

## **Análise da contribuição das fontes poluentes para a carga total de nitratos e fosfatos que afluem à Lagoa de Melides por transporte subterrâneo**

**João Paulo Lobo Ferreira<sup>1</sup>, Maria Emília NOVO<sup>2</sup>, Luís OLIVEIRA<sup>3</sup>**

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

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

**Palavras-chave:** ecossistemas lagunares costeiros, pressões antrópicas, águas subterrâneas, águas superficiais, transferência de poluição subterrânea para corpos de água superficial.

**Tema:** Sub-tema 6 – Gestão de recursos hídricos e mudanças globais, incluindo mudanças climáticas, por uma melhoria do conhecimento sobre água

**Tipo de comunicação:** Oral

**Resumo:** Apresenta-se uma metodologia de análise da influência de fontes poluentes em ecossistemas lagunares costeiros parcialmente dependentes de águas subterrâneas (EDAS), tomando como caso de estudo a lagoa costeira de Melides (litoral alentejano, Portugal). Esta lagoa tem registado problemas de eutrofização e foi classificada em estado Mediocre devido ao elevado número de diatomáceas. Neste ecossistema costeiro os nutrientes chegam pela ribeira que desagua na lagoa e pelas descargas, bastante significativas, do aquífero superficial livre subjacente. A análise desenvolvida considera o transporte subterrâneo de poluentes desde a sua origem – diferentes fontes distribuídas irregularmente ao longo da bacia hidrográfica – até à ribeira e à lagoa de Melides, sendo objeto de análise os nitratos e fosfatos, causadores de eutrofização em massas de água com circulação limitada.

Sendo os nitratos um poluente conservativo e com mobilidade semelhante à da água, pôde fazer-se a análise do seu percurso desde a sua entrada no aquífero até às zonas de descarga no meio hídrico superficial por modelos numéricos de fluxo subterrâneo. Além de simular os fluxos no aquífero desde os pontos de injeção dos poluentes até às zonas de descarga na ribeira e na lagoa de Melides, o modelo numérico desenvolvido para a área de estudo permitiu identificar as origens dos poluentes que aí afluem e que são: agrícola, agropecuária e fossas sépticas.

Definido o funcionamento do aquífero e suas relações com o meio hídrico superficial através do modelo numérico, fez-se a análise do trajeto das partículas com o programa MODPATH em conjugação com o MODFLOW. Esta análise forneceu o tempo de percurso médio de uma partícula poluente desde cada fonte poluidora até à lagoa de Melides, a localização das zonas de descarga do poluente na ribeira e/ou lagoa para cada fonte poluente associada, a percentagem de poluente entrado em cada fonte que é transferido para a ribeira e/ou lagoa em cada local de descarga, admitindo que não ocorre degradação. De seguida, e com vista a avaliar o impacto da carga poluente das várias fontes poluidoras, calcularam-se os valores médios de carga poluente (nitratos e fosfatos) por fonte poluidora, considerando (1) todas as fontes de poluição existentes e (2) as associadas a tempos de percurso iguais ou menores de 1 ano. Calculou-se ainda o peso percentual de cada fonte poluente para a carga poluente total – considerando os mesmos dois grupos de fontes poluentes – e o peso percentual para esta mesma carga por tipo de atividade económica. Esta informação é importante para definir quais as fontes poluentes com impacto mais imediato no estado da lagoa e as que têm efeito diferido. Os locais de entrada dos poluentes no meio superficial são importantes para definir eventuais áreas de contenção da poluição; o conhecimento da carga poluente por atividade económica é necessário para definir tendências de evolução em cenários de mudança (ex.: sócio-económicos).

## 1. INTRODUÇÃO

A lagoa de Melides é um ecossistema costeiro que nos últimos tempos tem sido profundamente afetado pela atividade humana, tendo-se registado vários eventos de eutrofização, por vezes com significativas mortandades de peixes. Esta lagoa tem significativa importância não apenas em termos ecológicos dado ser uma zona húmida litoral, como para as populações locais que usam a lagoa como zona de pesca e também como fonte de abastecimento (em conjunto com as águas da ribeira de Melides) para a irrigação dos campos no seu perímetro imediato. A lagoa é ainda um significativo ponto turístico, importante para o tecido sócio-económico local, e a sua degradação põe em risco a sustentabilidade desta fonte de receitas para a comunidade. Deste modo é necessário analisar e compreender as dimensões ambientais, sócio-económicas e institucionais da sustentabilidade da água para garantir a sua qualidade e aumentar a eficiência e equidade do seu uso, através de uma abordagem integrada da gestão dos recursos hídricos, definir estratégias locais inovadoras para a gestão sustentável deste recurso e definir um conjunto de orientações de boas práticas para a conservação da sua qualidade e quantidade, objetivos que orientam o projeto PROWATERMAN, no âmbito do qual este trabalho foi realizado.

## 2. CARATERIZAÇÃO DO CASO DE ESTUDO

O caso de estudo é a bacia hidrográfica da ribeira de Melides (Fig. 1) que se situa na freguesia de Melides, concelho de Grândola, no litoral alentejano. Em termos de enquadramento hidrológico situa-se na sub-região hidrográfica das bacias da Costa Alentejana (na planície costeira – onde se destacam os sistemas praia-duna, as arribas, as lagoas costeiras de Melides, Sancha e Santo André e a restinga de Troia – estendendo-se até ao rebordo ocidental da Serra de Grândola) e no sistema aquífero de Sines.

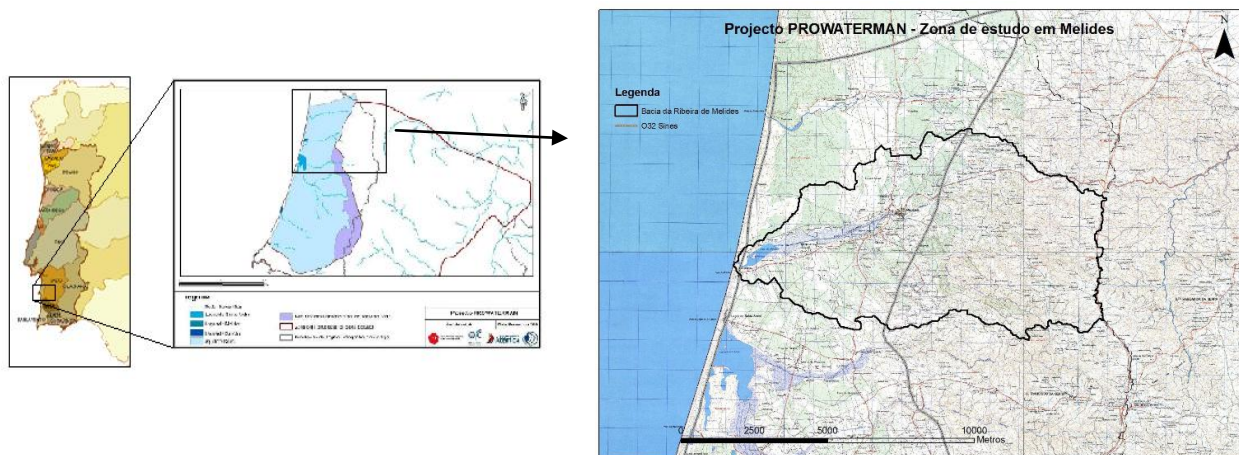


Fig. 1 – Localização da área de estudo

O sistema aquífero de Sines localiza-se numa bacia sedimentar mesocenozóica – a bacia sedimentar de Santo André – delimitada a Este pelas das formações do Carbónico, a Sul pelo maciço eruptivo de Sines (Diamantino, 2001) e a Norte pela falha de Grândola (Monteiro et al., 2008). A sua espessura aumenta dos bordos para o centro, onde atinge algumas centenas de metros (Diamantino, 2001 e Esteves Costa, 1989). O sistema aquífero está desenvolvido em formações carbonatadas jurássicas e formações detríticas do Miocénico e Pliocénico, estando delimitado na sua base pelas formações de xistos e grauvaques carbónicos, formações triásicas e hetangianas e unidades vulcano-sedimentares do Jurássico Inferior – com grande continuidade espacial entre Santiago do Cacém, Melides e Ribeira da Cascalheira (Manuppella, 1983) – e no topo pelas formações pouco produtivas do Plistocénico e Quaternário; a SW esta bacia é limitada pelo maciço subvulcânico de Sines (Novo, 2010).

Em termos hidrogeológicos o sistema aquífero de Sines é um sistema multicamada, constituído por dois reservatórios principais que apresentam pouca conexão entre si:

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

2. Um aquífero superior, multicamada, poroso, livre a confinado, desenvolvido nas formações do Miocénico marinho e do Plio-Plistocénico.

A Ribeira de Melides nasce na serra de Grândola e apresenta um regime torrencial – com caudais abundantes no Inverno e muito reduzidos no Verão, fazendo a sua foz na Lagoa de Melides. Esta é uma lagoa costeira, sendo, do conjunto de lagoas da sub-região em foco, a que se situa mais a norte. Apresenta uma área inundada de 0,5 km<sup>2</sup> e um volume máximo (antes da abertura para o mar) aproximado de 1,5 hm<sup>3</sup> (Oliveira et al., 2012). Nos últimos anos a lagoa de Melides tem tido problemas de eutrofização e nos atuais Planos de Gestão das Regiões Hidrográficas a bacia hidrográfica da ribeira de Melides foi considerada em estado medíocre, devido ao excessivo número de diatomáceas, seres unicelulares associados aos problemas de eutrofização.

### 3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

A metodologia desenvolvida para a análise da influência e impacto das fontes poluentes em ecossistemas lagunares dependentes ou parcialmente dependentes de águas subterrâneas tem os seguintes passos:

1. Identificação e caracterização das fontes poluentes na bacia(s) hidrográfica(s) que drenam para o corpo lagunar, com definição da sua localização, tipo (pontual/difusa), origem (pecuária, agrícola, urbana, etc.), espectro, carga poluente e importância relativa de cada fonte poluente para a carga poluente total gerada e que atinge a(s) massa(s) de águas superficiais. No caso de estudo, sendo que o problema a analisar era a eutrofização da lagoa de Melides foram considerados os nitratos e fosfatos.
2. Elaboração do modelo conceptual de funcionamento do aquífero incluindo as suas relações com as massas de água superficiais.
3. Elaboração, calibração e validação do modelo matemático de fluxo.
4. Elaboração, calibração e validação, quando necessário, do modelo de transporte de massa.
5. Análise dos percursos das partículas desde as fontes poluentes até às zonas de descarga para o meio hídrico superficial e respetivos tempos de percurso.
6. Identificação e localização das zonas de descarga.
7. Classificação das fontes poluentes em termos de tempos de percurso associado.
8. Definição das cargas poluentes de cada fonte e avaliação da percentagem dessa carga que atinge as zonas de descarga, por fonte poluente.
9. Definição das fontes e respetivas cargas poluentes associadas a tempos de percurso muito alargados, significando deste modo que a sua influência poderá ser sentida a muito longo prazo.
10. Identificação das fontes mais importantes para o estado da massa de águas superficiais e das fontes que possam exigir intervenção prioritária com base nos respetivos tempos de percurso e importância da carga poluente associada face à carga poluente total que chega à(s) massa(s) de águas superficiais.

Complementarmente, deverá realizar-se o cálculo das cargas poluentes por atividade económica e definir a importância relativa da contribuição poluente de cada atividade económica na carga poluente total que atinge a(s) massa(s) de águas.

#### 4. MODELO CONCEPTUAL

Havendo uma significativa interação entre o aquífero livre, desenvolvido nas unidades detríticas terciárias e quaternárias, e as Lagoa e Ribeira de Melides, é importante compreender como os fluxos de água subterrânea podem influenciar a qualidade das águas superficiais e em consequência o estado ecológico da ribeira e lagoa. Sendo a Lagoa de Melides um ecossistema que pode ser considerado parcialmente dependente ao nível ecológico e de balanço hídrico das águas subterrâneas, o modelo conceptual e a posterior modelação matemática terá de refletir esta realidade. Deste modo, e sendo conhecidas as principais fontes poluentes de origem superficial – arrozais, eventuais escorrências de campos agrícolas e pecuárias, ocasionalmente descargas da ETAR de Melides – pretendeu-se compreender o impacto do meio hídrico subterrâneo sobre o estado da ribeira e lagoa de Melides, o que foi alcançado através do modelo de fluxo subterrâneo que seguidamente se apresenta, dado que alguns dos poluentes associados aos problemas de eutrofização são conservativos (ex.: nitratos). Assim considerou-se que o nível aquífero mais superficial está em ligação hidráulica com a ribeira e lagoa, podendo realizar descargas para a ribeira de Melides e seus afluentes.

Considerou-se também que ao longo do ano é possível discernir dois períodos com funcionamentos algo distintos no que concerne às relações águas superficiais-águas subterrâneas:

- O período de não irrigação – que corresponde ao intervalo entre Outubro a fins de Março, ou seja o período chamado de “Inverno”, no qual a recarga do aquífero se deve quase que exclusivamente à infiltração da precipitação.
- O período de irrigação – que corresponde ao período Abril a Setembro, ou seja o período chamado de “Verão”, em que, a adicionar à recarga por infiltração da precipitação ocorrente nesse período, se dá uma recarga por infiltração “artificial” proveniente dos excedentes de rega.

Dado o tipo de litologias situados na parte Este da bacia, e que corresponde à sua zona de cabeceira, e ao bordo ocidental da Serra de Grândola, admitiu-se que a bordadura dos terrenos sedimentares é pouco permeável, recebendo apenas descargas provenientes da Fonte dos Olhos, e o caudal da ribeira de Melides e seus afluentes, vindo de montante do contacto com os terrenos sedimentares; a leste desta bordadura admite-se que não existe praticamente circulação subterrânea, sendo a zona dominada pelo escoamento superficial direto; na zona dos depósitos sedimentares, pelo contrário o que domina é a recarga em detrimento do escoamento superficial que se concentra na ribeira de Melides. A bordadura ocidental é definida pelo nível do mar, ao passo que as bordaduras N e S correspondem a leitos de ribeiras das bacias hidrográficas vizinhas e admitem a passagem de fluxo para fora do aquífero.

Para simular os períodos de irrigação e não-irrigação construíram-se dois modelos matemáticos em estado estacionário, cada um deles com as condições de recarga específicas para os respetivos períodos (Oliveira et al., 2012).

Sendo o sistema aquífero composto por dois aquíferos semi-independentes (o aquífero superior, multicamada, desenvolvido em formações detríticas e o aquífero inferior desenvolvido em formações carbonatadas), e as relações de conexão hidráulica são estabelecidas entre o aquífero livre (mais superficial) do aquífero multicamada, considerou-se um modelo de duas camadas, em a base da 1ª camada coincidente com a base do nível aquífero mais superficial e a base da 2ª camada se situa a profundidade variável que abrange os restantes níveis aquíferos terciários e a zona superior das formações carbonatadas.

#### 5. MODELO MATEMÁTICO E SEUS RESULTADOS

Dado que o que se pretende compreender é a forma como a lagoa é afetada tanto pelos fluxos e cargas poluentes que provêm do meio subterrâneo, sem descurar os aportes superficiais, a transposição do modelo conceptual para um modelo matemático, desenvolvido com o programa MODFLOW (desenvolvido por McDonald e

Harbaugh em 1983, com posteriores atualizações, tendo-se utilizado no presente trabalho a versão 2010.1), considerou a seguinte geometria e tipos de fronteiras do modelo (Oliveira et al., 2012):

- Área do modelo matemático – zona dos depósitos sedimentares da bacia hidrográfica de Melides, o que corresponde à sua zona central e vestibular.
- Topo do modelo – fornecido pelo modelo digital de terreno, correspondendo à superfície topográfica (Fig. 2)
- Fronteira Este – corresponde à zona de contacto entre os terrenos sedimentares e os terrenos xistentos e grauvacóides muito pouco permeáveis da Serra de Grândola. É uma fronteira de fluxo constante, onde se admite a entrada de fluxo de fora do modelo, com vista a simular o caudal das ribeiras provenientes da Serra de Grândola e as descargas da Fonte dos Olhos. Este fluxo, inicialmente calculado pela lei de Darcy e posteriormente ajustado na fase de calibração do modelo, considerou um gradiente hidráulico na fronteira de 0,0047 e uma condutividade hidráulica média de 2 m/dia, o que corresponde a aproximadamente, para uma espessura de 150 m a uma entrada na ordem dos 1,4 m<sup>3</sup>/dia.
- Fronteira Oeste – corresponde à linha de costa e é considerada a potencial constante e igual a zero, representando o nível médio do mar.
- Fronteiras Norte e Sul – correspondem ao traçado das ribeiras das bacias hidrográficas adjacentes, respetivamente Fontainhas (a Norte) e Ponte (a Sul), permitindo a passagem de fluxo lateral de e para fora do aquífero, estando portanto definidas como sendo de potencial variável.
- Número de camadas – o modelo foi desenvolvido com duas camadas assim definidas:
  - Camada superior – corresponde à unidade aquífera em conexão hidráulica com as águas superficiais e a que irá influenciar a qualidade da lagoa. O seu topo corresponde à superfície do terreno e a sua base situa-se a 10 m de profundidade, o que permite representar as litologias mais superficiais da região – ex.: aluviões – onde o aquífero se encontra.
  - Camada inferior – corresponde às unidades aquíferas subjacentes das formações detríticas e do topo das formações carbonatadas, sendo a sua base situada aos 150 m de profundidade.

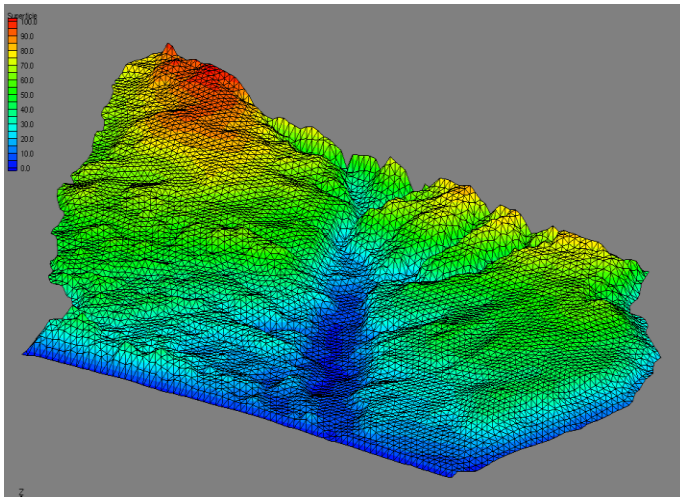


Fig. 2 – Modelo digital de terreno (sobr. 10 x)

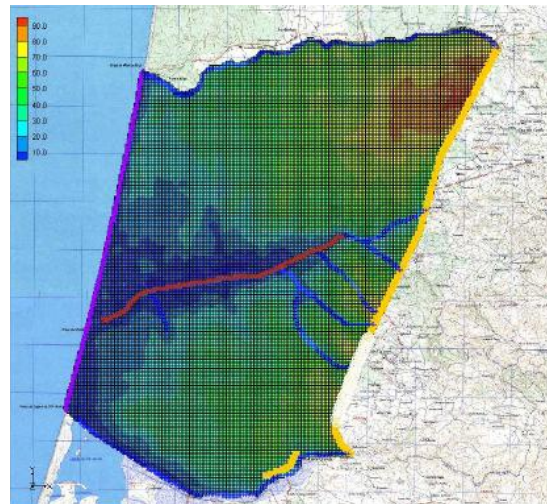


Fig. 3 – Malha do modelo

Deste modo obteve-se um modelo com 544 km<sup>2</sup> de área, dividida em quadrículas de 50 m de lado (Fig. 3). De entre os parâmetros considerados no modelo destacam-se (Oliveira et al., 2012):

- Condutividade hidráulica – definiu-se com base nos valores apresentados em ábacos para as formações geológicas e em dados laboratoriais (Henriques e Martins, 2012), calibrados posteriormente com a piezometria observada:
  - Condutividade hidráulica horizontal da 1ª camada – variável em função das litologias aflorantes em cada célula do modelo (Fig. 4):
    - Aluviões – 100 m/dia.
    - Plio-Plistocénico – 5 m/dia.
    - Miocénico da zona da vila de Melides – 40 m/dia.
  - Condutividade hidráulica horizontal da 2ª camada – como esta unidade basicamente corresponde às formações terciárias (dominantemente miocénicas), admitiu-se um valor de 2 m/dia.
  - Condutividade hidráulica vertical – valores 10 vezes inferiores à da condutividade hidráulica horizontal.
- Recarga natural – os valores foram determinados pelo modelo BALSEQ (Oliveira et al., 2011), estando compreendidos entre 11 e 18 mm/semestre (para o modelo de verão) e 114 a 182 mm/semestre e os 182 mm/semestre (para o modelo de inverno).
- Recarga artificial – corresponde aos excedentes das regas sendo distinta para o modelo de Inverno e para o modelo de Verão:
  - Modelo de Inverno – nula.
  - Modelo de Verão – foi calculada em função de cada cultura, atribuindo-se a cada célula do modelo o valor respetivo da cultura que, pelo Corine Landcover, corresponde a essa célula do modelo (Fig. 5):
    - Culturas temporárias – 84,2 mm/ano.
    - Vinhas – 19,0 mm/ano.
    - Pomares – 106,3 mm/ano.
    - Vinhas + Pomar – 51,9 mm/ano.
    - Sistemas culturais mistos – 75,4 mm/ano.
    - Arrozaís – 16 000 m<sup>3</sup>/ano.

A simulação da ribeira de Melides e seus afluentes foi realizada com a ferramenta “Dreno” do MODFLOW e obedeceu às seguintes condições:

- Topo – cota do terreno na envolvente imediata do ponto da ribeira (célula) que se pretende definir.
- Base – meio metro abaixo da cota do topo.
- Condutância hidráulica – variável ao longo da rede hidrográfica em função do grau de conexão hidráulica com o aquífero:
  - Zona dos arrozaís – região onde a conexão entre a ribeira e os aluviões é significativa, foi atribuído um valor de (10 m<sup>2</sup>/dia)/m.
  - Na restante extensão da rede hidrográfica de Melides – a conexão entre as ribeiras e o aquífero é menos significativa, tendo-se atribuído um valor de 0,01 (10 m<sup>2</sup>/dia)/m.

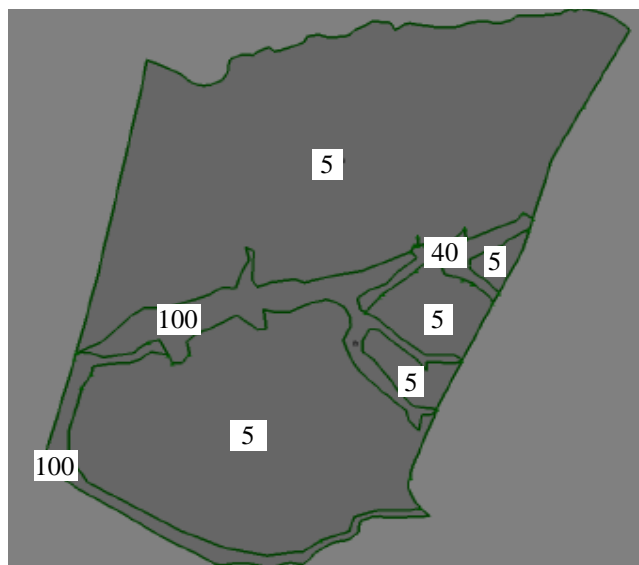


Fig. 4 – Zonamento da condutividade hidráulica

Fonte: Oliveira e Novo (2012)

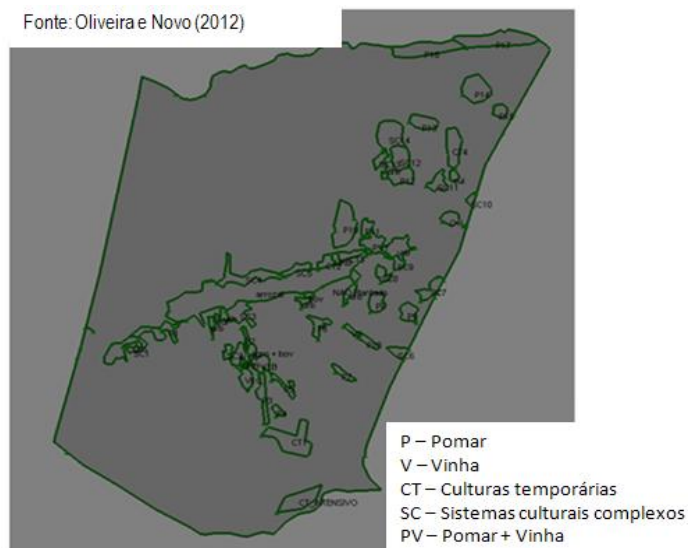


Fig. 5 – Distribuição das áreas de recarga por excedentes de rega

Após calibração e feita a corrida do modelo de verão, o mapa piezométrico (cf. Fig. 6) – que mostra também a diferença entre os valores observados (Fig. 7) e os valores modelados (verde = boa aproximação, amarelo = média aproximação) – mostra que o fluxo se dá:

- De Este para Oeste, no sentido do mar.
- Do exterior para o interior do modelo, no sentido da ribeira de Melides, sugerindo uma elevada relação entre a água subterrânea e a água superficial na ribeira de Melides e Lagoa, o que sublinha a importância das contribuições subterrâneas da poluição para o estado da Lagoa.

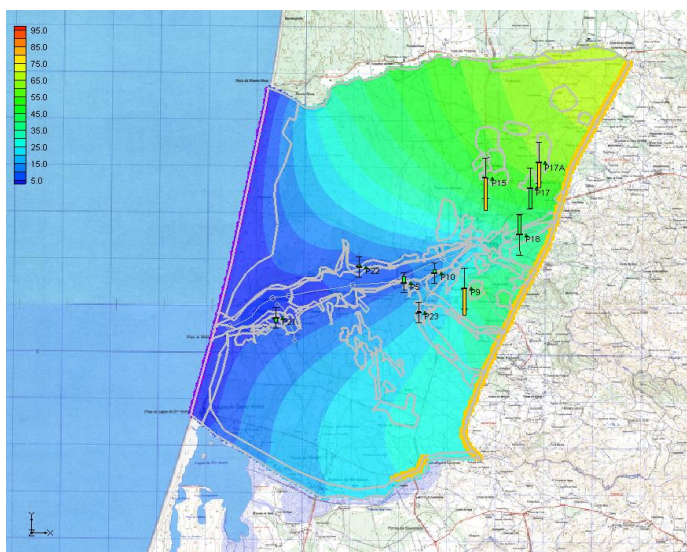


Fig. 6 – Piezometria após calibração do modelo matemático

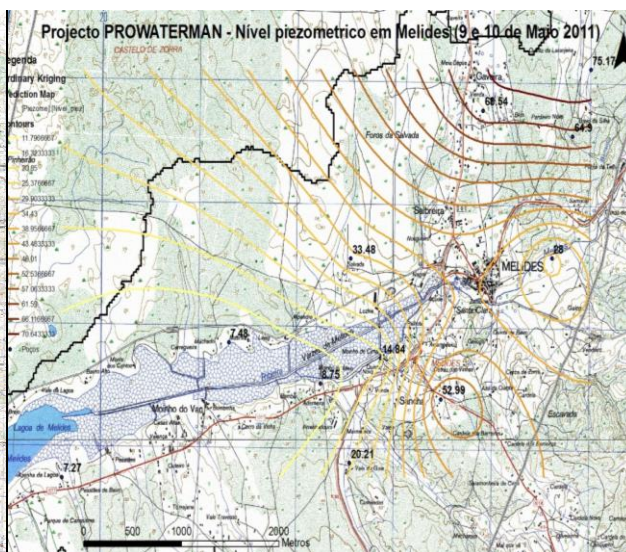


Fig. 7 – Piezometria observada (Oliveira et al., 2011)

## 6. ANÁLISE DO TEMPO DE PERCURSO DO POLUENTE

No que concerne à poluição do meio subterrâneo, as principais fontes poluentes são (1) os campos agrícolas, (2) unidades agropecuárias e (3) os pequenos aglomerados populacionais não ligados à rede residual (fossas). Algumas destas fontes podem também atuar diretamente sobre o meio superficial, por efeito de escorrências, como é o caso dos campos agrícolas e as unidades agropecuárias na vizinhança das linhas de água. Quer por via superficial, quer por via subterrânea estas fontes poluidoras contribuem para os problemas do meio hídrico superficial, tais como a eutrofização. Por esta razão é necessário conhecer o percurso da poluição desde as diversas fontes poluentes até às zonas de descarga no meio hídrico superficial (Fig. 8) e o tempo que estas demoram a alcançar a superfície, o que se determinou utilizando o programa MODPATH. Esta análise foi efetuada tanto para a situação de Inverno como para a de Verão, para cada uma das áreas agrícolas (Fig. 5), unidades agropecuárias e fossas sépticas (Fig. 9). A exceção a esta regra foram os arrozais, aos quais se aplicou apenas a situação de Verão devido ao calendário agrícola específico desta cultura na área de estudo.

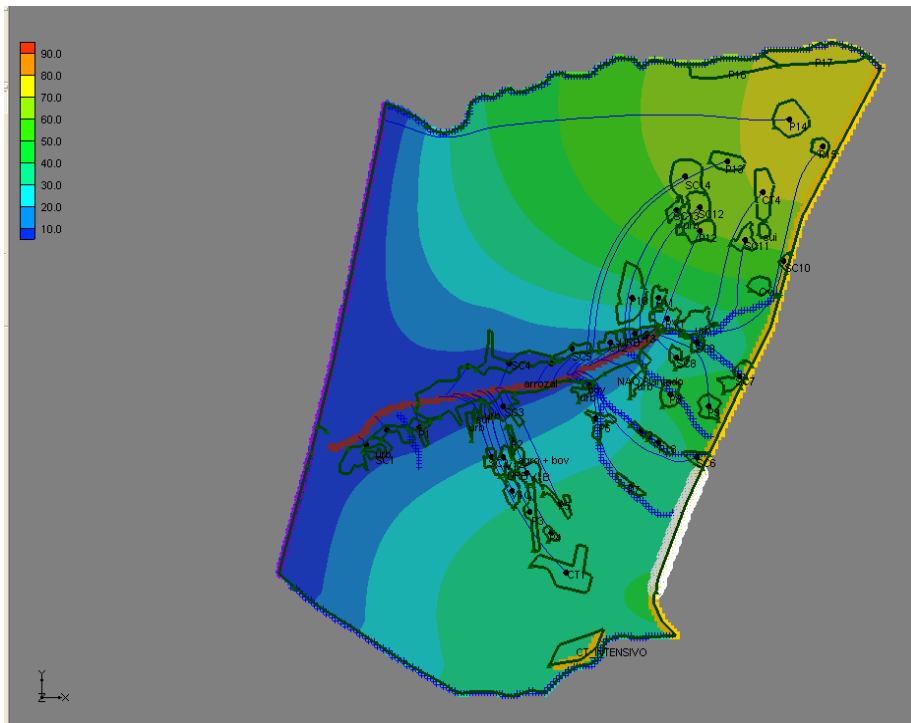


Fig. 8 – Percursos das partículas poluentes da fonte à zona de descarga no meio hídrico superficial

Na generalidade dos casos das fontes poluentes agrícolas admitiu-se como ponto significativo de entrada de poluente no meio subterrâneo um ponto sito no centro da parcela agrícola (Fig. 8). A exceção são mais uma vez os arrozais, em que se considerou como ponto de entrada o ponto mais afastado das linhas de água, dado que é importante conhecer os tempos máximos de percurso para estas áreas de forte contribuição poluente, e na envolvente imediata do meio hídrico superficial, com vista a identificar o tempo máximo que estes permanecem no meio. Quando as áreas agrícolas eram suficientemente extensas, dividiram-se em subáreas de dimensão aproximadamente homogénea, sendo os tempos de percurso apresentados por sub-parcela. Contudo, para efeitos de previsão dos impactos de alterações nas culturas, cargas poluentes e/ou medidas de mitigação será aconselhável considerar o tempo ponderado de percurso; esta ponderação faz-se tendo em conta a área efetiva de cada sub-parcela. No Quadro 1 apresentam-se os valores dos tempos de percurso para cada uma das parcelas (e sub-parcelas).



No caso das unidades agropecuárias considerou-se como ponto de entrada o local onde a instalação se encontra, dado serem instalações de pequena dimensão e como tal poderem ser assumidas como pontuais. No Quadro 1 são apresentados os tempos de percurso por unidade pecuária.

No caso das fossas sépticas e dado que na realidade por agregado populacional existe um conjunto de fossas, consideraram-se dois valores: um máximo correspondente ao local de cada agregado mais afastado do meio hídrico superficial, e um mínimo correspondente ao local mais próximo desse mesmo meio hídrico. No Quadro 1 apresentam-se os valores para as condições de valor mínimo para as fontes urbanas (Novo et al., 2012).

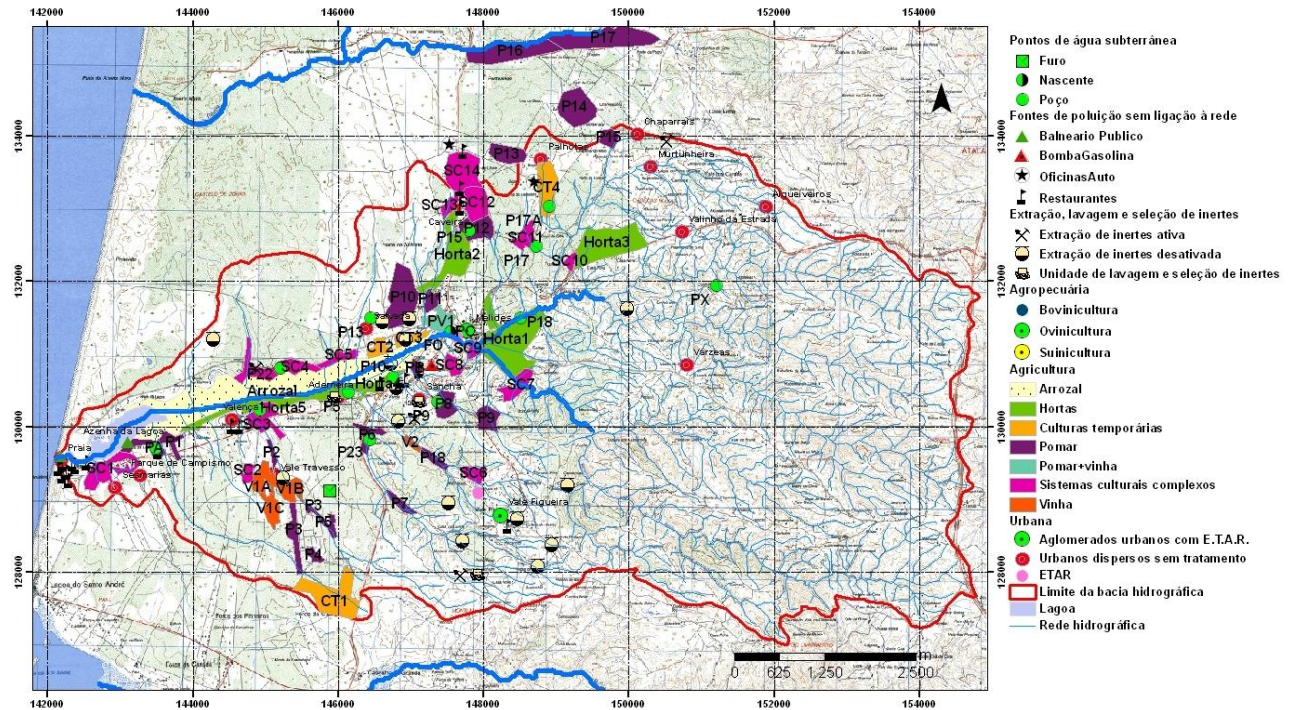


Fig. 9 – Distribuição das fontes poluentes

Estes valores dão uma indicação do tempo que uma medida de mitigação levará a dar resultados sobre o meio superficial. Assim, qualquer medida mitigadora aplicada nos arrozais ou na parcela SC1 demorará menos de um ano a ter impacto sobre a ribeira e Lagoa; no caso da parcela V1 o impacto será notado somente 34 anos após a entrada do poluente no aquífero. No caso da Bovinocultura BOV2 demorará 12 anos.

Fazendo a contagem das partículas que, saídas de cada fonte poluente, atingem quer os pontos de monitorização, quer a ribeira e lagoa, tem-se a percentagem da carga poluente total gerada que transita por esses locais (Quadro 2; cf. Novo et al., 2012). Os resultados sugerem que a contaminação subterrânea em dados locais (ex.: ponto P5) pode dever-se a diferentes fontes poluentes e as cargas poluentes entradas no sistema serão bastante superiores às detetadas nos pontos de monitorização.

Quadro 1 – Tempos de percurso desde a fonte poluente até ao meio hídrico superficial

Fonte poluente		Tempo de percurso		Fonte poluente		Tempo de percurso		
Agrícola	Arrozais	A	334 dias	Agrícola	Sistemas culturais mistos	SC1	A	164 dias
		B	228 dias			B	1 ano	
		C	28 dias			SC2	26 anos	
	Vinhais	V1	A			22 anos	SC3	255 dias
			B			26 anos	SC4	2 anos
			C			60 anos	SC5	2 anos
	Pomares	V2	9 anos			SC6	88 anos	
		P1	1 ano			SC7	3 anos	
		P2	6 anos			SC8	16 anos	
		P3	77 anos			SC9	307 dias	
		P4	105 anos			SC10	39 anos	
		P5	73 anos			SC11	100 anos	
		P6	8 anos			SC12	79 anos	
P7		13 anos	SC13			71 anos		
P8		27 anos	SC14	99 anos				
P9		77 anos	Pecuária	SUI1	4 anos			
P10	10 anos	SUI2		22 anos				
P11	7 anos	BOV1		37 dias				
P12	37 anos	BOV2		12 anos				
P13	156 anos	OVI	1 ano					
Agrícola	Pomares	P14	Não vai para a Lagoa	Urbana (fossas)	Moinho	2 anos		
		P15	218 anos		Valença	3 anos		
		P16	Não vai para a Lagoa		Aderneira	281 dias		
		P17	Não vai para a Lagoa		Sancha	4 anos		
		P18	11 anos		Caveira	36 anos		
	Pomar + vinha PV	1 ano	Azenha		2 anos			
	Hortas	CT1	209 anos		Vale Travesso	25 anos		
		CT2	1 ano		Salvada	293 dias		
		CT3	300 dias		Sesmarias	113 dias		
		CT4	134 anos		Praia	Vai para o litoral		
			Parque Campismo	138 dias				

Quadro 2 – Percentagem de poluição entrada por fonte poluente que transita pelos pontos de monitorização e meio hídrico superficial

Fonte poluente	Percentagem de poluição que alcança:		Fonte poluente	Percentagem de poluição que alcança:				
	Pontos de monitorização subterrânea	Ribeira		Pontos de monitorização subterrânea	Ribeira			
Pomares	P10	Não intersecta nenhum ponto	100%	Sistemas culturais mistos	SC8	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P11	Não intersecta nenhum ponto	100%		SC9	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P1	Não intersecta nenhum ponto	100%		SC10	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P2	Não intersecta nenhum ponto	100%		SC11	P17 = 20% (35,6 kgN/ano; 16,0 kgP/ano) P18 = 13% (23,2 kgN/ano; 10,4 kgP/ano)	100%	
	P3	Não intersecta nenhum ponto	100%		SC12	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P4	Não intersecta nenhum ponto	100%		SC13	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P5	Não intersecta nenhum ponto	100%		SC14	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P6	P5 = 20% (23,2 kgN/ano; 10,4 kgP/ano)	100%	Culturas temporárias	CT1	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P7	P23 = 5% (3,8 kgN/ano; 1,7 kgP/ano) P5 = 35% (26,3 kgN/ano; 11,9 kgP/ano)	100%		CT2	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P8	P9 = 7% (10,5 kgN/ano; 4,7 kgP/ano) P10 = 7% (10,5 kgN/ano; 4,7 kgP/ano)	100%		CT3	Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P9	Não intersecta nenhum ponto	100%		CT4	P15 = 3% (24,1 kgN/ano; 10,8 kgP/ano) P17A = 10% (80,2 kgN/ano; 36,1 kgP/ano) P17 = 8% (64,2 kgN/ano; 28,9 kgP/ano) P18 = 35% (280,7 kgN/ano; 126,4 kgP/ano)	100%	
	P12	P15 = 17% (33,5 kgN/ano; 15,0 kgP/ano)	100%		Agropecuária	SUI1	Não intersecta nenhum ponto	100%
	P13	Não intersecta nenhum ponto	100%			SUI2	P17 = 20% (43,2 kgN/ano; 20,2 kgP/ano)	100%
	P14	Não intersecta nenhum ponto	12%	BOV1		P5 = 20% (135,4 kgN/ano; 61,4 kgP/ano)	100%	
	P15	P18 = 10% (8,6 kgN/ano; 3,9 kgP/ano)	100%	BOV2		Não intersecta nenhum ponto	100%	
	P18	Não intersecta nenhum ponto	100%	OVI		Não intersecta nenhum ponto	100%	
	Vinha	V1A	Não intersecta nenhum ponto	100%	Urbana	Azenha L.	P21 = 30% (5,6 kgN/ano; 1,5 kgP/ano)	Lagoa: 30% Ribeira 70%
		V1B	Não intersecta nenhum ponto	100%		Valença	Não intersecta nenhum ponto	100%
V1C		Não intersecta nenhum ponto	100%	Vale T.		Não intersecta nenhum ponto	100%	
V2		Não intersecta nenhum ponto	100%	Moinho V.		Não intersecta nenhum ponto	100%	
Pomar+Vinha	PV1	Não intersecta nenhum ponto	100%	Aderneira		P5 = 40% (9,8 kgN/ano; 2,4 kgP/ano)	100%	
Sistemas culturais mistos	SC1	Não intersecta nenhum ponto	Lagoa: 78%	Sancha		P10 = 27% (9,5 kgN/ano; 2,4 kgP/ano)	100%	
	SC2	Não intersecta nenhum ponto	100%	Salvada		Não intersecta nenhum ponto	100%	
	SC3	Não intersecta nenhum ponto	100%	Caveira		Não intersecta nenhum ponto	100%	
	SC4	P22 = 6% (26,1 kgN/ano; 11,7 kgP/ano)	100%	Sesmarias		Não intersecta nenhum ponto	Lagoa: 90%	
	SC5	Não intersecta nenhum ponto	100%	Parque Campismo		Não intersecta nenhum ponto	Lagoa: 100%	
	SC6	P23 = 15% (17,7 kgN/ano; 6,5 kgP/ano) P5 = 10% (11,8 kgN/ano; 4,3 kgP/ano)	100%					
	SC7	Não intersecta nenhum ponto	100%					

A simulação com o MODPATH e a contagem de partículas permitiu obter os pontos em que o poluente originário de cada fonte descarrega ao longo da ribeira e a percentagem do total fornecido pela fonte poluente que descarrega em cada local. No Quadro 3 apresenta-se esta análise para algumas das fontes poluentes (Novo et al., 2012).

Na Fig. 10 apresenta-se a malha do modelo, as células representativas da ribeira e a indicação de alguns dos pontos de descarga.

Quadro 3 – Pontos de descarga de poluentes de origem subterrânea e percentagens da carga total por fonte poluente

Fontes poluentes		Pontos no aquífero onde o poluente foi detetado	Pontos de descarga na ribeira e respetivas 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: transita 3%; P17A: transita 10%; P17: transita 8%; P18: transita 35% da carga	73709 10%	72604 83%	72383 5%	72402 3%									
Pecuária	SUI1	--	77219 80%	76997 20%											
	SUI2	P17: transita 20% da carga	72384 100%												
	BOV1	P5: transita 20% da carga	75918 20%	75696 80%											
Pecuária	BOV2	--	76783 20%	76784 20%	76785 20%	76786 40%									
	OVI	--	72384 100%												
Urbanas	Azenha Lagoa	--	Lagoa 100%												
	Valença	--	77216 40%	77217 60%											
	Vale Travesso	--	76999 20%	77001 20%	77002 40%	77003 20%									
	Moinho do Vau	--	76781 20%	76564 80%											
	Aderneira	P5: transita 40% da carga	76139 20%	75917 10%	75918 50%	75919 20%									
	Sancha	P10: transita 27% da carga	74813 7%	74814 20%	74815 27%	74594 20%	74372 27%								
	Salvada	--	75475 20%	75476 10%	75254 20%	74373 50%									
	Caveira	--	75035 20%	74150 4%	73930 8%	73709 4%	73710 12%	73489 16%	73268 8%	73269 8%	73047 16%	73048 4%			
	Sesmaria	--	Lagoa 100%												
	Parque Campism	--	Lagoa 100%												

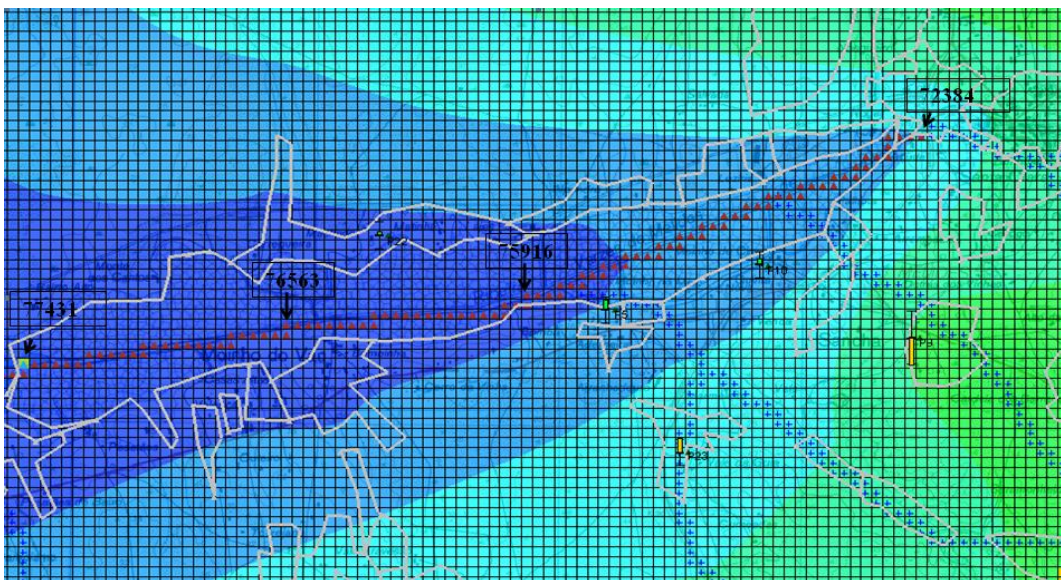


Fig. 10 – Malha do modelo e indicação da localização de algumas das células onde poluente afluí à ribeira

## 7. ANÁLISE DA CARGA DE POLUENTE PRODUZIDA POR FONTE POLUIDORA

Definidos, por fonte poluente, os tempos que os poluentes demoram a atingir o meio hídrico superficial desde o instante em que entram no solo, será necessário também saber quais as fontes poluentes que mais contribuem para a poluição que atinge a ribeira e Lagoa, com vista a definir onde se situam os principais problemas. Deste modo é necessário que primeiro se defina a carga poluente por fonte e posteriormente a percentagem que cada carga por fonte poluente constitui na carga total que atinge o meio hídrico superficial. A metodologia usada foi a seguinte:

- Agricultura – considerou-se o tipo de cultura, quantidades habituais de adubo aplicadas por cultura pelo agricultor (Soveral Dias, 1999; Agostinho e Pimentel, 2005), necessidades das plantas (valores tabelados por cultura), perdas por volatilização (cerca de 10% da carga aplicada) e desnitrificação, obtendo-se o valor de nitratos e fosfatos excedentários que podem passar ao meio hídrico subterrâneo (Quadro 4). Considerando as áreas de cada parcela e a respetiva carga de fertilizantes excedentários obtém-se a carga de poluente por parcela (Quadro 5).

Quadro 4 – Carga poluente por unidade de área agrícola por cultura

Corine Landcover	Tipo	Aplicação habitual		Necessidade da planta		Excedente para poluir	
		NO <sub>3</sub> (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	NO <sub>3</sub> (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)	NO <sub>3</sub> (kg/ha)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/ha)
Cult. temporárias	Hortícolas (valor médio)	240	96	120	48	96	43
Vinhas	Vinhas	100	60	50	30	40	27
Pomar	Pomóideas	80	32	40	16	32	15
Vinha+Pomar	50% Pomar + 50% Vinha	90	46	45	23	36	19
Sistemas culturais	25% Hortícolas + 25% Vinhas + 25% Pomares + 25% Prado	105	47	53	24	42	19
Arroz	Arroz	100	85	50	42	40	39

Quadro 5 – Carga poluente por parcela agrícola

Parcelas agrícolas		Área (m <sup>2</sup> )	Carga poluente anual		Parcelas agrícolas		Área (m <sup>2</sup> )	Carga poluente anual		
			NO <sub>3</sub> (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)				NO <sub>3</sub> (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)	
Arrozais	A	467 000	934	904	Hortas	CT1	294 878	1 415	637	
	B	884 000	1 768	1 711		CT2	55 311	265	119	
	C	65 000	130	126		CT3	57 686	277	125	
						CT4	167 015	802	361	
Vinhais	V1	A	94 408	189	121	SC1	A	179 970	378	169
		B	89 459	179	108		B	77 883	164	73
		C	80 311	161	127	SC2	35 419	74	33	
	V2	24 856	50	34	SC3	131 193	276	123		
Pomares	P1	57 502	92	41	Sistemas culturais mistos	SC4	206 794	434	194	
	P2	25 860	41	19		SC5	62 035	130	58	
	P3	100 782	161	73		SC6	56 101	118	53	
	P4	29 184	47	21		SC7	93 717	197	88	
	P5	56 273	90	41		SC8	53 025	111	50	
	P6	72 772	116	52		SC9	38 751	81	36	
	P7	46 963	75	34		SC10	27 273	57	26	
	P8	93 687	150	67		SC11	84 767	178	80	
	P9	88 903	142	64		SC12	133 205	280	125	
	P10	276 801	442	199		SC13	46 255	97	43	
	P11	52 186	83	38		SC14	228 841	481	215	
	P12	122 879	197	88		Pomar + Vinha	115 170	207	106	
	P13	106 979	171	77						
	P14	Carga poluente não vai para a lagoa								
	P15	54 049	86	39						
	P16	Carga poluente não vai para a lagoa								
	P17	Carga poluente não vai para a lagoa								
	P18	46 936	75	34						

- Pecuária – considerou-se a espécie animal, o tipo de animal por espécie, o tipo de criação, a carga poluente por cada cabeça de gado (Quadro 6) e o número de cabeças de gado por exploração obteve-se a carga poluente das explorações (Quadro 7).

Quadro 6 – Carga poluente por cabeça de gado

Espécie animal	Tipo de animal	NO <sub>3</sub> (kg/animal)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg/animal)
Bovino	Bezerro engorda (estilo intensivo)	8	3
	Bovino de engorda (estilo intensivo)	35	17
Suíno	Porco de engorda (estilo intensivo)	15	7
Ovino	Carneiro (estilo intensivo)	16	6

Fonte: Soveral Dias (1999, in Oliveira et al., 2012)

Quadro 7 – Carga poluente por exploração pecuária de produção pecuária

Tipo de animal	Exploração	Nº de cabeças de gado	Carga poluente anual	
			NO <sub>3</sub> (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)
Suínos	SUI1	50	675	315
	SUI2	16	216	101
Bovinos	BOV1	35	677	307
	BOV2	39	755	342
Ovinos	OVI	50	720	270

- Urbano (fossas) – considerou-se o número de habitantes equivalentes de cada localidade, a produção de poluente por habitante equivalente, a percentagem de remoção do poluente pelas fossas sépticas (remoção de 20% dos nitratos do efluente recebido, Arceivala, 1981; 17% do fósforo, Paul e Sperandio, 2001) e a percentagem de fuga de poluentes das fossas (cerca de 20% da carga acumulada; Arceivala, 1981). Tendo em atenção que a produção de nitrato Kjeldahl, para uma capitação média de 100 l/hab/dia, é aproximadamente 10 g/hab.dia (Arceivala, 1981) e que para o fósforo os valores são da ordem de 2,5 g/hab.dia nas águas residuais, obtém-se a carga poluente total para cada agregado populacional na bacia de Melides, na área afeta à extensão do aquífero superficial (Quadro 8).

Quadro 8 – Carga poluente urbana por agregado populacional

Localidade	Habit. equivalente	Carga produzida		Excedente para poluir	
		NO <sub>3</sub> (g/ano)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/ano)	NO <sub>3</sub> (g/ano)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (g/ano)
Moinho do Vau	110	401 500	100 375	64	16
Valença	32	116 800	29 200	19	5
Aderneira	42	153 300	38 325	25	6
Sancha	60	219 000	54 750	35	9
Caveira	150	547 500	136 875	88	23
Azenha da Lagoa	32	116 800	29 200	19	5
Vale Travesso	80	292 000	73 000	47	12
Salvadas	65	237 250	59 312	38	10
Sesmarias	610	2 226 500	556 625	356	93
Praia	550	2 007 500	501 875	321	83
Parque Campismo	3 550	12 957 500	3 239 375	2 073	538

Verifica-se destes quadros o peso significativo das cargas poluentes associadas ao Parque de Campismo (com especial destaque na época de Verão), aos arrozais, hortas e pecuária. Considerando o total de parcelas, os sistemas culturais mistos representam igualmente um aporte significativo de poluentes. No total são descarregados no meio subterrâneo 17 528 kg de nitratos/ano e 8 868 kg de fosfatos/ano, os quais acabam por atingir a lagoa num intervalo de tempo mais ou menos alargado (Oliveira e Novo, 2012).

Considerando apenas a carga poluente que atinge a lagoa no espaço de um ano desde a entrada do poluente no meio subterrâneo, têm-se valores de 8 461 kg/nitratos e 4 757 kg/fosfatos, distribuídos conforme se apresenta no Quadro 9, e que corresponde a cerca de metade da poluição total produzida.

Quadro 9 – Cargas poluentes que atingem a lagoa no espaço de 1 ano

Fonte poluente		Carga poluente		Fonte poluente		Carga poluente		
		NO <sub>3</sub> (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)			NO <sub>3</sub> (kg)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (kg)	
Arrozais	A	934	904	Pecuária	BOV1	677	307	
	B	1 768	1 711		OVI	720	270	
	C	130	126		Urbana	Aderneira	25	6
Pomar	P1	92	41	Salvadas		38	10	
Pomar+Vinha	P+V	207	106	Sesmarias		356	93	
	CT2	265	119	Parque Campismo		2 073	538,00	
Hortas	CT3	277	125	<b>Total arrozais</b>		<b>2 832</b>	<b>2 741</b>	
				<b>Total agricultura s/arrozais</b>		<b>1 740</b>	<b>792</b>	
Sistemas culturais mistos	SC1	A	378	169	<b>Total agricultura</b>		<b>4 572</b>	<b>3 533</b>
		B	164	73	<b>Total pecuária</b>		<b>1 397</b>	<b>577</b>
	SC3	276	123	<b>Total urbana</b>		<b>2 492</b>	<b>647</b>	
	SC9	81	36	<b>Total agrícola + pecuária + urbana</b>		<b>8 461</b>	<b>4 757</b>	

Deste quadro verifica-se que os arrozais contribuem com cerca de 34% de nitratos e 58% de fosfatos de toda a carga poluente agrícola que chega à lagoa no tempo de 1 ano. A carga poluente agrícola representa por seu turno 74% dos fosfatos e 54% dos nitratos que atingem a lagoa no tempo de 1 ano.

Se se considerar o volume médio da lagoa como sendo da ordem de 1,5 hm<sup>3</sup> (Oliveira et al., 2012) obtém-se a concentração poluente para as cargas que atingem a lagoa que se apresenta no Quadro 10.

Quadro 10 – Concentração dos poluentes na lagoa por fonte poluente para tempos de percurso até 1 ano

Fonte poluente		Concentração na lagoa	
		NO <sub>3</sub> (mg/l)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (mg/l)
Arrozais	A	0,59	0,57
	B	1,11	1,07
	C	0,08	0,08
Pomar	P1	0,06	0,03
Pomar+Vinha	P+V	0,13	0,07
Hortas	CT2	0,17	0,08
	CT3	0,17	0,08
Sistemas culturais mistos	SC1	A	0,24
		B	0,10
	SC3	0,17	0,08
	SC9	0,05	0,02
Pecuária	BOV1	0,43	0,19
	OVI	0,45	0,17
Urbana	Ademeira	0,02	0,004
	Salvadas	0,03	0,006
	Sesmarias	0,22	0,06
	Parque Campismo	1,30	0,34
<b>Total agrícola + pecuária + urbana</b>		<b>5,31</b>	<b>2,99</b>

## 8. ANÁLISE DA CONTRIBUIÇÃO PERCENTUAL POR FONTE POLUIDORA

Conhecidas as cargas poluentes convém definir quais as fontes mais e menos importantes, o que se define considerando a contribuição percentual de cada fonte poluente para a carga total e o tempo de percurso do poluente desde a fonte até ao meio superficial, o que é apresentado no Quadro 11. Deste quadro conclui-se que o espectro de importância por atividade económica é levemente distinto para os fosfatos e nitratos, com os arrozais a terem um peso dominante no caso dos fosfatos ao passo que nos nitratos a sua importância é ultrapassada pelos sistemas culturais mistos, pecuária e fontes urbanas. Em termos de importância por atividade a agricultura contribui com cerca de 65% de todos os nitratos e cerca de 76% de todos os fosfatos cedidos por todas as fontes poluentes na bacia (Oliveira e Novo, 2012).

Quadro 11 – Contribuição percentual de cada fonte poluente para a carga total entrada no sistema

Fonte poluente		Peso para a carga poluente total (%)				Fonte poluente	Peso para a carga poluente total (%)					
		Total por grupo de fonte poluente		Total por fonte poluente			Total por grupo de fonte poluente		Total por fonte poluente			
		NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		
Arrozais	A	16,2	30,9	5,3	10,2	Sistemas culturais mistos	SC1	A	17,4	15,4	2,2	1,9
	B			10,1	19,3			B			0,9	0,8
	C			0,7	1,4			SC2			0,4	0,4
Vinhas	V1	3,3	4,4	1,1	1,4		SC3	1,6			1,4	
				B	1,0		1,2	SC4			2,5	2,2
				C	0,9		1,4	SC5			0,7	0,7
	V2			0,3	0,4	SC6	0,7	0,6				



Fonte poluente		Peso para a carga poluente total (%)				Fonte poluente		Peso para a carga poluente total (%)						
		Total por grupo de fonte poluente		Total por fonte poluente				Total por grupo de fonte poluente		Total por fonte poluente				
		NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			
Pomares	P1	11,2	10,0	0,5	0,5	Sistemas culturais mistos	SC7	17,4	15,4	1,1	1,0			
	P2			0,2	0,2		SC8			0,6	0,6			
	P3			0,9	0,8		SC9			0,5	0,4			
	P4			0,3	0,2		SC10			0,3	0,3			
	P5			0,5	0,5		SC11			1,0	0,9			
	P6			0,7	0,6		SC12			1,6	1,4			
	P7			0,4	0,4		SC13			0,6	0,5			
	P8			0,9	0,8		SC14			2,7	2,4			
	P9			0,8	0,7		Pecuária			SUI1	17,4	15,1	3,9	3,6
	P10			2,5	2,2					SUI2			1,2	1,1
	P11			0,5	0,4					BOV1			3,9	3,5
	P12			1,1	1,01					BOV2			4,3	3,9
	P13			1,0	0,9					OVI			4,1	3,0
Pomares	P14	11,2	10,0	Não vai para lagoa			Urbana			Moinho Vau	17,6	9,0	0,4	0,2
	P15			0,5	0,4	Valença		0,1	0,1					
	P16			Não vai para lagoa		Ademeira		0,1	0,1					
	P17			Não vai para lagoa		Sancha		0,2	0,1					
	P18			0,5	0,4	Caveira		0,5	0,3					
Pomar + Vinha	PV	1,2	1,2	1,2	1,2	Azenha Lagoa		0,1	0,1					
Hortas	CT1	15,7	14,0	8,1	7,2	Vale Travesso		0,3	0,1					
	CT2			1,5	1,3	Salvadas		0,2	0,1					
	CT3			1,6	1,4	Sesmarias		2,0	1,0					
	CT4			4,6	4,1	Praia		1,8	0,9					
							Parque Campismo	11,8	6,1					

Ao nível de fonte poluente refira-se a importância do conjunto de fossas do Parque de Campismo – sito aliás na vizinhança da lagoa – dos arrozais, com destaque para o sector B (Fig. 11) e das hortas, com especial destaque para a parcela CT1. Se se considerar apenas as cargas poluentes entradas e que atingem a lagoa no espaço de um ano (Quadro 12) verifica-se mais uma vez a importância dos arrozais, da pecuária e do conjunto de fossas do Parque de Campismo.

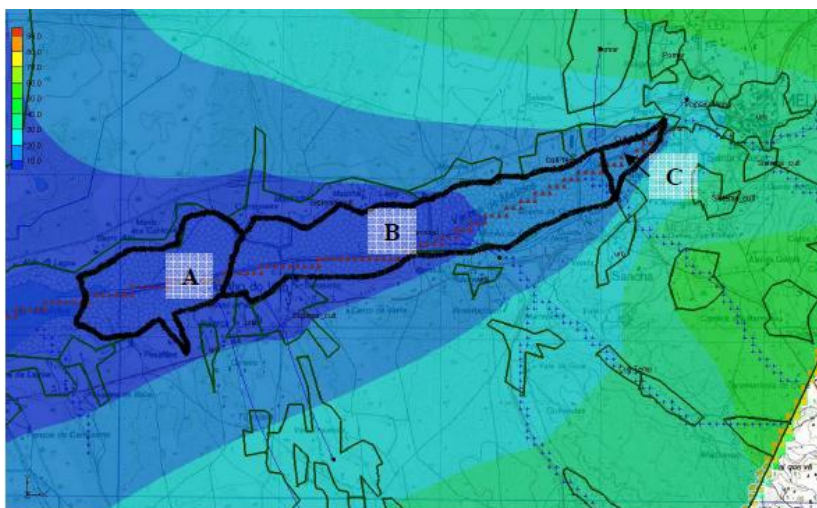


Fig. 11 – Sectores dos arrozais, células do modelo matemático correspondentes à ribeira e superfície piezométrica

No cômputo geral da poluição produzida na bacia e que entra no meio hídrico subterrâneo, a poluição que demora 1 ano a alcançar o meio superficial desde a fonte poluente tem uma importância bastante significativa correspondendo o valor desta poluição a cerca de 48,7% para os nitratos e 53,65% para os fosfatos, com os arrozais a registarem cerca de 34% (nitratos) e 58% (fosfatos), dessas cargas, sendo secundados pelas fossas do Parque de Campismo (24,5% do total de nitratos e 11,3% do total de fosfatos).

Quadro 12 – Percentagem de contribuição de cada fonte poluente para a carga poluente de muito curto tempo de percurso (até 1 ano)

Fonte poluente		Peso da carga poluente que demora 1 ano a alcançar a ribeira e lagoa (%)		Fonte poluente		Peso da carga poluente que demora 1 ano a alcançar a ribeira e lagoa (%)	
		NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>			NO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Arrozais	A	11,04	19,00	Sist. culturais mistos	SC3	3,26	2,59
	B	20,90	35,97		SC9	0,96	0,76
	C	1,54	2,65	Pecuária	BOV1	8,00	6,45
Pomar	P1	1,09	0,86		OVI	8,51	5,68
Pomar+Vinha	P+V	2,45	2,23	Urbana	Aderneira	0,30	0,13
Hortas	CT2	3,13	2,50		Salvadas	0,45	0,21
	CT3	3,27	2,63		Sesmarias	4,21	1,96
Sist. culturais mistos	SC1	A	4,47		Parque Campismo	24,50	11,31
		B	1,94		1,53		

## 9. CONCLUSÕES

O trabalho realizado permitiu concluir, da modelação matemática, que os fluxos no aquífero superficial se dão de Este para Oeste, em direção ao oceano e em direção à rede hidrográfica. Isto indica que a ribeira de Melides e em consequência a lagoa de Melides recebem um forte contributo subterrâneo, podendo por esta razão ser considerados ecossistemas parcialmente dependentes de águas subterrâneas (EDAS).

Esta dependência implica que estes ecossistemas são afetados não apenas pela poluição que a eles chega por via superficial mas também a toda a poluição que chega por via das descargas subterrâneas. Deste modo o conjunto de fontes poluentes é muito superior e mais variado ao que seria se apenas estivessem em causa as fontes poluentes superficiais, tendo por esta razão de se considerar fontes como as fossas e os campos agrícolas sitos ao longo de toda a área da bacia como contribuintes para a poluição da ribeira e lagoa.

A análise do trajeto dos poluentes desde a respetiva fonte até à ribeira e lagoa de Melides permitiu definir quais as fontes cujos poluentes demoram menos de 1 ano a atingir a lagoa: arrozais, parcelas P1, PV, CT2, CT3, SC1, SC3, SC9, a bovinicultura BOV1, e as fossas de Aderneira, Sesmarias, Salvada e Parque de Campismo (as sitas mais perto da lagoa), num total de carga poluente de 8 461 kg de nitratos e 4 757 kg de fosfatos, contribuindo os arrozais com quase 34% desta carga (nitratos). Se se considerar apenas a carga de origem agrícola os arrozais perfazem cerca de 62% do total que atinge a lagoa no espaço de 1 ano. O total das fossas do Parque de Campismo perfaz cerca de 25% do total de nitratos que atinge a lagoa em apenas 1 ano. Estas fontes serão prioritárias para intervenção com vista à melhoria do estado das águas superficiais de Melides.

Esta análise permitiu ainda identificar em que locais ao longo da ribeira vão afluir os poluentes de cada fonte poluente e, fazendo a contagem das partículas na simulação matemática, as percentagens respetivas de contribuição da carga de cada fonte que entrou no sistema, que passam através dos pontos monitorizados pelo estudo e que atingem a ribeira e lagoa (cf. Quadros 2 e 3).

A análise das cargas poluentes mostrou que a atividade com peso mais importante para a poluição por via subterrânea é a agricultura (65% de todos os nitratos e cerca de 76% para todos os fosfatos para todas as fontes poluentes). A atividade pecuária e as fontes urbanas têm sensivelmente o mesmo peso nos nitratos (17,5%) mas a atividade pecuária é mais significativa para os fosfatos (15% face aos 9% das fossas de todos os fosfatos produzidos). A importância dos arrozais fica expressa ainda pelo facto de estes contribuírem com cerca de 16% de nitratos e com 31% de fosfatos para o total de carga poluente produzida na bacia.

Se se considerar apenas a carga poluente que atinge a lagoa no espaço de 1 ano, a agricultura é novamente a atividade com mais peso (74% dos fosfatos e 54% dos nitratos) representando os arrozais uma parte muito importante dessa carga (33,5% nitratos e 57,6% fosfatos) sendo a carga poluente de origem urbana a 2ª mais significativa (30% dos nitratos e 9% dos fosfatos) para os nitratos.

Além dos arrozais, em termos de fontes individuais de poluição, destacam-se – para cargas poluentes que demoram até 1 ano a alcançar a lagoa – pela importância das suas cargas as fossas do Parque de Campismo e as duas pecuárias (BOV1 e OVI).

Estas cargas podem ser expressas em termos de concentrações de poluentes na lagoa. Admitindo um volume médio de 1,5 hm<sup>3</sup> para a lagoa, e considerando apenas as cargas que demoram até 1 ano a alcançá-la, verifica-se que a carga poluente é traduzida por concentrações de 5,3 mg/l de nitratos e 3 mg/l de fosfatos. Se a concentração em nitratos pode não ser muito expressiva, a concentração de fosfatos está acima do limiar para atribuir estado Muito Mau a uma massa de águas superficiais.

Para estas concentrações os arrozais contribuem com 1,8 mg/l de nitratos e 1,7 mg/l de fosfatos, toda a agricultura com 2,9 mg/l nitratos e 2,2 mg/l fosfatos, a pecuária com 0,9 mg/l nitratos e 0,4 mg/l fosfatos e as fossas com 1,6 mg/l nitratos e 0,4 mg/l fosfatos. Assim, a agricultura, seguida das fossas constituem o principal problema para a qualidade das águas da ribeira e lagoa, e para os problemas de eutrofização.

A identificação das principais fontes poluentes, das cargas associadas, os tempos de percurso associados a cada fonte poluente e os locais onde os poluentes entram no meio hídrico superficial são uma informação fundamental para o estabelecimento de medidas de atuação, calendários de implementação e pontos prioritários de intervenção com vista a recuperar a lagoa e bacia hidrográfica de Melides ao estado Bom.

## Bibliografia:

- Agostinho, J.M., Pimentel, M. (2005). *Estudos de Casos de Boas Práticas Ambientais em Agricultura*. Livro da coleção “Agricultura e Ambiente”, Sociedade Portuguesa de Inovação, Porto.
- Arceivala, S.J. (1981) – *Wastewater Treatment and Disposal*. Marcel Dekker, New York, pp. 892.
- Diamantino, C. (2001) – *Intrusão Salina: Caracterização da Situação na Faixa Costeira de Portugal Continental e Aplicação de um Modelo Matemático a uma Região a Norte de Sines*. Informação Científica Hidráulica, INCH 6, LNEC, pp. 143.
- Esteves Costa, F. (coord). (1989). *Carta Hidrogeológica do Sul de Portugal escala 1:200 000*. Carta e Notícia Explicativa. Lisboa, Serviços Geológicos de Portugal.
- Henriques, M.J., Martins, T.A. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Ensaios Laboratoriais em Amostras de Solos para a Caracterização de Parâmetros Hidráulicos e de Transporte de Solutos*. Nota Técnica 05/2012/DHA. Lisboa, LNEC, pp. 18.
- Manuppella, G. (1983) – *O Dogger de Santiago do Cacém*. Estudos, Notas e Trabalhos do Serviço de Fomento Mineiro, Porto, Vol. XIX, Fasc. 3-4, pp. 277-295.
- McDonald, M.G., Harbaugh, A.W. (1983). A Modular Three-Dimensional Finite-Difference Groundwater Flow Model. Open-File Report 83-875. U.S. Geological Survey. In: <http://pubs.er.usgs.gov/usgspubs/ofr/ofr83875>.
- 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, 18-20 June 2008. p 38 (abstract) and doc. elect. CD-Rom, pp. 9.

- Novo, M.E. (2010). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Primeiro Relatório Temático – Caracterização Geológica e Hidrogeológica das Áreas de Estudo do Alentejo e Algarve*. Lisboa, LNEC, Relatório 285/2010-NAS, pp. 90.
- Novo, M.E., Oliveira, L., Henriques, M.J. (2013). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Estratégias e Medidas de Gestão dos Recursos Hídricos da Bacia de Melides (Quantidade e Qualidade Química e Biológica) em Cenários Sócio-económicos e de Alterações Climáticas*. Lisboa, LNEC, Relatório 128/2012-NAS, pp. 278.
- 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*. Lisboa, LNEC, Relatório 291/2011-NAS, pp. 94.
- 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*. Lisboa, LNEC, Relatório 153/2012-NAS. pp. 44.
- Oliveira, L., Novo, M. E. (2012). *Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o desenvolvimento de medidas de mitigação em Melides*. Lisboa, LNEC, Relatório 182/2011-NAS, pp. 30.
- Paul, E., Sperandio, M. (2001). *Sludge Production and Costs Associated to Phosphorous Removal*. Second International Conference on Recovery of Phosphates from Sewage and Animal Wastes. Environmental Technology Journal.
- Soveral Dias, J.C. (1999) – *Código de Boas Práticas Agrícolas*. Lisboa, Laboratório Químico-Agrícola Rebelo da Silva, pp. 36.