

USO DE CENÁRIOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS PARA PREVISÃO DO ESTADO DE AQUÍFEROS E EDAS. CASO-ESTUDO: MELIDES

*USING CLIMATE CHANGE SCENARIOS TO PREDICT
THE STATUS OF AQUIFERS AND GDES.
CASE-STUDY: MELIDES*

Emília NOVO

Doutora em Engenharia do Ambiente, Mestrado em Hidrogeologia, Investigadora Auxiliar LNEC

Luís G. S. OLIVEIRA

Mestrado em Engenharia do Ambiente, ex-bolseiro de Investigação LNEC

RESUMO: Apresenta-se uma projecção da evolução das pressões sobre águas superficiais e subterrâneas da bacia de Melides em cenários de alterações climáticas (cenários de emissões IS92a, SRES A2 e B2) no horizonte de 2100. A recarga e escoamento superficial nestes cenários e consequente variação do volume médio da lagoa de Melides cruzaram-se com a evolução das pressões qualitativas e quantitativas, tendo-se admitido para a evolução das pressões quantitativas a estabilização da população e atividades económicas a partir de 2030, exceto na agricultura em que se admitiram dois cenários: (1) manutenção da área agrícola e culturas atuais, (2) redução da área agrícola. Para as pressões qualitativas admitiu-se a manutenção das cargas poluentes pecuárias e domésticas ao nível de 2030 e na agricultura a manutenção da carga por unidade de área. Do cruzamento das cargas poluentes futuras com a provável evolução do volume médio na lagoa (dependente do escoamento superficial e descargas do aquífero), obtiveram-se cenários de evolução da concentração de poluentes. Admitindo alteração das necessidades hídricas e manutenção da área agrícola, as taxas de exploração variam entre 62 e 110%.

Palavras-chave: alterações climáticas, interações águas superficiais-subterrâneas, EDAS.

ABSTRACT: This paper presents a projection of quantity and quality pressures upon surface waters and aquifers of Melides watershed resulting from the conditions expected under climate change scenarios IS92a, SRES A2 and SRES B2 for the time horizon of 2100. Recharge and runoff values under these scenarios and the ensuing change in Melides lagoon's water volume were cross-analyzed with the predictions of quantity and quality pressures under these same scenarios. The pressures predictions admitted a stabilization of the population and economic activities from 2030 onwards with the exception of agriculture where 2 sub-scenarios were considered: (1) crop area remains unchanged, (2) crop area shrinks. For the quality pressures the pollution loads per unit area of crop and per livestock unit were deemed constant from 2030's values onwards. The superposition of the predicted pollution loads for the whole watershed and the volume change of the lagoon gave a possible pollutants concentration evolution trend in the lagoon. For a scenario of water requirements changes and unchanged crop area exploitation rates can change from 62 to 110%.

Keywords: climate change, surface-groundwater interactions, GDEs.

1. INTRODUÇÃO

As alterações climáticas são uma das pressões a que estarão sujeitos os recursos hídricos e os ecossistemas, podendo gerar problemas de escassez de recursos e sensíveis alterações no funcionamento e composição dos ecossistemas dependentes da água superficial ou subterrânea. A competição pelo recurso hídrico entre utilizadores humanos e ecossistemas será assim um fator de stress acrescido sobre as massas de água, em particular nas áreas mediterrânicas, onde se prevê uma redução geral dos recursos hídricos. No caso dos ecossistemas lagunares dependentes de águas subterrâneas que sejam foz duma rede hidrográfica, tal significa que esse ecossistema será afetado por todas as alterações que ocorram na área da bacia hidrográfica e, no caso destes se situarem no litoral, sofrerão ainda os impactos das alterações do nível do mar e dinâmica costeira, geradas pelas alterações climáticas. Para analisar o modo como as alterações climáticas podem afetar este tipo de ecossistemas, foi criada uma metodologia para a sua avaliação e aplicada à lagoa de Melides, cujos resultados aqui se apresentam.

2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A lagoa de Melides, situada no litoral alentejano (Figura 1), é um ecossistema lagunar costeiro parcialmente dependente de águas subterrâneas (Lobo Ferreira *et al.*, 2013) e recetor de toda a carga poluente de origem superficial coletada pela rede de drenagem da ribeira de Melides, pois é a zona vestibular desta pequena bacia hidrográfica (60.84 km²), assim como da carga poluente de origem subterrânea gerada na bacia e que acaba por atingir a rede hidrográfica. A bacia tem um sector de cabeceira, desenvolvido nas formações pouco permeáveis de xistos e grauvaques paleozoicos de baixa permeabilidade, e um sector de jusante, de relevo aplanado em formações arenosas terciárias e quaternárias sobrejacentes às unidades carbonatadas jurássicas do sistema aquífero de Sines, tendo em consequência moderada a baixa densidade de drenagem. Os dois sectores estão separados pela Falha de Santo André.

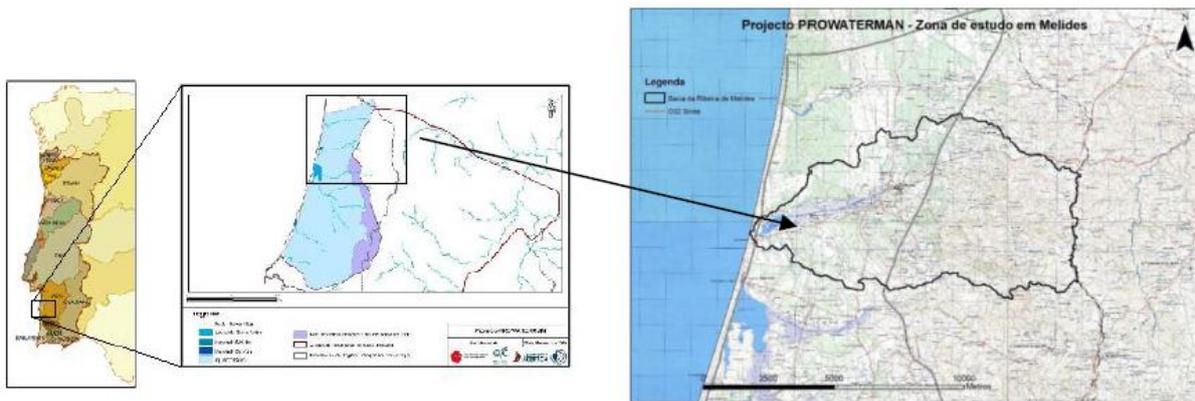


Figura 1 - Localização da área de estudo.

Este artigo foi apresentado no 12º Congresso da Água e selecionado para submissão e possível publicação na *Recursos Hídricos*, tendo sido aceite pela Comissão de Editores Científicos Associados em 30 de maio de 2014. Este artigo é parte integrante da Revista *Recursos Hídricos*, Vol. 35, Nº 2, 77-87, novembro de 2014.

© APRH, ISSN 0870-1741 | DOI 10.5894/rh35n2-7

No sector de cabeceira dominam matos e florestas; a ocupação agrícola e urbana domina no sector jusante da bacia, onde se situa a lagoa de Melides; a atividade pecuária tem uma distribuição mais homogênea, distribuindo-se pelos dois sectores (Novo, Oliveira, 2013a). O escoamento superficial predomina no sector de cabeceira, reduzindo-se no sector de jusante a algumas linhas de água que transportam essencialmente o escoamento gerado no sector de montante, pois no de jusante predomina a recarga. A conexão entre a rede de drenagem e o aquífero profundo carbonatado faz-se apenas pela nascente da Fonte dos Olhos, sendo o aquífero superficial o que se encontra em conexão direta com a rede de drenagem tendo sobre esta um carácter essencialmente influente (Monteiro et al., 2006). O balanço hídrico realizado por Oliveira et al. (2011) estima em cerca de 26,5% o volume entrado no meio hídrico superficial a partir do meio subterrâneo. As diferentes origens da água que alimentam a lagoa de Melides apresentam-se na Figura 2 e os respetivos valores – cerca de 19 a 20 hm³/ano – no Quadro 1.

3. METODOLOGIA DESENVOLVIDA

Para prever a evolução das pressões sobre o meio hídrico em cenários de alterações climáticas calculam-se primeiro os balanços hídricos para as novas condições climáticas. Obtidos estes valores realizam-se as projeções das cargas poluentes, consumos e taxas de exploração dos novos recursos hídricos disponíveis nos horizontes temporais seleccionados, sendo estes resultados as novas pressões estimadas. Os cenários climáticos utilizados foram os do estudo SIAM (Santos, Miranda, 2006) a partir dos quais se construíram as séries de precipitação e temperatura conforme a metodologia de Oliveira et al. (2012b), para obtenção dos dados climáticos de entrada no modelo de balanço hídrico sequencial diário BALSEQ_MOD (Oliveira, 2004).

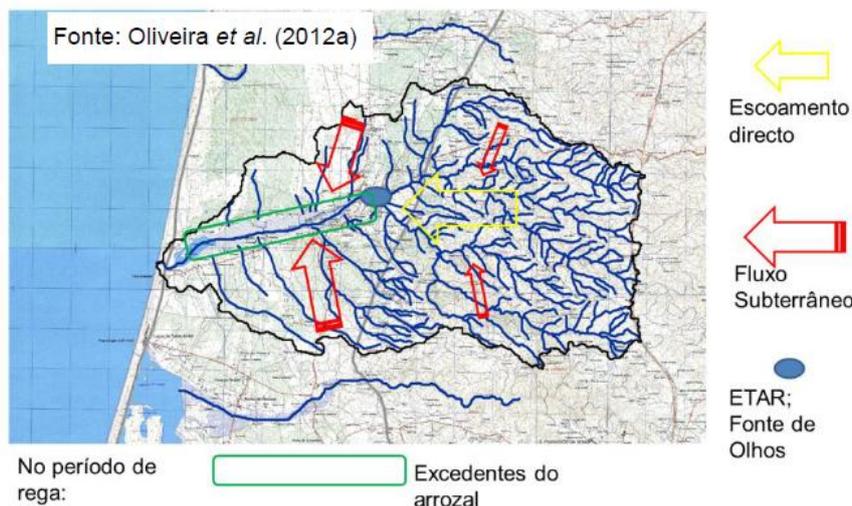


Figura 2 - Origens da água que alimentam a Lagoa e sua importância relativa.

Quadro 1 - Volumes de água de diferentes origens que alimentam a lagoa de Melides.

	Escoamento (m ³ /ano)		Contribuição subterrânea (m ³ /ano) *		ETAR (m ³ /ano)	Total (hm ³ /ano)
	Zona de areias	Zona de xistos	Recarga Zona de areias	Vol. méd. cedido		
Volume	2 594 876	11 225 082	5 269 858	4 998 456	40 956	19 – 20
%	12.9 – 13.8	56.1 – 59.5	27.5	26.5	0.2	100

* Para o cálculo do volume total de água cedido à lagoa considera-se apenas um dos valores de contribuição subterrânea, sendo os intervalos de contribuição percentual do escoamento resultantes da adoção do valor máximo ou mínimo da contribuição subterrânea no cálculo do volume total.

Adaptado de Oliveira et al. (2012a)

Para a avaliação da variação das pressões quantitativas, sendo os arrozais abastecidos por água da ribeira, e os restantes usos por água subterrânea, calcularam-se as taxas de exploração para os recursos hídricos superficiais (arrozais) e para os subterrâneos (todos os demais consumos). Dada a grande incerteza na evolução dos consumos, que depende da variação demográfica, áreas agrícolas, culturas e calendários de cultivo adotadas como estratégias de adaptação às alterações climáticas, alteração das necessidades hídricas de plantas, animais e seres humanos, consideraram-se dois cenários base:

❖ *Manutenção das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas* - reflete alterações demográficas e produtivas que contrabalancem as expectáveis alterações dos consumos de pessoas, animais e plantas. Consideram-se duas situações:

- Manutenção das áreas agrícolas - os consumos agrícolas, pecuários e domésticos são considerados constantes entre 2030 e 2100. Os valores de 2030 obtêm-se das projeções dos cenários socioeconómicos de Lourenço *et al.* (2012) segundo a metodologia de Novo *et al.* (2013a). Este cenário representa o limiar minorante da variação de consumos até 2100.
- Alteração das áreas agrícolas - os cenários de variação da área agrícola são os definidos por Rounsevell *et al.* (2006) e as dotações de rega são similares às atuais; os consumos pecuários e domésticos são os projetados para 2030 pelos cenários socioeconómicos acima citados.

❖ *Alteração das necessidades hídricas de animais, pessoas e plantas* - reflete as alterações expectáveis nos consumos de plantas, pessoas e animais por alterações da temperatura, humidade atmosférica e concentrações em CO₂ atmosférico devidas às alterações climáticas. O ponto de partida para a variação dos consumos são as projeções destes em 2030, obtidas dos cenários de Lourenço *et al.* (2012) pela metodologia de Novo *et al.* (2013a). No caso da agricultura admitiram-se dois sub-cenários: (1) Manutenção da área agrícola e culturas atuais, (2) redução da área agrícola (o que pode também refletir a aposta dos agricultores em culturas mais eficientes em termos de necessidades hídricas). Consideram-se as seguintes situações:

- Alteração da área agrícola - o consumo dos arrozais calcula-se com base nas variações de consumos em arrozais obtidas por Silva *et al.* (2007)

para os cenários A2 e B2, pelo que não se realizam cálculos para o cenário IS92a. As taxas de exploração calculam-se apenas para as águas superficiais dado esta cultura fazer regadio a partir da ribeira de Melides. Os consumos das restantes culturas calculam-se pela metodologia de Diaz *et al.* (2007), após transformação para as condições climáticas da área de estudo; as taxas de exploração calculam-se apenas para as águas subterrâneas, dado serem a origem para a rega destas culturas.

- Pecuária - na ausência de estudos dos consumos animais no sul de Portugal sob alterações climáticas, adotaram-se os resultados de estudos noutras regiões do globo com climas mediterrânicos. As respostas fisiológicas dos animais variam em função do tipo de animal, raça, forma de estabulamento, qualidade dos pastos e até da acessibilidade mais ou menos facilitada à água, tendo-se adotado os seguintes métodos: (1) *Bovinos* - métodos e valores de Masike e Ulrich (2009), Howden e Turnpenny (1988); (2) *Suínos* - metodologia de Schiavon e Emmans (2000; in Patience, 2012); (3) *Ovinos* - na ausência de informação suficiente para o cálculo da variação dos consumos de ovinos, sendo a capitação de suínos e ovinos muito similar nas condições atuais e tendo os ovinos moderadas necessidades de água, optou-se por aplicar a metodologia dos suínos.
- Consumos domésticos - aplicou-se a metodologia de Walid (2009) que calcula a variação dos consumos domésticos em ambientes semiáridos perante subidas de temperatura de 1°C a 5°C, intervalo em que se situam as projeções de aumento de temperatura nos cenários climáticos adotados.

Para a avaliação da variação das pressões qualitativas, e dadas as grandes incertezas relativas à sua evolução, consideraram-se os seguintes cenários:

❖ *Manutenção das cargas poluentes agrícolas, domésticas e pecuárias* - admite-se que estas cargas poluentes se manterão em 2100 similares às previstas para 2030 pela metodologia desenvolvida por Novo *et al.* (2013b) a partir dos cenários socioeconómicos de Lourenço *et al.* (2012); no caso das cargas

poluentes agrícolas, este cenário reflete uma manutenção das áreas e cargas poluentes por unidade de área em patamares similares aos atuais.

- ❖ *Alteração das cargas agrícolas* – considera-se que as cargas poluentes por tipo de cultura e unidade de área agrícola se mantêm aos níveis projetados para 2030, mas que a área total ocupada pela agricultura sofre uma evolução – no caso de redução – em conformidade com os cenários de Rounsevell *et al.* (2006), os quais sugerem para esta região uma redução da área agrícola de 47% para o cenário A2 e de 36% para o cenário B2; o cenário IS92a, que regista um maior aumento de temperatura mas uma menor redução da precipitação, foi equiparado ao cenário B2 e em consequência a redução de área agrícola adotada foi de 54%.

A evolução das pressões sobre a lagoa tem de considerar ainda a evolução futura do seu volume de água, os processos de remoção de poluentes e a carga poluente gerada (determinada pelos cenários acima) que atinge a lagoa. Dada a redução de recarga de 60%, 46% e 26% nos cenários A2, B2 e IS92a respetivamente (Oliveira *et al.*, 2012b) admitiu-se para o cenário IS92a uma redução de cerca 20% da carga poluente subterrânea que atinge a lagoa e uma carga poluente subterrânea nula no caso dos cenários A2 e B2. Os cenários adotados de variação do volume da lagoa são:

- Volume da lagoa igual ao atual – ocorrerá apenas se houver alimentação artificial da lagoa (ex.: injeção a partir do oceano e/ou aquífero) que compense as perdas por evaporação e redução dos aportes superficiais e subterrâneos.
- Volume da lagoa varia, mantendo a proporção de descarga para o oceano similar à atual – retrata a situação, pouco provável, em que a dinâmica costeira se manteria em equilíbrio dinâmico com a lagoa.
- Volume da lagoa varia somente em função das variações do escoamento superficial e recarga – nestas condições não se manterá nem o volume atual nem a atual proporção de água descarregada para o oceano.

Os cenários de remoção de poluentes são os seguintes:

- 0% remoção – a lagoa não sofre abertura ao oceano.
- 5% remoção – a lagoa sofre redução acentuada do seu volume e o mar não galga o cordão litoral com frequência.
- 50% remoção – situação de abertura entre as condições atuais e a de isolamento progressivo da lagoa dos cenários anteriores.
- 95% remoção – situação similar à atual ou seja, mantém-se a proporção de descarga da lagoa face aos novos aportes de água.

4. RESULTADOS

As recargas e escoamento superficiais foram calculados por Oliveira *et al.* (2012b) para os cenários HadRM2/IS92A, HaRM3/SRES A2 e HaRM3/SRES B2, para as condições por eles previstas para a área de estudo (Quadro 2 e Figura 3). A variação dos volumes da lagoa para estes cenários climáticos apresenta-se no Quadro 3. A evolução dos consumos e taxas de exploração dos recursos hídricos sob alterações climáticas para condições de manutenção das necessidades hídricas/consumos ao nível do ano 2030 (área agrícola igual à de 2030) apresenta-se no Quadro 4. O período de regadio admite-se similar ao atual. O Quadro 5 apresenta os consumos e taxas de exploração em situação de manutenção das necessidades hídricas e redução da área agrícola devido às alterações climáticas.

Nos cenários de alteração das necessidades hídricas a evolução dos consumos e taxas de exploração, sob manutenção da área agrícola, apresenta-se no Quadro 6 e para alteração das áreas agrícolas no Quadro 7.

A análise da variação dos consumos por alteração das necessidades hídricas devido às alterações climáticas (manutenção da área agrícola de 2030) apresentada no Quadro 8, mostra um aumento em todos os cenários climáticos, especialmente nos dos bovinos. Os consumos são mais elevados no cenário climático com maior subida da temperatura média anual e é ao mesmo tempo o de menor redução da precipitação, podendo tal minorar as potenciais situações de défice hídrico (cf. taxas de exploração Quadros 4 a 7). No cenário de menor subida de temperatura as variações dos consumos são as menores mas devido à redução na recarga as taxas de exploração são muito superiores às atuais.

Para a evolução da carga poluente na lagoa (concentrações) considerou-se toda a carga poluente que atinge a lagoa nos horizontes temporais de 2015, 2030, 2050 e 2100, tendo as concentrações para os dois primeiros horizontes, definidas segundo a metodologia de Novo *et al.* (2013c); para 2050 e 2100 (2100 s/alter. clima) estas são similares às de 2030, quando não se analisa o impacto das alterações climáticas, não se considerando a redução das áreas agrícolas dada esta ser uma consequência previsível das alterações climáticas. Os cenários de redução de áreas agrícolas são assim analisados apenas para 2100 sob cenários climáticos, sendo as cargas por unidade de área similares às previstas para 2030. A evolução das cargas poluentes na lagoa para diferentes cenários climáticos e manutenção do volume da lagoa apresenta-se no Quadro 9 e para a manutenção da proporção das descargas similar às atuais no Quadro 10 e neste caso, prevendo-se reduções do escoamento superficial e recarga (e em consequência das descargas do aquífero), haverá redução dos volumes saídos da lagoa, mantendo-se apenas a proporção de escoamento superficial + recarga descarregada para o oceano. Para a variação do volume da lagoa e descargas para o oceano a variação das cargas poluentes apresenta-se no Quadro 11.

Quadro 2 - Volumes de recarga e de escoamento direto na bacia de Melides.

Cenário emissões/ modelo climático	Escoamento (mm/ano)	Recarga (mm/ano)	Redução face actual		Volume médio (hm ³ /ano)		
			Escoamento	Recarga	Escoamento		Recarga
					Xistos	Areias	
<i>Condições actuais</i>	199	119	0%	0%	11.226	2.595	5.270
HadRM2/IS92a	179	88	10.2%	26.3%	10.098	2.327	3.884
HadRM3/SRES A2	114	47	42.5%	60.1%	6.431	1.492	2.103
HadRM3/SRES B2	142	64	28.5%	46.4%	8.011	1.850	2.825

Adaptado de Novo *et al.* (2013c)

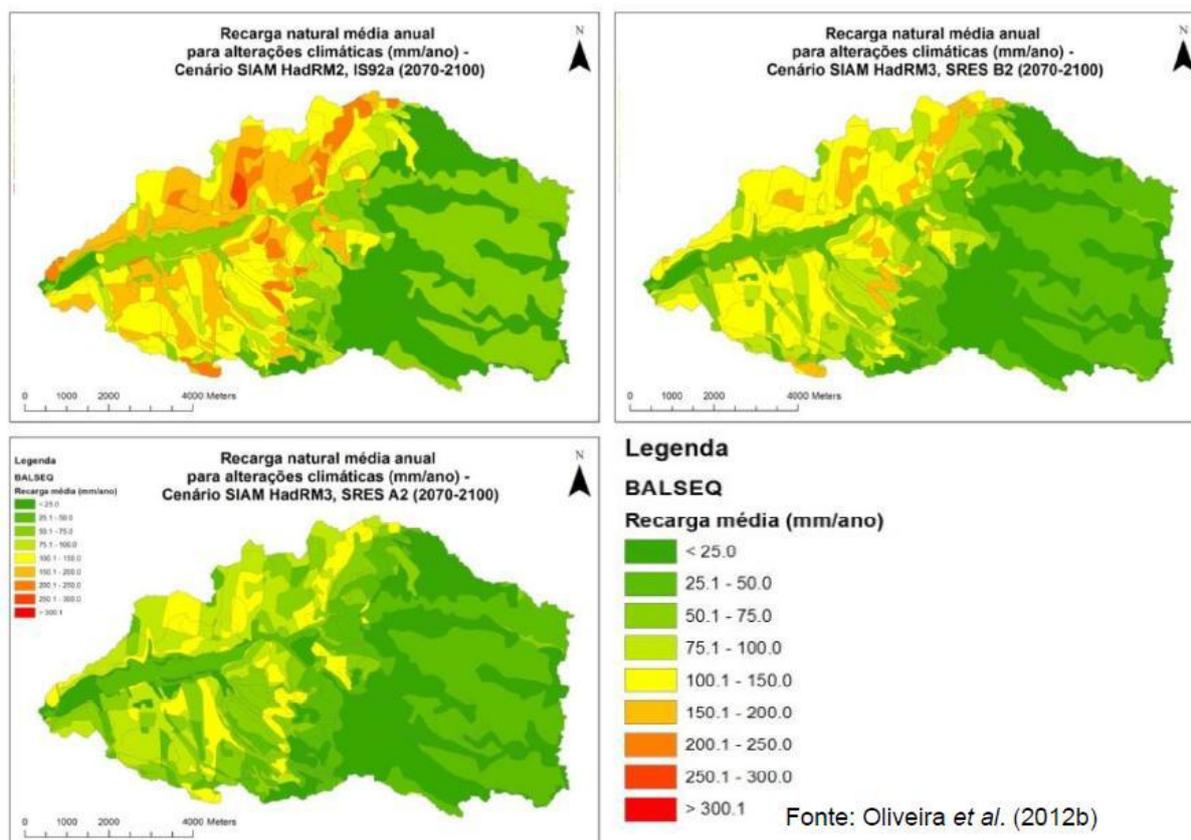


Figura 3 - Recarga natural média anual, cenários: a) HadRM2/IS92a; b) HadRM3/SRES A2; c) HadRM3/SRES B2.

Quadro 3 - Variação dos volumes da lagoa para diferentes cenários climáticos.

Cenário emissões/ modelo climático	Vol. médio da lagoa (hm ³)		
	Vol. igual actual	Descarga para o oceano igual à actual	Volume e descarga variáveis
<i>Condições actuais</i>	1.5	1.5	1.5
HadRM2/IS92a	1.5	1.23	1.35
HadRM3/SRES A2	1.5	0.64	0.86
HadRM3/SRES B2	1.5	0.80	1.07

Adaptado de Novo *et al.* (2013c)

Quadro 4 - Variação dos consumos em cenários de alterações climáticas, necessidades hídricas e manutenção da área agrícola.

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m ³ /ano)				Recarga (m ³ /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		525 288	640 000	1 521 414	1 568	5 269 858	38.87
Ano 2030		564 947	585 845	1 424 951	1 568	5 269 858	37.79
2100	HadRM2/IS92a	564 947	585 845	1 424 951	1 568	3 884 381	51.27
	HadRM3/SRES A2	564 947	585 845	1 424 951	1 568	2 103 058	94.69
	HadRM3/SRES B2	564 947	585 845	1 424 951	1 568	2 825 267	70.49
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m ³)
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		9.97	23.18	28.87	0.03	2 761 310	
Ano 2030		10.72	21.22	27.04	0.03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	14.54	25.17	36.68	0.04	2 327 715	
	HadRM3/SRES A2	26.86	39.26	67.76	0.07	1 492 125	
	HadRM3/SRES B2	20.00	31.66	50.44	0.06	1 850 235	

*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 5 - Variação dos consumos em cenários de alterações climáticas, redução da área agrícola e necessidades hídricas similares às atuais.

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m ³ /ano)				Recarga (m ³ /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		525 288	640 000	1 521 414	1 568.1	5 269 858	38.87
Ano 2030		564 947	585 845	1 424 951	1 568.1	5 269 858	37.79
2100	HadRM2/IS92a	564 947	269 489	655 478	1 568	3 884 381	31.46
	HadRM3/SRES A2	564 947	310 499	755 224	1 568	2 103 058	62.85
	HadRM3/SRES B2	564 947	433 525	1 054 464	1 568	2 825 267	57.37
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m ³)
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		9.97	23.18	28.87	0.03	2 761 310	
Ano 2030		10.72	21.22	27.04	0.03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	14.54	11.58	16.87	0.04	1 593 682	
	HadRM3/SRES A2	26.86	20.81	35.91	0.07	1 174 555	
	HadRM3/SRES B2	20.00	23.43	37.32	0.06	1 820 780	

*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 6 - Variação dos consumos, alteração das necessidades hídricas devido às alterações climáticas e manutenção da área agrícola.

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m ³ /ano)				Recarga (m ³ /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		525 288	640 000	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38.87
Ano 2030		564 947	585 845	1 424 951	1 568,1	5 269 858	37.79
2100	HadRM2/IS92a	723 132	--	1 709 941	2 336	3 884 381	62.70
	HadRM3/SRES A2	658 163	679 580	1 652 943	1 991	2 103 058	109.99
	HadRM3/SRES B2	632 740	662 005	1 610 195	1 917	2 825 267	79.46
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m ³)
		Doméstico	Arrozais*	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		9.97	23.18	28.87	0.03	2 761 310	
Ano 2030		10.72	21.22	27.04	0.03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	18.62	--	44.02	0.06	2 327 715	
	HadRM3/SRES A2	31.30	45.54	78.60	0.09	1 492 125	
	HadRM3/SRES B2	22.40	35.78	56.99	0.07	1 850 235	

*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 7 - Variação dos consumos, alteração das necessidades hídricas devido às alterações climáticas e redução da área agrícola.

Data	Modelo climático e cenário emissões	Volumes de consumos (m ³ /ano)				Recarga (m ³ /ano)	Taxas de exploração (%)
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		525 288	640 000	1 521 414	1 568,1	5 269 858	38.87
Ano 2030		564 947	585 845	1 424 951	1 568,1	5 269 858	37.79
2100	HadRM2/IS92a	723 132	--	786 573	2 336	3 884 381	38.93
	HadRM3/SRES A2	658 163	679 580	876 060	1 991	2 103 058	73.05
	HadRM3/SRES B2	632 740	662 005	1 191 544	1 917	2 825 267	64.64
Data	Modelo climático e cenário emissões	Taxas de consumo por atividade económica (%)					Escoamento superficial (m ³)
		Doméstico	Arrozais *	Restante agricultura	Pecuária		
Actual		9.97	23.18	28.87	0.03	2 761 310	
Ano 2030		10.72	21.22	27.04	0.03	2 761 310	
2100	HadRM2/IS92a	18.62	--	20.25	0.06	2 327 715	
	HadRM3/SRES A2	31.30	45.54	41.46	0.09	1 492 125	
	HadRM3/SRES B2	22.40	35.78	42.17	0.07	1 850 235	

*taxas calculadas em função do escoamento superficial e avaliadas apenas à época de regas

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 8 - Evolução das taxas de consumo hídrico devido ao efeito das alterações climáticas sobre as necessidades hídricas (manutenção da área agrícola).

Modelo climático e cenário emissões	Variação da Temperatura (°C)	Variação dos volumes de consumos face aos atuais (%)					
		Doméstico	Arrozais	Restante agricultura	Pecuária		
					Suínos	Bovinos	Ovinos
HadRM2/IS92a	+5.6	37.66	--	12.39	9.88	55.00	14.75
HadRM3/SRES A2	+3.3	25.30	6.18	8.65	5.99	30.20	8.95
HadRM3/SRES B2	+2.4	20.46	3.44	5.84	4.35	25.00	6.50

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 9 - Variação potencial das cargas poluentes superficiais + subterrâneas na lagoa (manutenção do volume da lagoa).

Na lagoa →		S/ remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola		Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
Anos		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Atual		6.41	--	6.09	--	3.21	--	0.32	--
2015		7.41	--	7.04	--	3.71	--	0.37	--
2030		8.39	--	7.96	--	4.19	--	0.42	--
2050		9.22	--	8.76	--	4.61	--	0.46	--
2100 s/ Δ clima		10.20	--	9.69	--	5.10	--	0.51	--
2100	IS92a	8.16	5.58	7.76	5.30	4.08	2.79	0.41	0.28
	A2	1.05	0.75	1.00	0.71	0.53	0.37	0.05	0.04
	B2	1.05	0.88	1.00	0.84	0.53	0.44	0.05	0.04

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 10 - Variação potencial das cargas poluentes superficiais + subterrâneas na lagoa (manutenção da proporção de descarga para o oceano).

Na lagoa →		S/ remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola		Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
Anos		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Atual		6.41	--	6.09	--	3.21	--	0.32	--
2015		7.41	--	7.04	--	3.71	--	0.37	--
2030		8.39	--	7.96	--	4.19	--	0.42	--
2050		9.22	--	8.76	--	4.61	--	0.46	--
2100 s/ Δ clima		10.20	--	9.69	--	5.10	--	0.51	--
2100	IS92a	10.57	7.22	10.04	6.86	5.29	3.61	0.53	0.36
	A2	2.61	1.86	2.48	1.77	1.31	0.93	0.13	0.09
	B2	2.09	1.76	1.99	1.67	1.05	0.88	0.10	0.09

Fonte: Novo et al. (2013c)

Quadro 11 - Variação potencial das cargas poluentes superficiais + subterrâneas na lagoa (variação do volume da lagoa + descargas para o oceano).

Na lagoa →		S/ remoção de carga		Remoção 5% carga		Remoção 50% carga		Remoção 95% carga	
Área agrícola		Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução	Constante	Redução
Anos		mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Atual		6.41	--	6.09	--	3.21	--	0.32	--
2015		7.41	--	7.04	--	3.71	--	0.37	--
2030		8.39	--	7.96	--	4.19	--	0.42	--
2050		9.22	--	8.76	--	4.61	--	0.46	--
2100 s/ Δ clima		10.20	--	9.69	--	5.10	--	0.51	--
2100	IS92a	9.63	6.58	9.15	6.25	4.82	3.29	0.48	0.33
	A2	1.95	1.39	1.85	1.32	0.97	0.69	0.10	0.07
	B2	1.56	1.32	1.49	1.25	0.78	0.66	0.08	0.07

Fonte: Novo et al. (2013c)

5. DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

Esta análise sofre de algumas limitações devidas à limitação de dados sobre a evolução das necessidades hídricas sob subida de temperatura e teores de CO₂ na zona sul da Europa atlântica. Para ultrapassar este problema foram utilizados estudos desenvolvidos em atuais zonas semiáridas e/ou de clima mediterrânico, opção na melhor das hipóteses *proxy* das condições da área de estudo. Além disso para um importante sector pecuário local (ovinos) não se encontrou literatura sobre evolução das suas necessidades hídricas sob alterações climáticas em áreas mediterrânicas. Na análise da variação das necessidades hídricas das plantas considerou-se apenas a variação por aumento da temperatura, embora estas sejam fortemente controladas pelas concentrações de CO₂ atmosférico, pois não se encontrou informação sobre este aspeto para a área de estudo; acresce que os calendários agrícolas poderão alterar-se, passando a mais de uma colheita por ano, aumentando os consumos mesmo para culturas que tenham uma melhor eficiência hídrica, ou haver alteração do tipo de culturas e/ou das técnicas de irrigação e de cultivo. Quanto às cargas poluentes a alteração dos calendários de desenvolvimento vegetativo e respetivos períodos de adubagem e aplicação fitossanitários, a possível opção por culturas mais tropicais que podem exigir outros tipos e calendários de tratamento, surgimento de novos tipos de pragas, alteração das técnicas de rega e consequentes volumes lixiviados de poluentes, novas formas de produção industrial e tratamento de esgotos, são também aspetos bastante pouco estudados. Assim, pela grande incerteza daqui advinda, optou-se por considerar tais fatores similares aos atuais ao longo de todo o século XXI.

Os resultados desta metodologia preveem o aumento das taxas de exploração dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos, exceto para o cenário IS92a + redução da área agrícola + as necessidades hídricas similares às atuais (cf. Quadro 5). Na situação mais provável (alteração das necessidades hídricas e área agrícola) as taxas de exploração quase duplicam face às atuais, no cenário A2. A sobre-exploração ocorrerá apenas no cenário A2 e sob manutenção da área agrícola + alteração das necessidades hídricas (taxa de exploração ≈ 110%) ou manutenção da área agrícola + necessidades hídricas iguais às atuais (taxa de exploração ≈ 95%), sendo este último caso pouco provável. As taxas de exploração no cenário B2 situam-se sempre acima dos 50%, sendo quase o dobro das atuais sob manutenção das áreas agrícolas + alteração das necessidades hídricas.

A concentração potencial de nitratos na lagoa, admitindo que estes não sofrem degradação nem retenção durante o seu percurso ao longo do aquífero, caso não ocorressem alterações climáticas, tenderia a aumentar ao longo do tempo, devido à chegada das cargas de longo tempo de percurso. Como as alterações climáticas induzirão mudanças no escoamento superficial e recarga do aquífero e em consequência nas descargas do segundo no primeiro, a situação depende da evolução do volume de água na lagoa e descargas dos poluentes do

meio subterrâneo. Assim, excetuando o caso da manutenção artificial do volume da lagoa, em que as cargas poluentes se reduzem nos três cenários climáticos (Quadro 9), nas restantes situações a evolução das concentrações no cenário climático IS92a é sempre de subida (descargas do aquífero 20% abaixo dos valores atuais) e nos cenários A2 e B2 há uma importante redução, visto ter sido considerado que a redução da recarga impede a ocorrência de descargas do aquífero e respetivos poluentes. O aumento de carga no cenário IS92a é especialmente significativa no caso da manutenção das áreas agrícolas. Em todos os casos as cargas poluentes são inferiores às previstas para 2100 se não ocorressem alterações climáticas; a alteração das concentrações sob taxas de remoção de 95% de poluentes da lagoa é pouco significativa face aos valores atuais para igual taxa de remoção. Assim a evolução da carga poluente na lagoa dependerá de:

- Descargas do aquífero: cenários climáticos sem descargas do aquífero (cenários A2 e B2) têm sempre cargas poluentes significativamente inferiores às atuais.
- Variação da área agrícola: embora as concentrações calculadas sejam o somatório das cargas agrícola, urbana e pecuária, a redução da área agrícola gera sempre redução da carga poluente, menos significativa nos cenários A2 e B2 (com reduzida contribuição subterrânea para a lagoa).
- Variação do volume da lagoa: a situação mais favorável é a de manutenção artificial do volume da lagoa aos níveis atuais.
- Regimes de remoção da carga poluente/regimes de abertura ao oceano.

AGRADECIMENTOS

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

BIBLIOGRAFIA

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, 149-159.

Howden, S.M., Turnpenney, J. (1988). Modeling Heat Stress and Water Losses of Beef Cattle in Subtropical Queensland under Current Climates and Climate Change. CSIRO Wildlife & Ecology, Resource Futures Program, Integrated Global Change Impact Assessment Project. Working Document 98/03.

Lourenço, N., Machado, C.R., Rodrigues, L., Vilhena, J., Pires, A., Norberto, S., Esteves, L. (2012). Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana. Uma Abordagem Integrada e Participativa na Definição de Estratégias Inovadoras e Prospectivas de Gestão Integrada de Recursos Hídricos no Sul de Portugal - PROWATERMAN. Relatório da Task n.º 2 - Analysis of

- Environmental and Socio-Economic Driving Forces. Universidade Atlântica, Barcarena.
- 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. *11º SILUSBA "A Cooperação para a Água"*, Maputo, Moçambique.
- 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, 597-603.
- Novo, M.E., Oliveira, L., Lobo Ferreira, J.P. (2013a). 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). Relatório 128/2013 – DHA/NAS, LNEC, Lisboa.
- Novo, M.E., Lourenço, N., Machado, C.R. (2013b). Utilização de Cenários de Mudança para a Previsão da Evolução das Pressões e do Estado das Massas de Água Subterrânea e EDAS. Caso de estudo: Melides. Parte I. Cenários sócio-económicos. *10ª Conferência Nacional do Ambiente/XII Congresso Nacional de Engenharia do Ambiente*, Aveiro.
- Novo, M.E., Oliveira, L., Henriques (2013c). 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). Lisboa, LNEC, Relatório 128/2013-DHA/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. Relatório 291/2011-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.
- Oliveira, L., Novo, M. E., Lobo Ferreira, J.P. (2012a). Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Componente do Núcleo de Águas Subterrâneas para o Desenvolvimento de Medidas de Mitigação em Melides. Relatório 182/2011-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.
- Oliveira, L., Martins, T., Lobo Ferreira, J.P., Oliveira, M. M., Novo, M. E., Leitão, T. E. (2012b). Água, Ecossistemas Aquáticos e Actividade Humana – Projecto PROWATERMAN. Quarto Relatório Temático – Contributos para o Desenvolvimento de Medidas para uma Gestão Sustentável dos Recursos Hídricos no Sul de Portugal. Relatório 153/2012-DHA/NAS, LNEC, Lisboa.
- Oliveira, M.M. (2004). *Recarga de Águas Subterrâneas: Métodos de Avaliação*. Dissertação de Doutoramento em Geologia (Hidrogeologia), Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Rounsevell, M.D.A., Reginster, I., Araújo, M.B., Carter, T.R., Dendoncker, N., Ewert, F., House, J.I., Kankaapää, S., Leemans, R., Metzger, M.J., Schmit, C., Smith, P., Tuck, G., (2006). A Coherent Set of Future Land Use Change Scenarios for Europe. *Agricultural Ecosystems & Environment*, Vol. 114, 57-68.
- Santos, F.D. e Miranda, P. (2006). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*, pp. 506. Projecto SIAM II. Editora Gradiva, Lisboa, Portugal. ISBN 989-616-081-3.
- Silva, C.S., Weatherhead, E.K., Knox, J.W., Rodriguez-Diaz, J.A. (2007). Predicting the impacts of climate change – A case study of paddy irrigation water requirements in Sri Lanka. *Agricultural Water Management*, Vol. 93, 19-29.
- 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, 873-883.
- Walid, A. (2009). *Assessment of Climate Changes on Water Resources in Kingdom of Saudi Arabia* http://portal.worldwaterforum5.org/wwf5/enus/worldregions/MENA%20Arab%20region/Consultation%20Library/Climate%20Change%20_Saudi%20Arabia.doc

