ao longo de todo o ano e a população turística a um aumento de consumos e de carga poluente nos meses de Verão registados essencialmente na envolvente da Lagoa. Para as áreas onde não se registam variações significativas dos consumos e cargas poluentes entre o Inverno e o Verão, aplica-se aos consumos e cargas poluentes actuais *per capita* a taxa de variação da população residente para 2015 e 2027. Para as povoações onde se registam subidas significativas das cargas poluentes e consumos de Verão os consumos são calculados do seguinte modo: calcula-se um consumo médio dos meses não-Verão e subtrai-se aos consumos de Verão; a este valor médio aplica-se a taxa de variação da população residente para os anos de 2015 e 2027; ao remanescente, e que corresponde ao consumo da população turística, aplica-se a taxa de evolução da população turística para os anos de 2015 e 2027; o novo valor de consumos de Verão é o somatório dos valores modificados dos consumos da população residente e da população de Verão. As cargas poluentes são determinadas por processo similar.
- **Pressões pecuárias** – as projeções sócio-económicas de evolução da atividade pecuária são expressas apenas em termos de variação no n.º cabeças de gado por unidade de produção, mantendo-se similares o número de instalações, tipo de estabulamento e composição etária dos efectivos por unidade, considerando-se ainda que os consumos e as cargas poluentes se mantêm por cabeça de gado. As taxas de variação em termos de evolução pecuária são distintas consoante o tipo de pecuária (suiniculturas, oviniculturas, boviniculturas, capriniculturas, aviários) pelo que a cada tipo de unidade pecuária se faz corresponder a taxa de evolução específica, a qual é aplicada aos consumos e cargas poluentes. Na área de estudo os cenários sócio-económicos prevêm uma estagnação desta actividade, pelo que os consumos e cargas poluentes, para os horizontes temporais de 2015 e 2027, se mantiveram iguais aos actuais.
- **Pressões agrícolas** – assume-se o pressuposto de que, para os horizontes temporais dos cenários sócio-económicos, se manterão as atuais necessidades hídricas das plantas, eficiência da rega e cargas poluentes por cultura por unidade de área. Conhecendo a variação da área agrícola por cultura projectada pelos cenários sócio-económicos (Lourenço et al., 2011) e as áreas agrícolas afectas a cada cultura por parcela agrícola – utilizando a cartografia Corine Land Cover e levantamentos de campo – aplica-se para cada parcela agrícola a variação de área prevista para a cultura dominante respectiva, obtendo-se as novas áreas para os horizontes de 2015 e 2027. Tendo-se os valores actuais de consumos e cargas poluentes por unidade de área e por parcela agrícola (Oliveira et al., 2012) calculam-se, para cada uma das novas áreas de cada parcela, os respectivos consumos e cargas poluentes.

- **Pressões industriais e outras actividades** – no caso de estudo a evolução destas pressões não foi calculada, visto não ter sido referenciada a existência de unidades industriais (confirmado por levantamento de campo) ou outras pressões com significado em termos de consumos e cargas poluentes, e os cenários sócio-económicos não preverem a instalação futura de qualquer unidade industrial ou de quaisquer outras pressões (ex.: campos de golfe).

Calculadas as evoluções das cargas poluentes e consumos sob cenários sócio-económicos calcula-se em seguida:

- **Alterações das taxas de exploração** – tendo sido estimados os consumos futuros, e considerando que as recargas e escoamentos superficiais se mantêm similares aos atuais até pelo menos 2027, calculam-se as novas taxas de exploração (Quadro 7). Para as taxas de exploração do aquífero consideram-se as recargas e os volumes de consumos abastecidos por poços, furos e eventualmente nascentes; para as taxas de exploração superficial consideram-se os volumes de consumos abastecidos pela ribeira e o valor do escoamento superficial. Quando possível, para os aquíferos, devem identificar-se e delimitar as zonas onde esta a ocorrer sobreexploração, ou venha a ocorrer a breve prazo.

Quadro 7 – Evolução das taxas de exploração em função dos cenários sócio-económicos

Meio hídrico	Anos	Volumen de consumos (m <sup>3</sup> /ano)				Taxas de exploração (%) *
		Doméstico (1)	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária	
Subterrâneo	Atual	525 288	--	1 521 414	1 568,1	38,87
	2015	546 080	--	1 492 467	1 568,1	38,71
	2027	564 947	--	1 424 951	1 568,1	37,79
Superficial	Atual	--	640 000	--	--	4,63
	2015	--	625 105	--	--	4,52
	2027	--	585 845	--	--	4,24

\* A taxa de exploração é calculada para os consumos subterrâneos em função da recarga e para os consumos superficiais em função do escoamento superficial total da bacia; (1) valor atual obtido de INSAAR (2011).

- **Evolução das futuras cargas poluentes que entram no aquífero, na rede hidrográfica e na Lagoa** – às novas cargas poluentes para cada fonte poluente calculadas para as condições dos cenários sócio-económicos, aplicam-se os Passos 5 e 6, obtendo-se a carga poluente que alcança cada massa de água (aquífero, rede hidrográfica e lagoa) e as novas cargas expectáveis nos pontos de monitorização. Esta análise, que tem de considerar o funcionamento e eventuais condicionantes artificiais de cada meio hídrico em análise, permite estabelecer evoluções expectáveis da poluição ao longo de diferentes horizontes temporais. No caso de estudo esta informação foi utilizada para avaliar a evolução da concentração dos poluentes na lagoa; como a lagoa abre periodicamente ao mar (seja por acção natural ou antrópica) consideraram-se 3 cenários de remoção de poluentes os quais pretendem reflectir a eficácia depurativa de diferentes regimes de abertura da Lagoa.

Quadro 8 – Evolução das concentrações (mg/l) de nutrientes na lagoa em função dos cenários sócio-económicos (somatório do total de carga poluente de todas as origens)

Anos	Não remoção de carga		5% de remoção de poluentes		50% de remoção de poluentes		95% de remoção de poluentes	
	Nitratos	Fosfatos	Nitratos	Fosfatos	Nitratos	Fosfatos	Nitratos	Fosfatos
Actual	6,41	3,86	6,09	3,67	3,21	1,93	0,32	0,19
2015	7,41	4,24	7,04	4,03	3,71	2,12	0,37	0,21
2027	8,38	4,62	7,96	4,39	4,19	2,31	0,42	0,23

- **Avaliação da alteração da contribuição e importância das fontes poluentes** – com base nos novos valores de carga poluente determina-se a nova importância relativa de cada fonte poluente e de cada atividade económica na poluição de cada meio hídrico. As novas cargas poluentes são também estimadas para cada ponto de monitorização e ponto de descarga do aquífero, assim como as novas contribuições de cada fonte poluente para essas cargas e as

eventuais alterações do seu peso relativo face às actuais. Isto permite identificar quais fontes poluentes, zonas de descarga e áreas poluídas sofrerão agravamentos nas suas condições e quais destas exigirão num futuro próximo uma maior prioridade de intervenção.

- **Identificação de zonas problemáticas sob as novas condições sócio-económicas** – tendo as novas cargas poluentes (e consumos) e as respectivas distribuições espaciais para os horizontes temporais de cada cenário sócio-económico, tendo ainda em consideração as áreas de influência das fontes poluentes (ex.: extensão das plumas poluentes), as áreas onde alterações no tipo de poluição, carga poluente (Tabela 9), novas zonas poluídas e/ou de sobreexploração podem ser identificadas e eventualmente delimitadas. Em cada zona é possível identificar o tipo de problema de poluição que poderá tornar-se dominante (ex.: poluição urbana passar a dominar face à agrícola; risco acrescido de intrusão salina em zonas costeiras por aumento dos volumes de extracção).

Quadro 9 – Evolução das concentrações de nitratos (no aquífero) em função das condições previstas nos cenários sócio-económicos

Ponto	Nitratos (mg/l)	
	Atual	2027
P17A	< 2,00	--
P17	2,52	2,57
P18	< 2,00	--
P15	< 2,00	--
FO	16,38	18,23
P9	107,00	105,46
P13	< 2,00	--
P10	53,57	59,33
P23	11,87	13,07
P5	112,88	122,23
P3	101,00	101,62
P22	< 2,00	--
P4	41,98	42,99
P21	< 2,00	--

- **Cálculo das reduções das cargas poluentes e consumos necessárias à recuperação das massas de água** – estimadas as novas cargas poluentes e consumos para os cenários sócio-económicos, usa-se um processo iterativo para definir as taxas de redução de poluição/consumos para cada fonte poluente necessárias para recuperar e/ou manter o bom estado das massas de água. Estas reduções são os valores-guia a serem alcançados pelas medidas de intervenção

Quadro 10 – Reduções de cargas poluentes propostas para algumas fontes poluentes do caso de estudo

Fonte Poluente	Contribuição atual face à carga total		Redução da carga poluente	
	N (%)	P (%)	Superficial	Subterrânea
P1	0,55	0,49	15,0%	15,0%
P7	0,45	0,41	10,0%	10,0%
P8	0,90	0,80	20,0%	20,0%
P10	2,65	2,39	15,0%	30,0%
P18	0,45	0,41	10,0%	10,0%
V1A	1,14	1,45	10,0%	20,0%
V1B	1,08	1,30	20,0%	20,0%
V2	0,30	0,41	10,0%	10,0%
Pomar + vinha PV1	1,24	1,27	10,0%	20,0%
SC1	3,25	2,90	30,0%	40,0%
SC3	1,65	1,48	20,0%	25,0%
SC5	0,78	0,70	10,0%	15,0%

Fonte Poluente	Contribuição atual face à carga total		Redução da carga poluente	
	N (%)	P (%)	Superficial	Subterrânea
CT1	8,48	7,64	25,5%	45,0%
CT2	1,59	1,43	17,0%	25,0%
CT3	1,66	1,50	17,0%	25,0%
SUI1	4,04	3,78	40,0%	43,0%
SUI2	1,29	1,21	25,0%	25,0%
BOV1	4,06	3,68	40,0%	43,0%
BOV2	4,52	4,10	40,0%	45,0%
OVI	4,31	3,24	40,0%	45,0%
Azenha Lagoa	0,11	0,06	0,0%	15,0%
Valença	0,11	0,05	0,0%	15,0%
Vale Travesso	0,28	0,14	0,0%	15,0%
Moinho do Vau	0,38	0,19	0,0%	15,0%
Caveira	0,52	0,28	0,0%	20,0%
Sesmarias	2,13	1,10	0,0%	35,0%
Parque Campismo	12,42	6,46	0,0%	60,0%
Arrozais A	5,59	10,85	35,0%	35,0%
Arrozais B	10,59	20,53	45,0%	45,0%
Arrozais C	0,78	1,51	20,0%	20,0%

Nota: células a rosa – indicam as reduções prioritárias, função da contribuição de cada fonte para cada meio hídrico; células a cinzento – a poluição demora mais de 20 anos a chegar à ribeira e/ou lagoa de Melides.

**Passo 9: Evolução dos consumos e poluição (distribuição, n.º, tipologia e cargas das fontes poluentes) sob outros cenários de mudança** – a mesma abordagem explanada no Passo 8 é aplicada, com as devidas adaptações, a quaisquer outros cenários de mudança. No caso de estudo os cenários de mudança considerados foram os de alterações climáticas (Santos e Miranda, 2006). Neste caso a determinação das pressões teve de considerar as alterações na recarga e escoamento superficial previstos para as condições destes cenários, as quais foram calculadas por Oliveira et al. (2012b). Para a avaliação dos consumos consideraram-se duas hipóteses (Novo et al., 2012): (1) manutenção das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas e que basicamente pretende reflectir uma certa redução do coberto vegetal e desertificação humana e animal, (2) considera alterações destas mesmas necessidades hídricas, em conformidade com as projecções de estudos realizados para diversos climas mediterrânicos (Masike e Ulrich, 2009; Schiavon e Emmans, 2000 in Patience, 2012; Walid, 2009; Diaz et al., 2007). O Quadro 11 apresenta a variação das taxas de exploração para o caso em que se consideram as necessidades hídricas similares às previstas para 2027 e projectadas para o ano 2100.

Quadro 11 – Alteração das taxas de exploração (aquífero) em função dos cenários sócio-económicos e de alterações climáticas

Horizonte temporal	Modelo	Volumes de consumos (m³/ano)				Recarga (m³/ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Outras culturas	Pecuária		
	Atual	525 288	--	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38,87
	2027	564 947	--	1 424 951	1 568,1	5 269 858	37,79
Ano 2100	HadRM2/IS92a	564 947	--	1 424 951	1 568,1	3 693 381	55,24
	HadRM3/SRES A2	564 947	--	1 424 951	1 568,1	1 920 058	103,72
	HadRM3/SRES B2	564 947	--	1 424 951	1 568,1	2 607 867	76,36

Para a previsão das cargas poluentes na lagoa consideraram-se as alterações no escoamento superficial, recarga e a consequente alteração do volume da lagoa para cada cenário de alterações climáticas; admitiu-se que as fontes poluentes, em termos de número e carga poluente, se manterão similares ao previsto para 2027. Tal pressuposto foi adotado, dada a elevada incerteza em termos de previsão da evolução das cargas poluentes para o horizonte temporal de 2100. A única excepção foram as cargas poluentes de origem agrícola, em que embora se admitindo uma manutenção da carga poluente por cultura e unidade de área, se admitiram duas hipóteses – manutenção da área agrícola e

redução da área agrícola – devido à existência de estudos de cenarização sócio-económica/alterações climáticas que preveem alterações nas áreas agrícolas no território europeu, que embora muito variáveis entre diversos autores no geral tendem para uma redução destas áreas, sendo de citar o trabalho mais extenso (Rounsevell et al., 2006) e que serviu de base à avaliação destas pressões na área de estudo por Novo et al. (2012). Como existe uma componente significativa de poluição subterrânea na carga poluente total da lagoa, e como em cenários de alteração climática as recargas do aquífero, e em consequência os respectivos níveis freáticos, deverão sofrer reduções, limitando o volume de descargas e a transferência de poluentes do meio subterrâneo para o superficial, Novo et al. (2012) adoptaram os seguintes pressupostos: cenário HadRM2/IS92a – 80% da carga poluente entra no meio superficial, dado que neste cenário a redução da recarga é relativamente moderada (cerca de 26%; Oliveira et al, 2012; Novo et al., 2012; Novo et al. 2013c); cenários HadRM3/SRES A2 e HadRM3/SRES B2 – dada a significativa redução da recarga (respectivamente 60% e 40%; ibidem), considerou-se que o aquífero deixa de fazer descargas – e consequentes transferências de poluição – para o meio superficial. Os resultados apresentam-se no Quadro 12.

Quadro 12 – Evolução das concentrações (mg/l) de nitratos na Lagoa em cenários de alterações climáticas para diferentes cenários de renovação da Lagoa

Anos	Não remoção de carga		5% remoção de carga		50% remoção de carga		95% remoção de carga		
	Área agrícola		Área agrícola		Área agrícola		Área agrícola		
	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	
Actual	8,67	--	8,24	--	4,34	--	0,43	--	
2027	45,58	44,44	43,31	42,22	22,80	22,22	2,28	2,22	
2050	46,40	44,98	44,08	42,73	23,20	22,49	2,32	2,25	
2100	IS92a	39,61	38,28	37,62	36,37	19,80	19,14	1,98	1,91
	A2	1,19	1,01	1,13	0,96	0,60	0,51	0,06	0,05
	B2	1,19	1,01	1,13	0,96	0,60	0,51	0,06	0,05

**Passo 10: Definição das medidas de intervenção** – estas são definidas para cada massa de água, parâmetro (quantitativo e/ou qualitativo) e fonte poluente/actividade económica que actualmente ou num futuro próximo venham a gerar problemas. A definição de medidas específicas para cada tipo de meio hídrico deve-se ao facto de que cada um tem funcionamento e condicionalismos químicos e hidrológicos/hidráulicos específicos. É de sublinhar que por vezes, para conseguir a recuperação de um meio hídrico (ex.: lagoa de Melides) é necessário actuar em simultâneo noutro meio (ex.: criação de zonas húmidas dimensionadas para o tratamento dos poluentes de origem superficial + acções de redução da cara entrada no aquífero). No caso de estudo as medidas foram definidas para (Novo et al., 2012; Quadro 13):

- **Rede hidrográfica** – o objetivo das medidas é impedir a entrada da poluição nas ribeiras seja por via superficial ou subterrânea, pelo que se dividem em: (1) medidas para a agricultura, incluindo, dada a importância local deste tipo de cultura, medidas específicas para os arrozais, (2) medidas para a pecuária, (3) medidas para a poluição urbana, (4) medidas de carácter geral (medidas abrangentes, como a recuperação das zonas ribeirinhas e traçado natural das ribeiras, sistemas de aviso e planos de atuação em casos de acidente, códigos de boas práticas).
- **Aquífero** – o objetivo prioritário é o de evitar e/ou reduzir a entrada de poluentes no aquífero, dado que as descargas poluentes para o meio superficial vindas dos meios subterrâneos são muito importantes e em qualquer caso as medidas de despoluição de aquíferos são de custos elevados e nem sempre eficazes. As medidas definem-se igualmente em função do tipo de atividade associada a cada fonte poluente (agricultura, pecuária, doméstica) mas são distintas das definidas para as da rede hidrográfica. Dado que o grau de poluição será variável ao longo do aquífero, as medidas são definidas também para cada área, em função do seu estado de poluição e preferencialmente em função da contribuição de cada tipo de fonte poluente para esse estado. Assim considerou-se:

- **Áreas em bom estado até 2027** – aplicam-se medidas preventivas (ex.: Códigos de Boas Práticas). Estas devem aplicar-se igualmente a todo o aquífero, em conjunto com quaisquer outras medidas que sejam necessárias aplicar localmente.
- **Áreas actualmente em bom estado mas devendo sofrer degradação até 2027** – no caso de estudo correspondem às áreas na envolvente da lagoa de Melides, onde se projecta um aumento da população turística. As medidas são sobretudo de teor preventivo mas têm por objetivos mais exigentes de redução das cargas poluentes (e/ou consumos, em situações em que estes se tornem excessivos face às condicionantes locais), podendo já exigir a reestruturação de infraestruturas. Focam-se sobretudo nas fontes poluentes associadas às atividades económicas de maior expansão na área de intervenção.
- **Áreas actualmente com problemas** – além das medidas preventivas incluem um conjunto de medidas de intervenção activa (ex.: construção de sistemas de zonas húmidas para tratamento de descargas de campos de arroz), cujos objectivos, muito mais exigentes que os das medidas anteriores, têm de obedecer, no mínimo, aos critérios de redução apresentados no Quadro 10. Estas medidas devem considerar as condições de poluição e consumos atuais e as condições futuras definidas pelos cenários sócio-económicos e/ou outros cenários de mudança, sendo dimensionadas de modo a que mesmo com essas condicionantes, obedeçam aos valores-objectivo do Quadro 10.
- **Áreas de ligação hidráulica com o meio superficial** – no caso de estudo, estas são essencialmente zonas de descarga do aquífero no meio hídrico superficial. As medidas são direccionadas para aqueles casos em que os poluentes possam chegar à lagoa após 2027 devido ao funcionamento natural, do aquífero e, desta forma, quaisquer acções sobre as fontes só terão efeitos a médio prazo. Nestas situações, e admitindo que o poluente já se encontra em trânsito, o objectivo é conter o poluente, impedindo-o de alcançar o meio hídrico superficial.
- **Lagoa** – esta funciona com meio receptor final da poluição gerada em toda a bacia, pelo que os objectivos das medidas de intervenção, essencialmente activas, são: (1) impedir a entrada dos poluentes na lagoa, (2) remoção dos poluentes entrados e que permanecem em dissolução (ex.: definição de calendários de abertura da lagoa ao oceano, mais eficazes para a remoção dos poluentes), (3) limpeza de sedimentos (a aplicar só em casos excepcionais, dado o seu custo e a ocorrência de prováveis impactos adversos durante a sua implementação).

Além destas situações existem ainda duas outras que não têm relevância para o caso de estudo mas serão importantes noutras situações:

- (1) **Áreas cuja má qualidade química advenha de condicionalismos naturais** – neste caso as medidas a tomar são: alteração dos limiares de qualidade, gestão das extrações e condicionamento da construção de novas captações no caso de aquíferos por forma a reduzir o fluxo destas águas de pior qualidade para áreas menos afectadas, uso de novas fontes alternativas de abastecimento.
- (2) **Zonas costeiras e estuarinas, quando ocorre sobre-exploração do aquífero e se verificam ou podem vir a verificar condições de intrusão salina** – neste caso as medidas centram-se em: redução dos consumos, reutilização de águas em usos menos nobres, alteração da disposição das zonas de captação, uso de novas fontes de abastecimento e gestão integrada do diversificado conjunto de fontes de abastecimento, recarga artificial (nas zonas onde esta seja viável sem riscos acrescidos para o restante meio ambiente e populações). Na área de estudo de Melides as condicionantes de interface com o meio oceânico protegem parcialmente o aquífero dos processos de intrusão salina; por outro lado, os cenários sócio-económicos leva a admitir que as extrações futuras na zona costeira serão pouco significativas até ao horizonte temporal de 2027.



Quadro 13 – Tipos de medidas em função do tipo de poluentes, fonte de poluição e meio hídrico a sofrer intervenção

Meio hídrico	Tipo de medida /área de intervenção		Hidrocarbonetos	Pesticidas, metais pesados	Fertilizantes, coliformes
Lagoa	Medidas gerais		Doméstica, Agrícola	Agrícola	Doméstica, Agrícola, Pecuária
	Protecção na entrada da lagoa				
	Limpeza de sedimentos				
	Gestão das aberturas da lagoa				
Rede hidrográfica	Impedir a poluição (superficial) de entrar na rede hidrográfica		Doméstica, Agrícola	Agrícola	Doméstica, Agrícola, Pecuária
Aquífero	Preventivas	Áreas em estado bom	Doméstica, Agrícola	Agrícola	Doméstica, Agrícola, Pecuária
		Áreas deterioradas em 2027			
	Impedir a poluição (subterrânea) de entrar no aquífero	Conexão hidráulica aquífero/superfície	Doméstica, Agrícola	Agrícola	Doméstica, Agrícola, Pecuária
	Redução activa das cargas poluentes	Áreas c/valores acima dos limiares	Doméstica, Agrícola	Agrícola	Doméstica, Agrícola, Pecuária

#### 4. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta metodologia, dada a sua estrutura, pode ser aplicada a um vasto leque de situações, condicionantes naturais, ecossistemas, tipos de massas de água (águas superficiais e/ou aquíferos) com todos os tipos de inter-relação entre si. A sua aplicação necessita que se conheça a distribuição, tipo, espectro e cargas das fontes poluentes, o funcionamento hidrogeológico da área de estudo, e se possua e/ou desenvolva um modelo matemático integrador que simule adequadamente os funcionamentos dos meios hídricos superficiais e subterrâneos, com especial destaque para os fluxos, transportes de massa e ligações hidráulicas entre meios hídricos. No caso, sempre aconselhável, de considerar análises evolutivas em cenários de mudança é necessário possuir a informação relativa às projeções obtidas por esses cenários, das condicionantes que determinarão a evolução das cargas poluentes, consumos, recarga de aquíferos, transferências de água entre os meios superficiais e subterrâneos.

No caso de estudo de Melides, a aplicação desta metodologia permitiu concluir que: existe uma muito significativa influência no aquífero sobre o meio hídrico superficial, sobretudo em termos de poluição (cerca de 80% dos nitratos acumulados na lagoa ao longo de 1 ano), embora a sua contribuição em termos de volume para a lagoa seja também significativa (cerca de 26% do volume total da lagoa; Oliveira et al., 2012) correspondendo à quase totalidade da água infiltrada no aquífero na área ocupada pela bacia hidrográfica; a atividade económica com maior peso na carga poluente é a agricultura (54% de todos os nitratos que atingem a lagoa no espaço de apenas 1 ano); os arrozais são a fonte poluente agrícola mais importante a fonte agrícola mais significativa (34% dos nitratos e 53% dos fosfatos de origem agrícola; Novo et al., 2012; Novo et al., 2013d; Lobo Ferreira et al., 2013) sendo além disso que esta fonte poluente tem descargas nos meios hídricos superficiais e subterrâneos; a segunda fonte poluente mais importante é o conjunto de fossas do Parque de Campismo, produzindo cerca de 12% de nitratos gerados na área da bacia hidrográfica de Melides (Novo et al., 2012; Novo et al., 2013d); as cargas subterrâneas de tempos de percurso  $\leq 1$  ano perfazem 48% dos nitratos produzidos na bacia, as de tempos de percurso entre 1 e 15 anos cerca de 16%, as de tempos de percurso entre 15 e 30 anos a 12% e as cargas com tempos de percurso  $> 30$  anos correspondem a 24%, dominando a agricultura e a pecuária nas classes de tempos de percurso curtos e a agricultura, novamente, nas classes dos tempos longos/muito longos, ou seja, a agricultura tem dois espectros temporais de dominância (Novo et al., 2013d). A aplicação da metodologia permitiu ainda identificar as zonas de descarga do aquífero no meio hídrico superficial, a evolução dos consumos e das cargas poluentes para 2015 e 2027 e as eventuais alterações na distribuição das áreas poluídas, verificando-se que neste caso de estudo a distribuição destas áreas será sensivelmente semelhante à actual.

Com base nos resultados desta metodologia foi possível elaborar as seguintes recomendações: (1) as medidas de actuação prioritárias devem focar-se na redução dos fosfatos e nitratos nas fontes

poluentes associadas a tempos de percurso até 3 anos, (2) para as fontes poluentes com tempos de percurso entre 15 a 25 anos, será preferível actuar sobre as zonas de descarga, (3) para as fontes poluentes associadas a tempos de percurso superiores será viável apenas a aplicação de medidas de prevenção/códigos de boas práticas, (4) as medidas deverão focar-se prioritariamente sobre a actividade agrícola (em especial os arrozais, dado o seu peso poluente do meio superficial e subterrâneo) e sobre as fossas na proximidade imediata da lagoa com especial destaque para o núcleo do Parque de Campismo, (5) aplicar os código de boas práticas a toda a área da bacia, (6) dado o grande leque de medidas passíveis de aplicação, os decisores deverão recorrer a uma matriz de decisão (Novo et al., 2013e) para escolher as medidas mais viáveis. Como exemplos de medidas passíveis de aplicação à área de estudo apresentam-se a título de ilustração, e apenas para as reduções das cargas poluentes dos arrozais: uso de técnicas de regadio que incrementam a interface aeróbica/anaeróbica e atividade de bactérias desnitrificadoras, em associação com fornecimento de  $Fe^{2+}$  e outros metais (Rivett et al., 2008; Schrimali e Singh, 2001); Uso de técnicas alternativas de fertilização como a criação de patos ou peixes, com vista à redução das aplicações de fertilizantes (Furuno, 2001; Ulluwishewa, 1991).

### Bibliografia:

- 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.
- Diaz, J.A.R., Weatherhead, E.K., Knox, J.W., Camacho, E., (2007). *Climate Change Impacts on Irrigation Water Requirements in the Guadalquivir River Basin in Spain*. Regional Environmental Change, Vol. 7, pp. 149-159.
- Furuno, T. (2001). *The Power of Duck*. Editora Tagari. In: <http://www.leopold.iastate.edu/news/leopold-letter/2002/spring/duck-power-and-tale-success-six-acres-ecosystem> – acedido em Julho 2012.
- Lobo Ferreira, J.P., Novo, M.E., Oliveira, L. (2013). *Análise da Contribuição das Fontes Poluentes para a Carga Total de Nitratos e Fosfatos que Afluem à Lagoa de Melides por Transporte Subterrâneo*. Artigo apresentado ao 9º Seminário das Águas Subterrâneas, APRH; Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa, Campus da Caparica, 7 e 8 Março, 2013, 21 pp.
- Lourenço, N., Machado, C., Vilhena, J., Pires, A., Rodrigues, L., Norberto, S., Esteves, L. (2011). *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 nº2 – Analysis of Environmental and Socio-Economic Driving Forces*. Universidade Atlântica, Barcarena, Dezembro, pp. 103.
- Masike, S, Ulrich, P. (2009). *The Projected Cost of Climate Change to Livestock Water Supply and Implications in Kgatleng District, Botswana*. World Journal of Agricultural Sciences. Vol. 5, pp. 597-603.
- Monteiro, J. P., Chambel, A., Martins, J. (2008). *Conceptual and Numerical Flow Model of the Sines Aquifer System (Alentejo, South Portugal)*. International Groundwater Symposium. International Association of Hydraulic Engineering and Research (IAHR). Istanbul-Turkey. pp. 38.
- NEMUS, ECOSSISTEMA, AGRO.GES (2011). *Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas nas Regiões Hidrográficas 6 e 7. Região Hidrográfica 6. Relatório Técnico para Efeitos de Participação Pública*. Trabalho realizado para a ARH Alentejo, Lisboa, pp. 386.
- NEMUS, ECOSSISTEMA, AGRO.GES (2012). *Planos de Gestão das Bacias Hidrográficas Integradas nas Regiões Hidrográficas 6 e 7. Região Hidrográfica 6. Volume 1: Parte 2 – Caracterização e Diagnóstico, Tomo 7 – Estado das massas de água. Relatório Técnico pós Consulta Pública*. Trabalho realizado para a ARH Alentejo, Lisboa, pp. 338.
- Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Relatório Temático: Estratégias e Medidas de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia de Melides (Quantidade e Qualidade Química e Biológica)*. LNEC, Lisboa, Relatório DHA/NAS, pp. 258 (in press).
- Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2013a). *Metodologia para a definição das áreas prioritárias para aplicação de medidas com vista à recuperação do estado “Bom” do meio hídrico superficial e subterrâneo: o caso de estudo da bacia hidrográfica de Melides*. Artigo apresentado ao VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, 17 a 23 de Maio de 2013, Maputo, Moçambique, 18 pp.

- Novo, M.E., Oliveira, L., Leitão, T., Oliveira, M.M., Lobo Ferreira, J.P. (2013b). *Methodology for definition of measures aimed at recovering ground- and surface waters' Good status: Melides watershed case-study*. Conference of EWRA, 8th International Conference "Water Resources Management in an Interdisciplinary and Changing Context" Porto, Portugal, 26-29 Junho 2013, 14 pp.
- Novo, M.E., Oliveira, M.M., Oliveira, L., Martins, T. (2013c). *Impacto das Alterações Climáticas em Ecossistemas Costeiros Dependentes de Águas Subterrâneas. Caso de Estudo: Melides*. Artigo submetido à 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, 16 pp (**in press**).
- Novo, M.E., Oliveira, L. (2013d). *Avaliação das Cargas Poluentes e seu Impacto na Lagoa de Melides*. Artigo submetido à 10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente, 6 a 8 Novembro 2013, Aveiro, Universidade de Aveiro, 21 pp (**in press**).
- Novo, M.E., Oliveira, L., (2013e). *Matrizes de Decisão como Ferramenta de Apoio à Selecção de Medidas de Recuperação do estado das Massas de Água*. 15 pp (**in press**).
- Oliveira, L., Novo, M. E., Lobo Ferreira, J.P. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o enquadramento das medidas de mitigação em Melides*. LNEC, Lisboa, Relatório 182/2011-DHA/NAS, pp. 35.
- Oliveira, L., Martins, T., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M.M., Novo, M.E., Leitão, T. (2012b). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. 4º Relatório Temático – Contributos para o desenvolvimento de medidas para uma gestão sustentável dos recursos hídricos no Sul de Portugal*. LNEC, Lisboa, Relatório 153/2012-DHA/NAS, pp. 44.
- Rivett, M.O., Buss, S.R., Morgan, P., Smith, J.W.N., Bemment, C.D. (2008). *Nitrate Attenuation in Groundwater: A Review of Biogeochemical Controlling Processes*. Water Research, Vol. 42, pp. 4215-4423.
- 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, Vol. 114, pp. 57-68.
- Santos, F.D. e Miranda, P. (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*. Projecto SIAM II. Lisboa, Editora Gradiva, pp. 505.
- Schavion S., Emmans G. C. (2000). *A Model to Predict Water Intake of a Pig Growing in a Known Environment on a Known Diet*. The British Journal of Nutrition, Vol. 84, pp. 873–883.
- Shrimali, M., Singh, K.P. (2001). *New Methods of Nitrate Removal from Water*. Environmental Pollution, Vol. 112, Fasc. 3, pp. 351-359.423.
- Ulluwishewa, R. (1991). *Soil Fertility Management of Paddy Fields by Traditional Farmers in the Dry Zone of Sri Lanka*. Journal of Sustainable Agriculture, Volume 1, Fasc. 3, pages 95-106.
- Walid, A. (2009). *Assessment of Climate Changes on Water Resources in Kingdom of Saudi Arabia*. [http://portal.worldwaterforum5.org/wwf5/en-us/worldregions/MENA%20Arab%20region/Consultation%20Library/Climate%20Change%20\\_Saudi%20Arabia.doc](http://portal.worldwaterforum5.org/wwf5/en-us/worldregions/MENA%20Arab%20region/Consultation%20Library/Climate%20Change%20_Saudi%20Arabia.doc) – acedido em Maio 2012.