

OTIMIZAÇÃO DA GESTÃO DE ALBUFEIRAS HIDROAGRÍCOLAS. A PLATAFORMA OMEGA

Tiago B. Ramos¹, Lucian Simionesei¹, Ana R. Oliveira¹, Flávio Santos¹, Marta López¹, Jorge Palma¹, Carina Almeida², Gonçalo Sousa³, Carina Arranja⁴, Diana Cordeiro⁴, José Núncio^{3,4}, Ramiro Neves¹

¹ MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Avenida Rovisco Pais nº1, 1049-001 Lisboa. Email: tiagobramos@tecnico.ulisboa.pt, lucian.simionesei@tecnico.ulisboa.pt, anamosoliveira@tecnico.ulisboa.pt, flavio.t.santos@tecnico.ulisboa.pt, martalopezm@tecnico.ulisboa.pt, jorgempalma@tecnico.ulisboa.pt, ramiro.neves@tecnico.ulisboa.pt

² AQUALOGUS, Engenharia e Ambiente, Rua do Mar da China N.º 1 Escritório 2.4, Parque das Nações, 1990-137 Lisboa, Portugal. Email: calmeida@aqualogus.pt

³ Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia, Rua 5 de Outubro n.º 14, 2100-127 Coruche. Email: goncalo@arbvs.pt, josenuncio@arbvs.pt

⁴ Federação Nacional de Regantes de Portugal, Rua 5 de Outubro n.º 14, 2100-127 Coruche. Email: secretariado@fenareg.pt, dianacordeiro@fenareg.pt

Resumo

Este trabalho tem como objectivo apresentar a plataforma OMEGA de apoio à gestão das albufeiras hidroagrícolas portuguesas. Esta plataforma inclui uma série de ferramentas operacionais que permitem ficar a conhecer, em tempo quase real, a quantidade e qualidade da água armazenada naquelas albufeiras, os caudais e cargas afluentes, as condições meteorológicas nas áreas a montante e as áreas inundadas em situação de cheia. Com exceção dos volumes armazenados, cuja consulta pode ser feita para todas as albufeiras hidroagrícolas nacionais, as ferramentas operacionais estão implementadas unicamente na bacia hidrográfica do Rio Sorraia (o caso de estudo), podendo, no entanto, ser estendidas a outras áreas. A plataforma OMEGA pretende assim contribuir para o aumento da eficiência da gestão dos recursos hídricos em Portugal, respondendo à crescente procura por parte dos diferentes sectores socioeconómicos.

Palavras Chave: Ferramenta operacional; caudal; qualidade da água; MOHID-Land; Sentinel-2.

1. INTRODUÇÃO

A crescente utilização dos recursos hídricos por parte dos diferentes sectores socioeconómicos, onde a agricultura em geral e o regadio em particular continuam a destacar-se pela necessidade de utilização de maiores volumes de água, tanto a nível nacional como mundial, torna evidente a necessidade de aumentar a eficiência da gestão daqueles recursos, em particular, durante os períodos de escassez. Acresce o facto da variabilidade inter e intra-anual do regime pluviométrico em Portugal trazer grande incerteza à gestão dos recursos hídricos nacionais, sem que muito possa ser feito a não ser proceder ao armazenamento de água para usar durante os períodos de escassez.

Este trabalho tem, como objectivo, apresentar a plataforma OMEGA como ferramenta de apoio à gestão da água armazenada nas albufeiras hidroagrícolas, disponibilizando, em tempo quase real, a informação gerada por modelos hidrológicos e meteorológicos de alta

resolução, de modo a aumentar a capacidade de previsão dos caudais afluentes, das reais disponibilidades e da qualidade do recurso armazenado.

2. MÓDULOS OPERACIONAIS

A plataforma OMEGA (Fig. 1) pode ser acedida em <http://omega.maretec.org/>. É composta por 9 módulos independentes, com objectivos diversos. O primeiro módulo apresenta os volumes de água armazenados nas albufeiras hidroagrícolas portuguesas, tendo, portanto, uma abrangência nacional. Os restantes módulos têm, como caso de estudo, a bacia hidrográfica do Rio Sorraia (7730 km²) e as duas albufeiras hidroagrícolas aí localizadas: as albufeiras de Montargil (164 hm³) e do Maranhão (205 hm³). A água armazenada nessas albufeiras serve sobretudo o perímetro de rega do Vale do Sorraia, com 15360 ha. Estes módulos operacionais estão dedicados à monitorização das condições meteorológicas na área de estudo, à previsão dos caudais e cargas afluentes às albufeiras de Montargil e do Maranhão, ao estudo da evolução da qualidade da água nessas albufeiras e à avaliação das áreas inundadas a jusante, em situação de cheia. Nas secções seguintes descrevem-se, de forma sumária, todos os módulos da plataforma OMEGA.



Figura 1. Página inicial da plataforma OMEGA.

2.1. VOLUMES ARMAZENADOS

O primeiro módulo apresenta os volumes armazenados nas albufeiras hidroagrícolas geridas pelos associados da Federação Nacional de Regantes de Portugal (FENAREG), bem como nas albufeiras do Alvito, Agueira e Alqueva, por estas integrarem sistemas dos quais dependem algumas das albufeiras hidroagrícolas anteriores. Essa informação é descarregada semanalmente da página da Direção-Geral de Agricultura e do Desenvolvimento Rural

(DGADR, <http://sir.dgadr.gov.pt/reservas>) e apresentada na interface gráfica da plataforma (Fig. 2). Em cada albufeira hidroagrícola, para além dos respectivos volumes armazenados (úteis e totais), pode também ser consultada a evolução desses volumes ao longo do ano corrente e feita a comparação com as semanas homólogas dos últimos 2 anos e média dos últimos 5 anos.

Legenda

● Inferior a 30% ● Entre 30% e 60% ● Entre 60% e 80% ● Superior ou igual a 80%

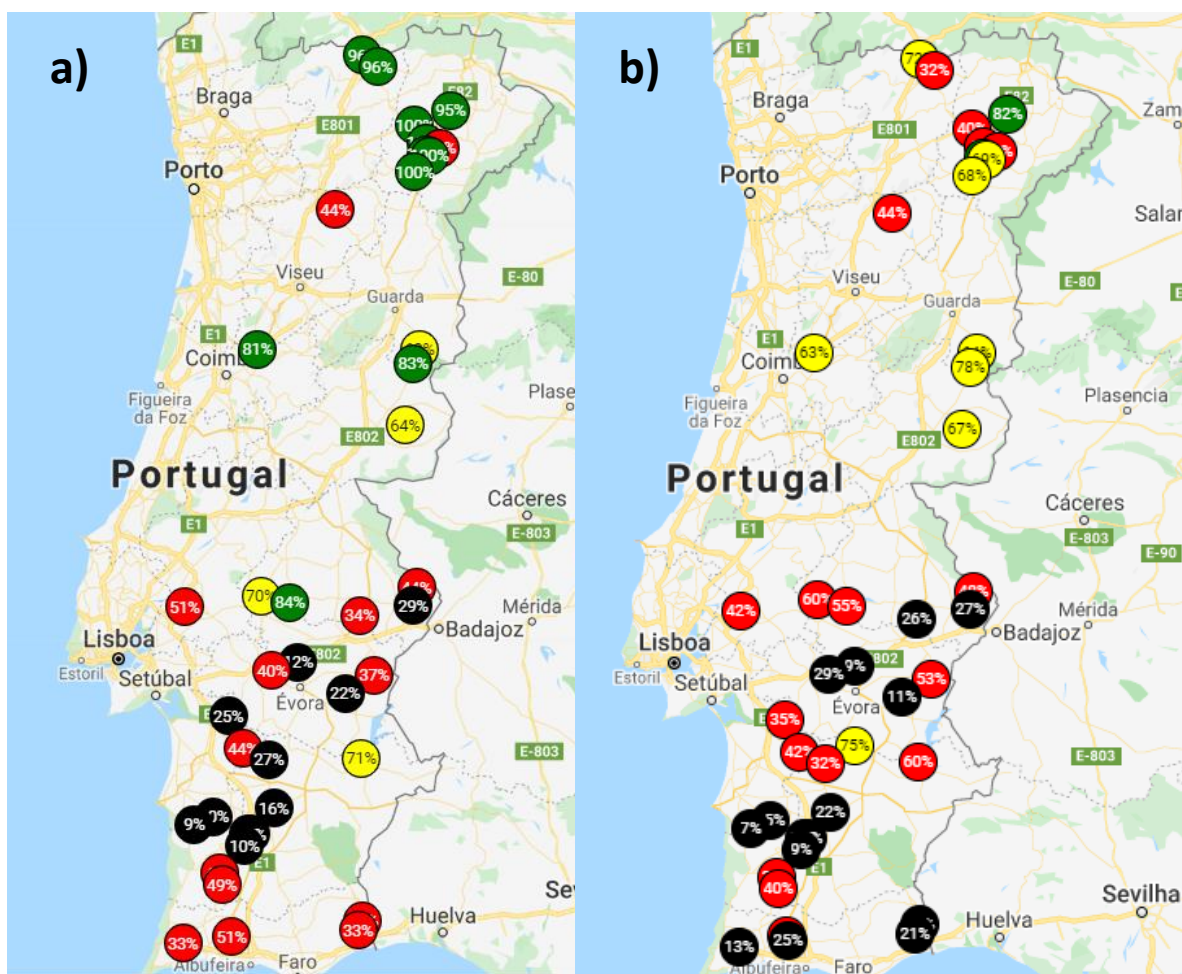


Figura 2. Armazenamento de água (volume total) nas albufeiras hidroagrícolas Portuguesas a 27/12/2019 (a) e 16/10/2020 (b).

2.2. ESTAÇÕES METEOROLÓGICAS

Este módulo apresenta os dados diários das temperaturas máxima, mínima e média do ar, precipitação, humidade relativa, radiação solar e velocidade do vento, medidos na rede de estações meteorológicas que servem a Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia (ARBVS), bem como nas estações da rede do Sistema Nacional de Informação dos Recursos Hídricos (SNIRH) localizadas na área de estudo. Cada estação apresenta depois essas variáveis meteorológicas para os últimos 30 dias em relação à presente data. A plataforma OMEGA está atualmente ligada a 14 estações meteorológicas.

2.3. MODELO METEOROLÓGICO

O módulo de previsão meteorológica apresenta as projeções do modelo MM5 para a bacia hidrográfica do Vale do Sorraia, para os 7 dias seguintes à data presente. As previsões da temperatura média do ar, precipitação, humidade relativa, radiação solar e velocidade do vento são descarregadas daquele modelo com uma resolução de 12 km e apresentadas para múltiplas localizações da bacia sob a forma de estações virtuais.

2.4. MODELO HIDROLÓGICO

Este módulo apresenta os resultados da simulação dos caudais afluentes e das cargas de sedimentos e nutrientes (nitrato e fósforo) às albufeiras de Montargil e do Maranhão com o modelo MOHID-Land (Canuto et al., 2019) (Fig. 3). As simulações são feitas para a presente data e semana seguinte, com base nas previsões do modelo meteorológico.

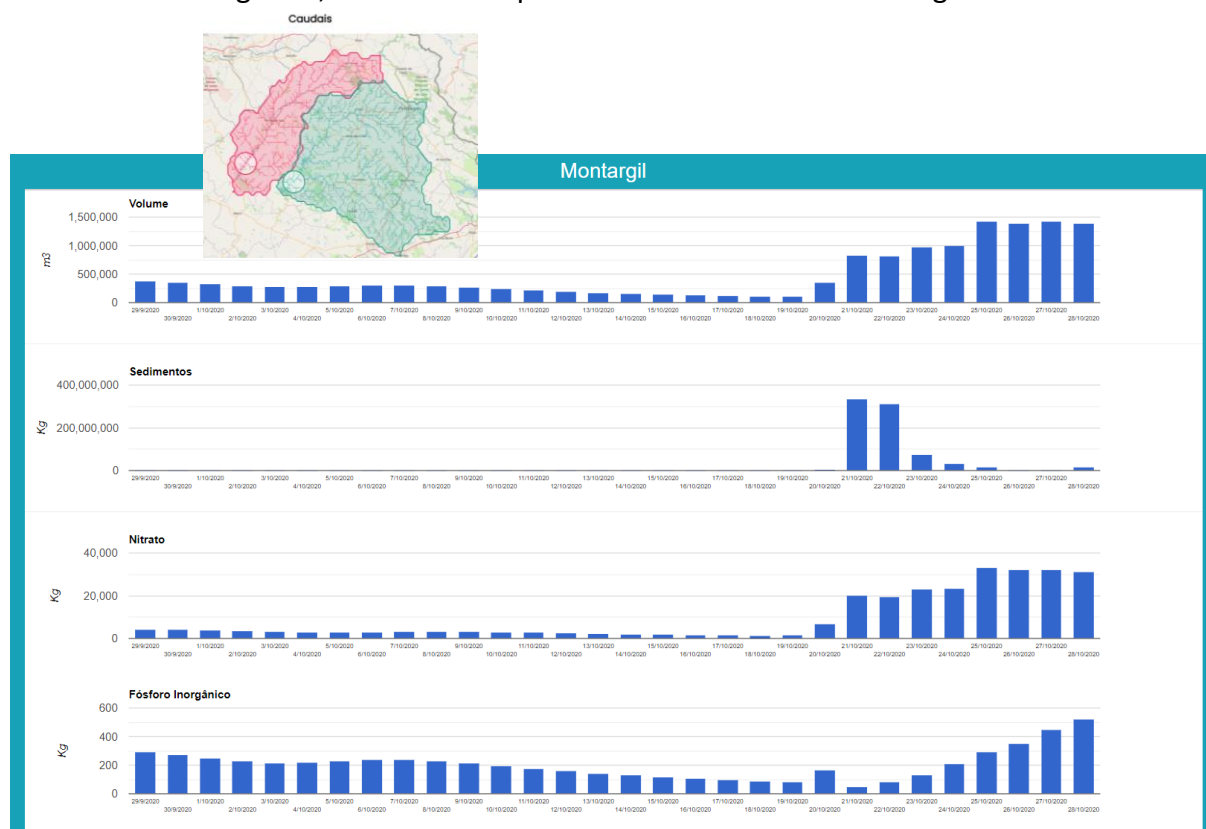


Figura 3. Previsões diárias dos caudais afluentes à albufeira de Montargil durante outubro de 2020.

O modelo MOHID-Land foi implementado, em cada uma das sub bacias, com uma resolução de 1 km. O modelo foi posteriormente calibrado/validado com base nos dados históricos medidos nas estações de Moinho Novo (Montargil) e Ponte Vila Formosa (Maranhão) e disponíveis na rede do SNIRH. O período de calibração abrangeu os anos de 2001-2004, enquanto que o período de 2005-2007 foi usado na validação. O processo de calibração consistiu no ajustamento de diversos parâmetros físicos (por exemplo, número de escoamento, secção dos rios) de forma a minimizar os desvios entre os valores medidos e os

simulados. O processo de validação teve depois por base a comparação dos resultados do modelo, utilizando os parâmetros previamente calibrados, com os dados observados no período respetivo. Foram calculados diversos indicadores estatísticos, nomeadamente o coeficiente de determinação (R^2), a eficiência do modelo de Nash & Sutcliffe (1970), o desvio quadrático médio (RMSE) e o bias percentual (PBIAS) para avaliar a capacidade do modelo em prever os caudais diários e os mensais. As previsões referentes às concentrações de sedimentos e nutrientes foram apenas avaliadas através da comparação das médias dos valores medidos e simulados em cada um dos períodos devido à escassez de dados. A tabela 1 apresenta os parâmetros estatísticos obtidos na calibração/validação dos caudais diários e mensais afluentes às albufeiras de Montargil e do Maranhão. A tabela 2 apresenta as médias de sedimentos e nutrientes medidos e simulados na estação hidrométrica do Moinho Novo.

Tabela 1. Indicadores obtidos na calibração/validação dos caudais simulados com o modelo MOHID-Land.

Parâmetro	Montargil		Maranhão	
	Calibração (2001-2004)	Validação (2005-2007)	Calibração (2001-2004)	Validação (2005-2007)
Dados diários:				
R^2	0.60	0.71	0.40	0.38
NSE	0.56	0.64	0.16	0.37
RMSE ($m^3 s^{-1}$)	5.11	4.43	5.89	9.52
PBIAS (%)	36.19	57.04	-3.58	33.24
Dados mensais:				
R^2	0.81	0.91	0.58	0.89
NSE	0.75	0.78	0.46	0.82
RMSE ($m^3 s^{-1}$)	3.13	3.10	3.13	2.85
PBIAS (%)	31.22	55.05	-3.49	34.94

R^2 , coeficiente de determinação; NSE, eficiência do modelo de Nash & Sutcliffe (1970); RMSE, desvio quadrático médio; PBIAS, bias percentual.

Tabela 2. Valores médios simulados e medidos de sedimentos e nutrientes na estação do Moinho Novo.

	Calibração				Validação		
	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Sedimentos (ton)							
Medidos	1.40E-04	9.30E-05	7.80E-05	3.68E-05	8.38E-06	1.11E-04	1.13E-04
Simulados	8.33E-05	5.39E-05	3.72E-05	8.02E-06	5.47E-06	6.03E-05	2.60E-05
Nitrato ($mg NO_3-N L^{-1}$)							
Medidos	0.883	0.828	1.113	1.127	0.749	1.234	1.041
Simulados	0.868	1.027	1.100	1.443	0.893	1.213	1.465
Fósforo ($mg P L^{-1}$)							
Medidos	0.259	0.331	0.270	0.297	0.965	0.605	0.349
Simulados	0.213	0.246	0.199	0.379	0.318	0.264	0.311

2.5. MODELO DE QUALIDADE DA ÁGUA

O módulo de qualidade de água apresenta as simulações do modelo MOHID-Water para a temperatura da água, oxigénio dissolvido, turbidez e dinâmicas do azoto e fósforo nas

albufeiras de Montargil e do Maranhão. Este modelo está presente a ser calibrado/validado com base nos dados históricos disponíveis na rede do SNIRH. As cargas para as albufeiras são fornecidas pelo modelo hidrológico implementado nas respectivas sub bacias. O modelo MOHID-Water correrá também em modo operacional, com as simulações a serem realizadas diariamente, com base nas informações hidrológica e meteorológica disponíveis. Este módulo será operacionalizado em 2021.

2.6. PREVISÃO DE ÁREAS EM RISCO DE CHEIA

Este é um módulo de alerta para a possibilidade de ocorrência de cheia nas áreas a jusante das albufeiras de Montargil e Maranhão. As áreas situadas nas proximidades do rio Sorraia, a jusante dessas albufeiras, são simuladas com um modelo de alta resolução (50 m) (Fig. 4), enquanto que as restantes áreas da bacia hidrográfica são apenas simuladas com modelos de baixa resolução (1 km). A possibilidade de cheia é depois avaliada a partir das previsões dos vários modelos de baixa resolução, cujos valores de caudal do rio serão usados como descargas pontuais no modelo de alta resolução. Este modelo foi criado através de uma malha sobreposta à linha de água do Rio Sorraia, com um buffer de 2 km para cada margem, com exceção de uma área distinta onde a área inundada pode ser superior à coberta pelo buffer. Devido ao elevado tempo de simulação, o modelo de baixa de baixa resolução corre quando as descargas nos reservatórios de Montargil e Maranhão forem elevadas ou quando os níveis de pluviosidade na bacia hidrográfica sejam significativos. Espera-se a operacionalização deste módulo em 2021.

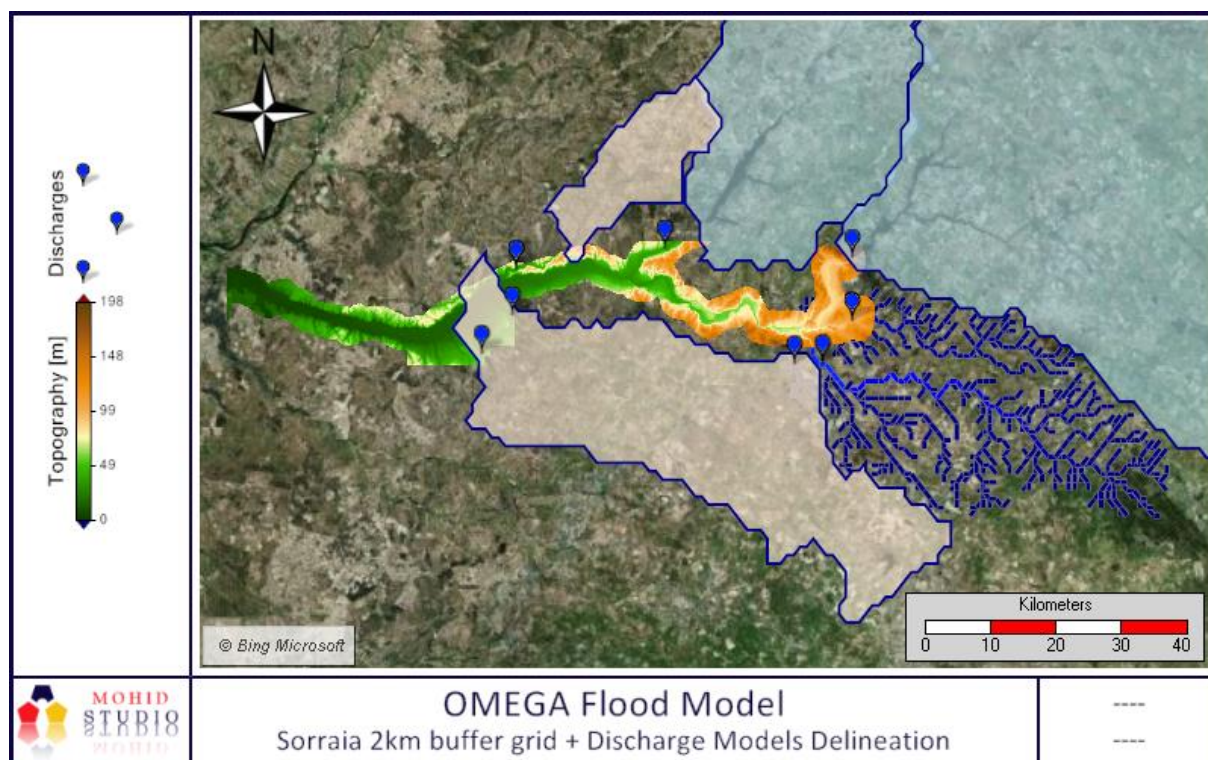


Figura 4. Modelo digital do terreno usado no modelo de alta resolução no módulo de previsão de cheias.

2.7. INFORMAÇÃO DE SATÉLITE

Este módulo permite estimar as cotas de armazenamento e os volumes totais armazenados nas albufeiras de Montargil e do Maranhão a partir de imagens do satélite Sentinel 2 (resolução de 10 m) e do índice NDWI (Normalized Difference Water Index):

$$NDWI = (B3 - B8)/(B3 + B8) \quad (1)$$

onde B3 e B8 são as bandas espectrais no verde (560 nm) e infravermelho (842 nm), respectivamente. A área é considerada coberta de água quando o NDWI é superior a 0.3. A área inundada é assim calculada, sendo também estimada a cota da superfície da água armazenada, bem como do volume total armazenado, a partir das seguintes relações lineares, obtidas para a albufeira de Montargil:

$$Cota (m) = 0.0107 \text{ Área inundada (ha)} + 63.168 \quad R^2=0.996 \quad (2)$$

$$Volume (\times 10^6 m^3) = 0.1235 \text{ Área inundada (ha)} - 39.268 \quad R^2=0.988 \quad (3)$$

e para a albufeira do Maranhão:

$$Cota (m) = 0.0136 \text{ Área inundada (ha)} + 109.55 \quad R^2=0.993 \quad (4)$$

$$Volume (\times 10^6 m^3) = 0.1235 \text{ Área inundada (ha)} - 10.261 \quad R^2=0.988 \quad (5)$$

A figura 5 apresenta as áreas inundadas, cotas de armazenamento e volumes totais armazenados nas albufeiras de Montargil e do Maranhão, calculados a partir das imagens de satélite obtidas na passagem de Sentinel-2 no dia 6/10/2020.

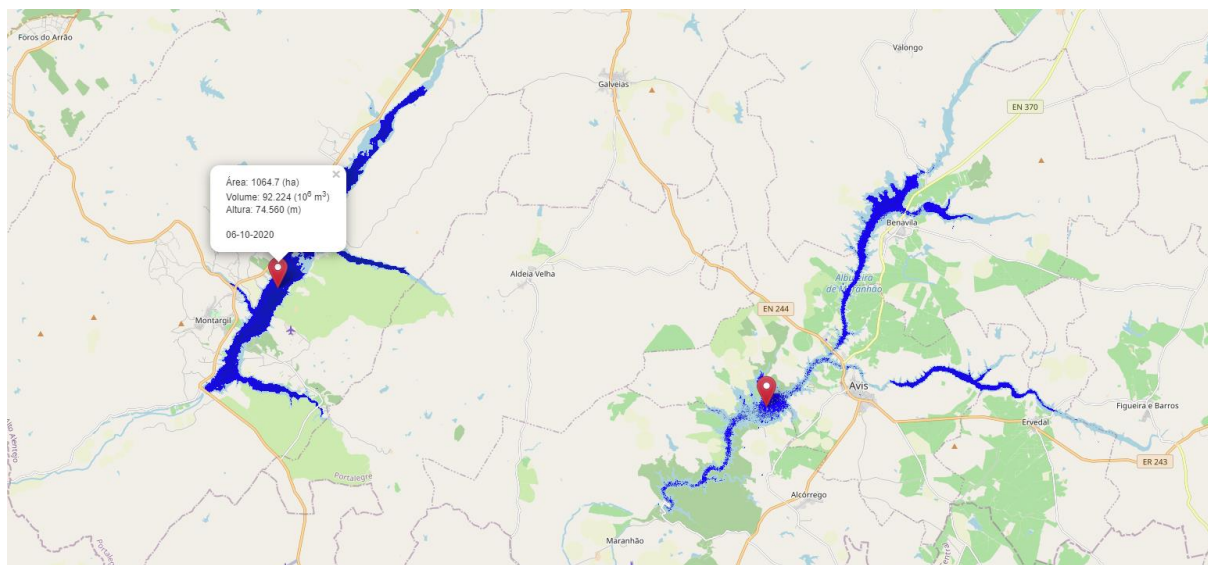


Figura 5. Módulo com as estimativas das cotas e volumes totais armazenados nas albufeiras de Montargil e do Maranhão com recurso a imagens de satélite.

2.8. RELAÇÃO COTA/ÁREAS INUNDADA

Este módulo dá a conhecer, com detalhe, a área inundada em cada uma das albufeiras caso de estudo em função da cota do nível da água. Para cada uma das albufeiras, o utilizador pode alterar, deslocando a barra colocada no canto superior direito, a cota de armazenamento e assim visualizar a respetiva área inundada (Fig. 6). O nível da água é apresentado, para cada

metro de variação de cota, desde o nível de pleno armazenamento ao nível mínimo de exploração.

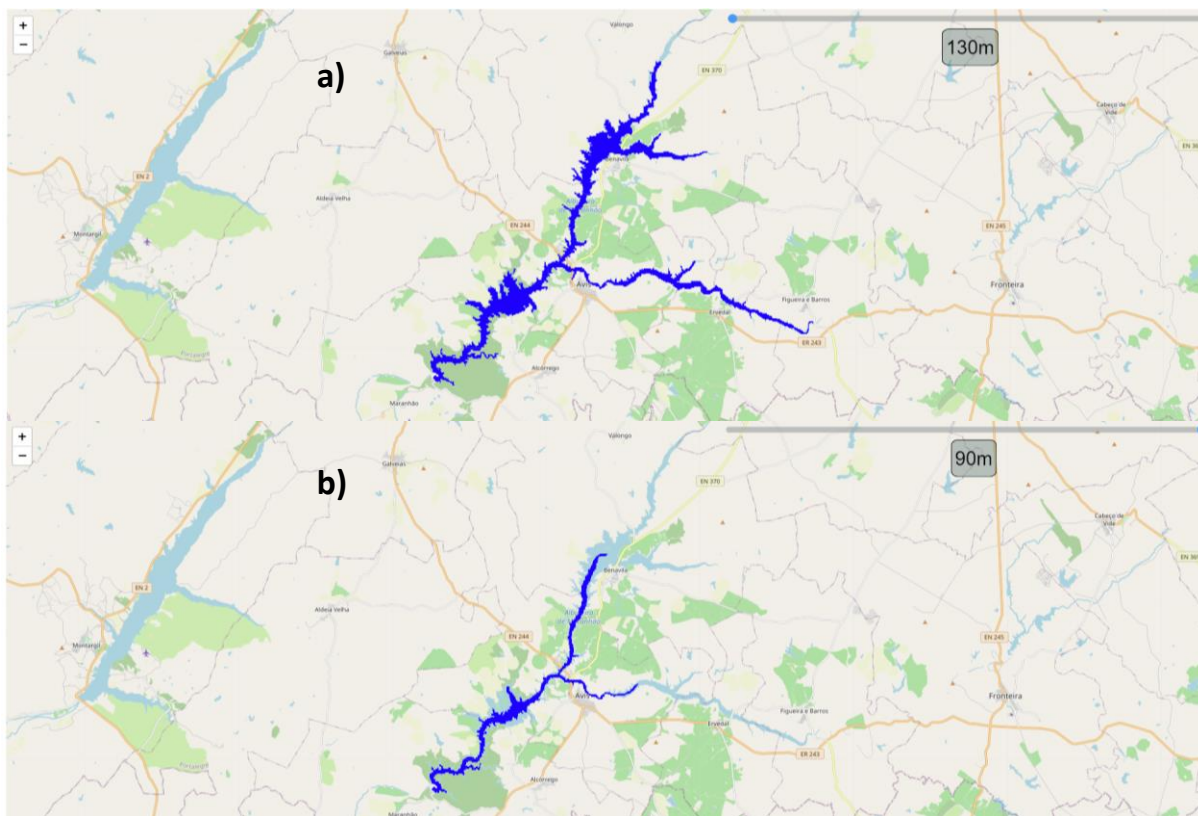


Figura 6. Área inundada (a azul escuro) da albufeira do Maranhão à cota correspondente ao nível de pleno armazenamento (a) e um pouco acima do nível mínimo de exploração (b).

2.9. SISTEMA DE APOIO À DECISÃO NA REGA

Este módulo acede ao sistema IrrigaSys, que integra diferentes ferramentas “online” de apoio à gestão da rega (Fig. 7). Este sistema tem sido desenvolvido ao longo dos últimos 5 anos, prestando regularmente apoio à gestão da rega a cerca de 103 parcelas, de 30 agricultores, do perímetro de rega do Vale do Sorraia, Ribatejo, Portugal. Os dados necessários para correr o sistema são mínimos e incluem a localização da parcela, a cultura a regar, as datas de sementeira e de colheita, a textura do solo, o método de rega e as dotações diárias ou semanais efetivamente aplicadas em cada parcela. Com base nesta informação, o sistema descarrega automaticamente os dados meteorológicos da estação mais próxima, bem como as respectivas previsões para os 7 dias seguintes. Em seguida, procede ao cálculo do balanço da água no solo e das necessidades de rega com o modelo MOHID-Land. Os resultados são depois disponibilizados através da interface Web, numa aplicação para telemóvel, por SMS e por email. No relatório fornecido ao agricultor são apresentados os resultados do balanço de água do solo, o calendário de rega recomendado e um mapa atualizado da parcela com um índice vegetativo (Normalized difference vegetation index, NDVI). A descrição completa do sistema pode ser encontrada em Simionesei et al. (2020).

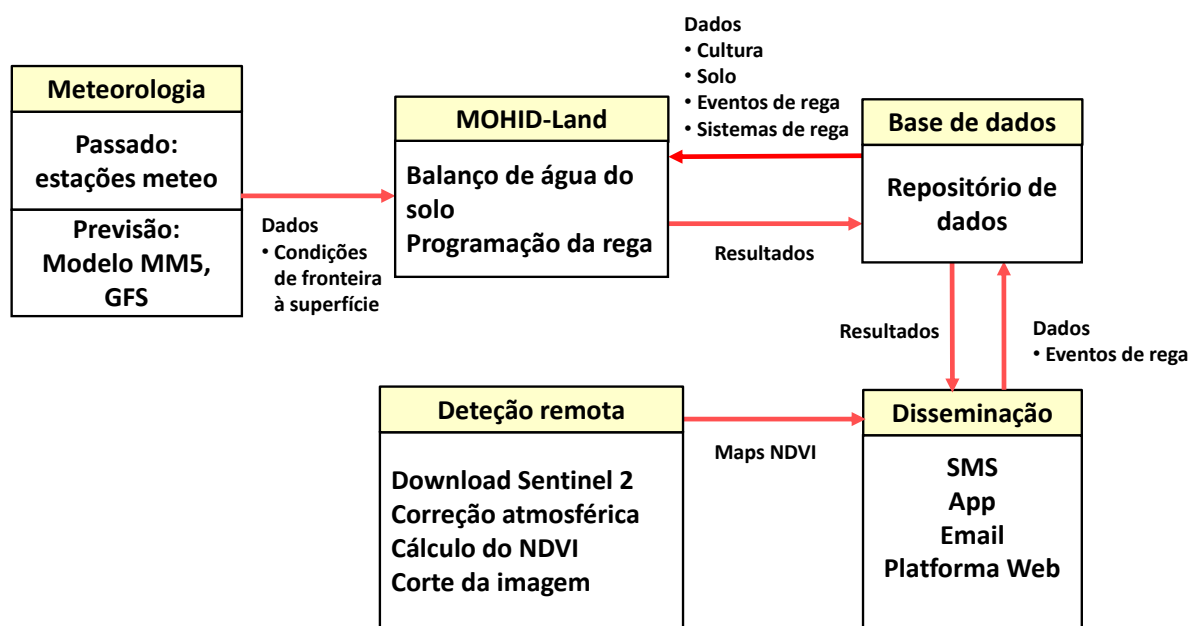


Figura 7. Esquema conceptual do funcionamento do sistema de apoio à decisão IrrigaSys.

3. CONCLUSÕES

A plataforma OMEGA inclui uma série de ferramentas operacionais que podem ser usadas para otimizar a gestão das albufeiras hidroagrícolas em Portugal, permitindo gerir melhor os volumes disponíveis e respectiva qualidade da água armazenada. A bacia hidrográfica do Rio Sorraia e as albufeiras de Montargil e do Maranhão servem de caso de estudo, mas todas as ferramentas aqui desenvolvidas podem ser facilmente aplicadas às restantes albufeiras hidroagrícolas portuguesas. A plataforma OMEGA está em contínuo desenvolvimento, mas está também aberta à inclusão de módulos adicionais, como sejam, por exemplo, a publicação de mapas de evapotranspiração real à escala da bacia hidrográfica.

4. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado no âmbito dos Grupo Operacional OMEGA – Otimização da gestão de albufeiras (PDR2020-101-032024), financiado pelo Programa de Desenvolvimento Rural 2020, que decorre entre janeiro de 2018 e junho de 2021. T.B. Ramos foi financiado pelo contrato CEECIND/01152/2017.

BIBLIOGRAFIA

- Canuto, N., Ramos, T.B., Oliveira, A.R., Simionesei, L., Basso, M., Neves, R., 2019. Influence of reservoir management on Guadiana streamflow regime. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 25, 100628. <https://doi.org/10.1016/j.ejrh.2019.100628>
- Nash, J.E., Sutcliffe, J.V., 1970. River flow forecasting through conceptual models: part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology* 10 (3), 282–290.

Simionesei, L., Ramos, T.B., Palma, J., Oliveira, A.R., Neves, R., 2020. IrrigaSys: A web-based irrigation decision support system based on open source data and technology. *Computers and Electronics in Agriculture* 178, 105822, <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105822>