



# Modelação da rega deficitária em vinha com o MOHID-Land

L. Simionesei<sup>1</sup>, T.B. Ramos<sup>1</sup>, Ana R. Oliveira<sup>1</sup>, N. Grosso<sup>2</sup>, D. Petit<sup>3</sup>, R. Neves<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MARETEC, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Av. Rovisco Pais 1, 1049-001 Lisboa, Portugal; lucian.simionesei@tecnico.ulisboa.pt

<sup>2</sup> DEIMOS Engenharia SA, Avenida Dom João II, Nº 41, 10, 1998-023 Lisboa.

<sup>3</sup> DEIMOS Space UK Ltd., Building R103, Fermi Ave OX11 0QR, Reino Unido.

**Resumo:** A modelação do balanço de água no solo desempenha hoje um papel fundamental ao nível da otimização das práticas de rega, ajudando a definir, com rigor, os calendários de rega em função das necessidades hídricas das culturas, das propriedades hidráulicas do solo e das características dos equipamentos. No entanto, para tal, é necessário que o modelo seja previamente calibrado e validado para que as suas previsões sejam confiáveis. Este trabalho tem como objectivo simular a dinâmica da água do solo numa vinha regada na região do Ribatejo, sul de Portugal. Durante dois anos (2017-2018), procedeu-se à monitorização das dotações aplicadas, do teor de água no solo a diferentes profundidades até 0.80 m e do desenvolvimento vegetativo da vinha a partir de imagens de satélite. A calibração/validação das simulações do teor de água no solo produziram uma raiz do quadrado médio dos resíduos entre 0.029 e 0.033 m<sup>3</sup> m<sup>-3</sup> e uma eficiência do modelo entre 0.425 e 0.706. O desempenho do MOHID-Land foi considerado, portanto, bastante aceitável, servindo este trabalho de referência ao sistema de apoio à decisão IrrigaSys, que serve diversos regantes na região, com recomendações semanais de quanto e quando regar.

**Palavras-chave:** Teor de água no solo, modelação, deteção remota, gestão da rega.

## 1. Introdução

Outrora considerada uma cultura de sequeiro, a rega da vinha é hoje indispensável para colmatar as necessidades hídricas das plantas, nomeadamente nas suas fases mais sensíveis, como são os períodos de pré-maturação e maturação da uva, com melhoria acrescida na quantidade e qualidade da uva produzida [1]. Na condução da rega são geralmente adotadas estratégias deficitárias tendo em conta a maior tolerância de determinadas fases do desenvolvimento da cultura ao stress hídrico, promovendo o desenvolvimento de um maior número de frutos bem como dos seus teores de açúcar e compostos fenólicos, mas que dependem fundamentalmente das características do produto a atingir [2].

Por outro lado, uma gestão eficiente da rega requer a monitorização detalhada do balanço da água do solo. Os modelos mecanísticos como o MOHID-Land [3] são hoje usados em diversos sistemas de apoio à decisão à rega [4, 5], complementado a informação dada pelos sensores de humidade, com o objectivo de aumentar a eficiência do uso da água. Porém, estes modelos são mais complexos que os modelos semi-empíricos usados tradicionalmente na gestão da rega, sendo dinâmica da água no solo descrita através da equação de Richards. É fundamental, portanto, o conhecimento detalhado das propriedades hidráulicas do solo, nomeadamente, a curva de retenção de água no solo ( $\theta(h)$ ) e a curva da condutividade hidráulica ( $K(h)$ ), o que nem sempre é possível. Por essa razão, é imperativo que estes modelos

sejam sujeitos previamente a um processo de calibração e validação para que as suas previsões sejam confiáveis.

Neste trabalho, descreve-se uma aplicação do modelo MOHID-Land para o cálculo do balanço de água no solo de uma vinha regada na região do Ribatejo. Os resultados do processo de calibração serão depois usados no sistema IrrigaSys [5] para apoio à rega na vinha, na região.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1. Descrição da área de estudo

Este estudo foi realizado na vinha da Adega do Catapereiro, Companhia das Lezírias, Samora Correia, Portugal (38.808044° N, 8.899858° W) entre Janeiro de 2017 e Outubro de 2018. O clima na região está classificado como sub-húmido seco, com verões quentes e secos e invernos suaves com chuvas irregulares. A temperatura média anual é de 16.8°C, enquanto que a precipitação média anual chega aos 669 mm, concentrada sobretudo entre os meses de Outubro e Abril. O solo está classificado como Fluvisolo Háplico [6], de textura franco-arenosa.

A parcela objeto de estudo, a “vinha do mel”, ocupa cerca de 14 ha num total de 130 ha cobertos por vinha. A “vinha do mel” apresenta um compasso de 2.8 m na entrelinha por 1.0 m na linha, sendo regada por um sistema gota-a-gota. As práticas de gestão, incluindo a fertilização e a rega, foram realizadas de acordo com as práticas seguidas pela Companhia das Lezírias. Durante 2017, a dotação de rega aplicada totalizou 358 mm, enquanto que a precipitação líquida perfez 527 mm. Durante 2018, a dotação de rega somou 242 mm, enquanto que a precipitação líquida chegou aos 370 mm. A dotação aplicada por evento de rega variou entre os 3 e os 5 mm.

O teor de água no solo foi medido continuamente, às profundidades de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70 e 80 cm, através de duas sondas de capacitância EnviroPro MT (MAIT Industries, Austrália). A dotação aplicada em cada evento foi monitorizada com um caudalímetro instalado no tubo de rega. A informação meteorológica foi obtida a partir da estação da Figueirinha localizada nas proximidades e incluiu os valores horários da precipitação (mm), temperatura do ar (°C), radiação global (W m<sup>-2</sup>), humidade relativa (%) e velocidade do vento (m s<sup>-1</sup>). O índice de área foliar (LAI, m<sup>2</sup> m<sup>-2</sup>) foi monitorizado a partir de imagens do satélite Landsat 8. Em 2017, foram extraídas 16 imagens entre os meses de Janeiro e Novembro em que a cobertura com nuvens era inferior a 10%. Em 2018, foram apenas extraídas 10 imagens. Os valores de reflectância de cada imagem foram primeiramente corrigidos para eliminação do efeito da atmosfera e em função do ângulo solar. O LAI foi depois obtido através da seguinte função [7]:

$$LAI = -\frac{1}{a_2} \ln \left( \frac{a_0 - SAVI}{a_1} \right) \quad (1)$$

onde SAVI corresponde ao “Soil Adjusted Vegetation Index” dado por:

$$SAVI = \frac{(\rho_{850} - \rho_{650}) * 1.5}{\rho_{850} + \rho_{650} + 0.5} \quad (2)$$

e  $a_0=0.82$ ,  $a_1=0.82$ ,  $a_2=0.6$  são parâmetros empíricos.

### 2.2. O Modelo MOHID-Land

O MOHID-Land é um modelo físico, distribuído, onde os fluxos de água em condições não saturadas são calculados, usando um método de volumes finitos, através da equação de Richards:

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(h) \frac{\partial h}{\partial z} - K(h) \right] - S(z, t) \quad (3)$$

em que  $\theta$  é o teor volumétrico de água no solo (L<sup>3</sup> L<sup>-3</sup>),  $t$  é o tempo (T),  $z$  é a coordenada espacial vertical (L),  $h$  é a pressão efectiva de água no solo (L),  $K$  é a condutividade hidráulica (L T<sup>-1</sup>) e  $S$  é o termo usado para contabilizar a água do solo extraída pelas raízes das plantas (L<sup>3</sup> L<sup>-3</sup> T<sup>-1</sup>). As

propriedades hidráulicas do solo, necessárias à resolução da equação anterior, são descritas pelas equações de Mualem-van Genuchten [8]:

$$S_e(h) = \frac{\theta(h) - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} = \frac{1}{(1 + |\alpha h|^\eta)^m} \quad (4)$$

$$K(h) = K_s S_e^\ell \left[ 1 - (1 - S_e^{1/m})^m \right]^2 \quad (5)$$

em que  $S_e$  é a saturação efectiva ( $L^3 L^{-3}$ ),  $\theta_r$  e  $\theta_s$  correspondem ao teor de água residual e na saturação, respectivamente ( $L^3 L^{-3}$ ),  $\alpha$  ( $L^{-1}$ ) e  $\eta$  (-) são parâmetros empíricos,  $m=1-1/\eta$ , e  $\ell$  é um parâmetro empírico relacionado com a conectividade/tortuosidade do meio poroso.

O termo  $S$ , introduzido na Eq. (1) para contabilizar a extracção de água do solo pelas raízes das plantas, é calculado segundo uma abordagem macroscópica [9], em que a transpiração potencial ( $T_p$ ,  $L T^{-1}$ ) é distribuída linearmente pela zona radical através da função  $T_p(z)$  e pode ser diminuída pela ocorrência de condições de stress, nomeadamente o stress hídrico. Para tal, a evapotranspiração cultural ( $ET_c$ ,  $L T^{-1}$ ) é primeiro obtida pelo produto da evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ,  $L T^{-1}$ ) e o respetivo coeficiente cultural ( $K_c$ ) [10] e depois fracionada em  $T_p$  e evaporação potencial ( $E_p$ ,  $L T^{-1}$ ) em função do LAI [11]:

$$T_p = ET_c (1 - e^{(-\lambda LAI)}) \quad (6)$$

$$E_p = ET_c - T_p \quad (7)$$

em que  $\lambda$  é o coeficiente de extinção da atenuação da radiação dentro da canópia das plantas (-). A transpiração real ( $T_a$ ,  $L T^{-1}$ ) é obtida através da integração da função  $T_p(z)$  e limitada, de acordo com o modelo proposto por Feddes et al. [9], pela resposta da planta a diferentes condições de  $h$ . Este modelo considera que a extração de água pelas plantas iguala as condições potenciais entre as pressões efetivas  $h_2$  e  $h_3$ , decrescendo linearmente quando  $h > h_2$  e  $h < h_3$  ou tornando-se nula quando  $h < h_4$  ou  $h > h_1$  (números subscritos de 1 a 4 correspondem a diferentes limites de pressão efectiva de água no solo). Já a evaporação real ( $E_a$ ,  $L T^{-1}$ ) é obtida através da limitação da  $E_p$  a um determinado potencial mátrico [12].

O LAI evolui ao longo do ciclo da cultura e depende das unidades de calor necessárias para a planta atingir a maturidade (PHU) e das condições de stress a que as plantas estão sujeitas [13]. Durante as fases iniciais de desenvolvimento da cultura (fase inicial e fase de desenvolvimento rápido), o aumento diário do LAI é função da fração do LAI máximo da planta ( $LAI_{max}$ ,  $m^2 m^{-2}$ ) que, em condições potenciais, será atingida durante essa fase ( $frLAI_{max, ini}$ ) e das condições de stress. Durante a fase média de desenvolvimento, o LAI é considerado constante, enquanto que na fase de senescência, o LAI diminui em função do  $LAI_{max}$ , das PHU e do stress da cultura.

### 2.3. Implementação, calibração e validação do modelo

A simulação decorreu de Janeiro de 2017 a Outubro de 2018. O perfil do solo foi definido com 2 m de profundidade, dividido em 2 camadas de solo de acordo com os limites apresentados na Tabela 1. O domínio da simulação foi representado por uma coluna vertical discretizada em 20 células, cada uma delas com 1 m de largura, 1 m de comprimento e espessura variável (0.05 m na célula superior a 0.3 m na inferior). A condição de fronteira superior foi definida pela  $E_p$  e  $T_p$  e pelos fluxos de rega e precipitação. Os valores de  $ET_c$  foram calculados através do produto dos valores da  $ET_o$  pelos respectivos  $K_c$  em cada fase de desenvolvimento da cultura. Foram assim considerados valores de  $K_c$  de 0.3, 0.7 e 0.45 para as fases inicial, média e final do desenvolvimento da cultura, respectivamente. Estes valores foram retirados de Allen et al. [10] e correspondem aos valores padrão de  $K_c$  para a vinha nas regiões de clima Mediterrânico. O valor  $K_c$  para a fase inicial foi depois ajustado para a frequência dos eventos de precipitação e dotação da rega, enquanto os valores de  $K_c$  para as fases média e final da cultura foram ajustados para as condições climáticas locais (velocidade do vento e humidade relativa médias) e altura das plantas [10]. A

condição de fronteira inferior foi definida como drenagem livre. As reduções na extração de água pelas raízes foram calculadas considerando os seguintes parâmetros:  $h_1 = -10$ ,  $h_2 = -25$ ,  $h_3 = -1000$ ,  $h_4 = -18000$  cm [14].

**Tabela 1.** Parâmetros hidráulicos do solo.

Profundidade (m)	0-0.25	0.25-0.45
Teor de água residual $\theta_r$ ( $m^3 m^{-3}$ )	0.065	0.065
Teor de água na saturação $\theta_s$ ( $m^3 m^{-3}$ )	0.500	0.450
Parâmetro empírico $\alpha$ ( $m^{-1}$ )	38	25
Parâmetro empírico $\eta$ (-)	1.35	1.35
Parâmetro da conectividade/tortuosidade do meio poroso $\ell$ (-)	-1	-1
Condutividade hidráulica saturada $K_s$ ( $m s^{-1}$ )	$8.23E^{-05}$	$3.23E^{-05}$

A calibração e validação do modelo foram realizadas durante os anos de 2017 e 2018, respectivamente, seguindo o procedimento descrito em Ramos et al. [4]. As propriedades hidráulicas do solo (Tabela 1) e os parâmetros da cultura (Tabela 2) foram assim ajustados por tentativa e erro de modo a diminuir os desvios entre as simulações do modelo e os valores observados do teor de água no solo e LAI. Primeiro, os parâmetros hidráulicos do solo foram definidos de acordo com os valores médios propostos por Carsel e Parish [15] para cada classe de textura do solo. Os parâmetros  $\theta_s$ ,  $\alpha$ ,  $\eta$  e  $K_s$  foram então modificados de modo a reduzir o desvio entre os teores de água no solo observados e os simulados. O parâmetro  $\theta_r$  não foi modificado dada a sua pouca influência nas simulações do teor de água no solo. O parâmetro  $\ell$  foi definido como -1.0, conforme o proposto por Schaap & Leij [16]. Os parâmetros da cultura foram, em seguida, ajustados, a partir dos valores padrão do modelo para a vinha [13], até que o desvio entre os LAI simulados e os obtidos por detecção remota fosse minimizado. Os parâmetros calibrados foram então validados durante o ano de 2018.

**Tabela 2.** Parâmetros do desenvolvimento da cultura.

Parâmetro	Valor
Temperatura ótima para o crescimento das plantas, $T_{opt}$ ( $^{\circ}C$ )	20.0
Temperatura mínima para o crescimento das plantas, $T_{base}$ ( $^{\circ}C$ )	11.0
Eficiência do uso da radiação da cultura, RUE [ $(kg ha^{-1}) (MJ m^{-2})^{-1}$ ]	30
Unidades de calor totais para a planta atingir a maturidade, PHU ( $^{\circ}C$ )	2800
Fração das PHU no fim da fase 1 (fase inicial da cultura), $fr_{PHU,init}$ (-)	0.05
Fração das PHU no fim da fase 2 (fase de crescimento rápido), $fr_{PHU,dev}$ (-)	0.10
Fração das PHU para o início do declínio do LAI, $fr_{PHU,sen}$ (-)	0.20
Índice de Área Foliar máximo, $LAI_{max}$ ( $m^2 m^{-2}$ )	1.1
Índice de Área Foliar na fase de dormência, $LAI_{dorm}$ ( $m^2 m^{-2}$ )	0.5
Fração do $LAI_{max}$ no fim da fase 1 (fase inicial da cultura), $fr_{LAI_{max},ini}$ (-)	0.35
Fração do $LAI_{max}$ no fim da fase 2 (fase de crescimento rápido), $fr_{LAI_{max},dev}$ (-)	0.55
Altura da planta máxima, $h_{c,max}$ (m)	1.5
Profundidade máxima das raízes, $Z_{root,max}$ (m)	0.8
Coefficiente de radiação líquida (-)	0.463
Coefficiente de radiação fotossinteticamente ativa (-)	0.650

#### 2.4. Indicadores estatísticos

Os indicadores estatísticos adotados para comparar os resultados das simulações do MOHID-Land com os valores observados do teor de água no solo e LAI foram: o erro médio (EM); a raiz do quadrado médio dos resíduos (RMSE); a RMSE normalizada (NRMSE); e a

eficiência do modelo (EF). Os valores de ME próximos de zero indicam ausência de desvio. Os valores de RMSE e NRMSE próximos de zero indicam pequenos erros de estimativa e boas previsões de modelos [17, 18]. Valores de EF próximos de um indicam que a variância dos resíduos é muito menor do que a variância dos dados observados, portanto, as previsões do modelo são boas. Pelo contrário, quando a EF está muito próxima de zero ou negativa, não há ganho no uso do modelo [19].

### 3. Resultados e discussão

#### 3.1. Teor de água no solo

A Figura 1 apresenta as medições do teor de água no solo às profundidades entre os 10 e os 80 cm e compara esses valores com as simulações do modelo MOHID-Land durante os anos de 2017 e 2018. Os eventos de precipitação, mais do que a rega, provocaram geralmente um rápido aumento do teor de água no solo nas camadas superficiais, diminuindo depois gradualmente devido à redistribuição da água, à extracção de água pelas plantas e à evaporação do solo. Nas camadas mais profundas, o efeito da rega também foi pouco notório, com os teores de água no solo a variarem pouco e sobretudo com a precipitação, mas menos que nas camadas mais à superfície.

A Tabela 3 apresenta os indicadores estatísticos obtidos após a comparação dos valores medidos e simulados pelo modelo. Durante a calibração (2017), o erro das estimativas foi relativamente pequeno, produzindo um RMSE de  $0.033 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$  e um NRMSE de 0.016. O modelo sobestimou os valores observados em 11.25%, enquanto que a EF foi aceitável (0.425). Para o período de validação (2018), os erros das estimativas mantiveram-se na mesma ordem de grandeza dos obtidos durante a calibração do modelo (RMSE =  $0.029 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$ ; NRMSE = 0.012), o modelo subestimou os dados observados em 3.25%, enquanto que a EF aumentou consideravelmente (EF = 0.706). Considerou-se, assim, que o modelo MOHID-Land conseguiu reproduzir com sucesso os valores do teor de água no solo observados na rega da vinha durante dois anos, apresentando indicadores estatísticos semelhantes aos obtidos noutras aplicações do mesmo género [4, 20, 21].

**Tabela 3.** Indicadores estatísticos durante a calibração (2017) e validação (2018) do modelo.

Indicador	Teor de água no solo		Índice de Área Foliar	
	2017	2018	2017	2018
R <sup>2</sup>	0.800	0.853	0.846	0.896
RMSE	0.033	0.029	0.139	0.125
NRMSE	0.016	0.012	0.206	0.210
PBIAS (%)	-11.25	3.25	-4.22	7.10
NSE	0.425	0.706	0.365	0.602

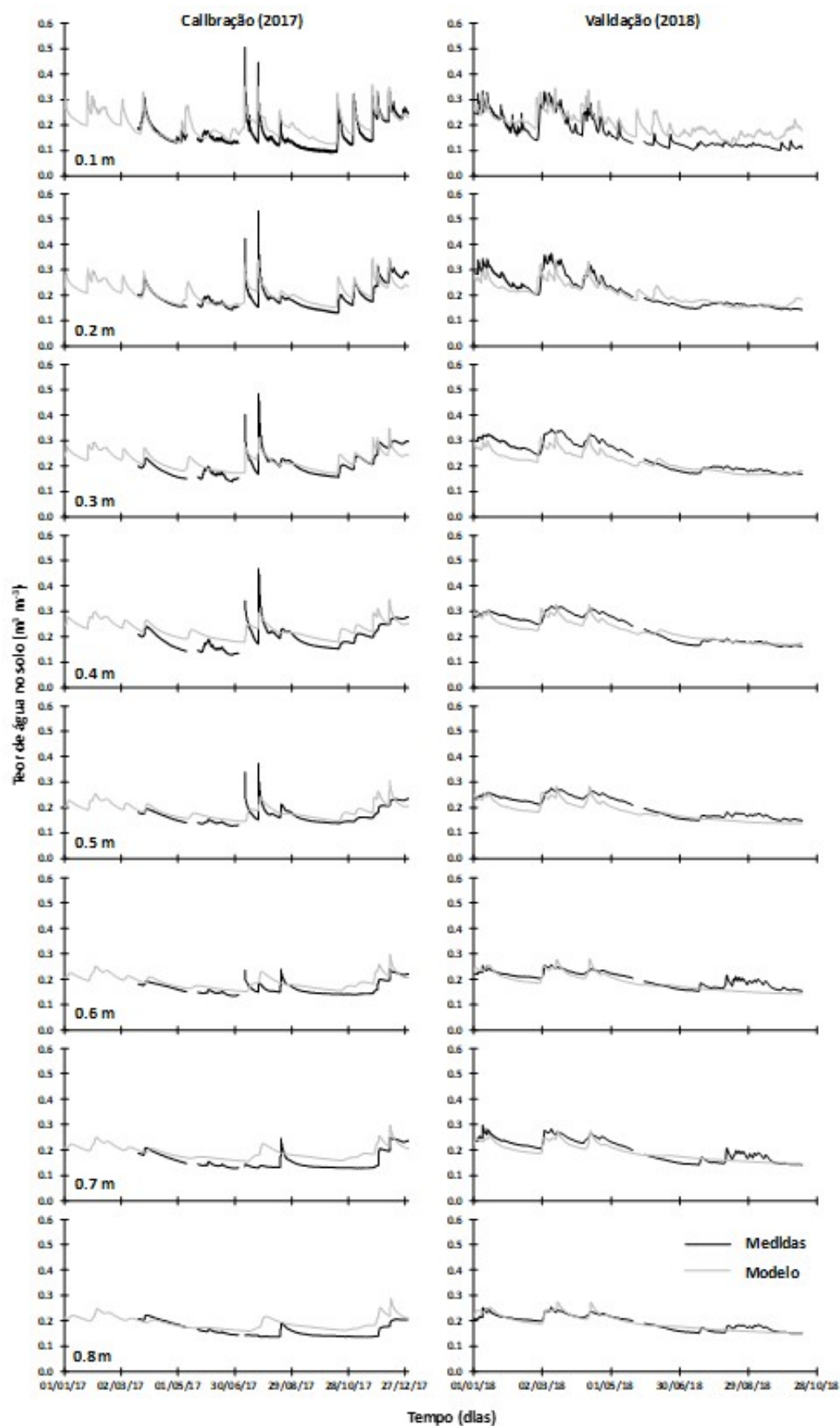
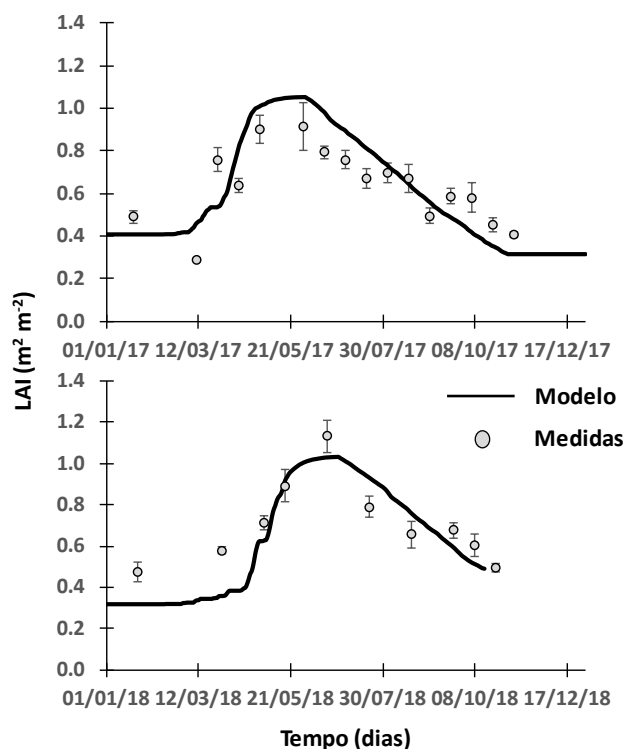


Figura 1. Evolução do teor de água no solo.

### 3.2. Evolução do índice de área foliar

No modelo MOHID-Land, a partição da  $ET_c$  em  $T_p$  e  $E_p$  é feita em função do LAI, pelo que a sua avaliação deve ser o mais correta possível para garantir que as estimativas do balanço de água no solo sejam confiáveis. Segundo os valores derivados a partir das imagens de satélite, o LAI da cultura começou a aumentar a partir de Março/Abril, atingindo um máximo de cerca de 1.0-1.2  $m^2 m^{-2}$  no final de Maio, princípio de Junho. A partir daí, os valores de LAI descenderam gradualmente até à perda total das folhas em Outubro/Novembro. Durante a calibração (2017), o RMSE e o NRMSE obtidos por comparação dos valores simulados com os obtidos por detecção remota foram de 0.139  $m^2 m^{-2}$  e 0.206, respectivamente (Tabela 3). O modelo sobrestimou o LAI em 4.22%, enquanto a EF foi de 0.365. Durante a validação (2018), o RMSE foi de 0.125  $m^2 m^{-2}$ , o NRMSE foi de 0.210, o PBIAS foi de 7.098% revelando alguma subestimação dos valores obtidos por detecção remota e a EF foi de 0.602. O ajustamento do modelo foi, portanto, aceitável, embora os indicadores estatísticos sejam inferiores ao obtidos por Ramos et al. [4, 20] para a cultura do milho. Neste caso, os valores de LAI foram medidos diretamente no campo e não derivados das imagens de satélite, o que poderá justificar o pior ajustamento aqui conseguido.



**Figura 2.** Evolução do Índice de Área Foliar (LAI).

### 3.3. Balanço de água no solo

A Tabela 4 apresenta o balanço hídrico para 2017 e 2018, anos em que a  $T_a$  somou 166 e 112 mm, respectivamente. O stress hídrico, dado por  $1 - T_a/T_p$ , variou entre 5 e 8% durante os meses de rega (Abril a Outubro), tratando-se portanto de um défice imposto bastante moderado. Por outro lado, os valores de  $E_a$  totalizaram 453 e 295 mm durante os anos de 2017 e 2018, respectivamente. Estes valores podem ser considerados como bastante altos, sendo em parte explicados pelo facto de que a evaporação do solo pode representar uma fração importante da  $ET_c$  nas culturas permanentes, onde uma grande fração da superfície do solo é exposta à radiação solar [22, 23]. Por outro lado, no MOHID-Land, a  $E_a$  é calculada a partir de uma pressão limite de água no solo, imposta aos valores de  $E_p$ . Trata-se, portanto, de uma versão

simplificada, baseada no método de duas fases, usado por Allen et al. [10] para o cálculo da  $E_a$ , o que poderá também dar origem a alguma sobrestimação desta componente do balanço hídrico. A Tabela 4 apresenta também valores bastante elevados de percolação, totalizando 287 e 330 mm, respectivamente, obtidos fundamentalmente durante os períodos que sucederam aos eventos de precipitação.

**Tabela 4.** Balanço de água no solo.

Componentes (mm)	2017	2018
Entradas:		
Precipitação	527	370
Rega	358	242
Ascensão capilar	0	0
$\Delta$ armazenamento	21	125
Saídas:		
Escoamento Superficial	0	0
Evaporação real	453	295
Transpiração real	166	112
Percolação	287	330

#### 4. Conclusões

O modelo MOHID-Land conseguiu reproduzir com sucesso os valores medidos do teor de água no solo ao longo dos anos de 2017 e 2018. Os valores reais da transpiração na vinha variaram entre 112 e 166 mm, com a rega aplicada a induzir um stress hídrico entre 5 e 8%. Já os valores da evaporação real totalizaram 453 e 295 mm nos anos de 2017 e 2018, podendo estar algo sobrestimados dada a formulação simplificada do modelo no cálculo deste parâmetro. No entanto, no geral, o desempenho do MOHID-Land na modelação da dinâmica da água no solo numa cultura permanente como a vinha pode ser considerado bastante aceitável, servindo este trabalho de referência ao sistema de apoio à decisão IrrigaSys, que serve diversos regantes na região, com recomendações semanais de quanto e quando regar.

#### 5. Agradecimentos

Este trabalho foi realizado no âmbito do Projecto WATER4EVER “Optimizing water use in agriculture to preserve soil and water resources” (WaterJPI/0010/2016), financiado pela Water Joint Programming Initiative, Water Challenges for a Changing World, ERA-NET Cofund WATERWORKS 2015 da Comissão Europeia. O MARETEC foi financiado pelo projecto UID/EEA/50009/2019 da Fundação para a Ciência e Tecnologia (FCT). T.B. Ramos foi financiado pelo bolsa SFRH/BPD/110655/2015 da FCT.

#### Referências

1. COTR. “Benchmarking” na Rega e Boas Praticas de Gestão da Rega da Vinha. Centro Operativo e Tecnológico do Regadio, Beja, 2009.
2. Fandiño, M.; Cancela, J.J.; Rey, B.J.; Martínez, E.M.; Rosa, R.G.; Pereira, L.S. Using the dual-Kc approach to model evapotranspiration of Albariño vineyards (*Vitis vinifera* L. cv. Albariño) with consideration of active ground cover. *Agric. Water Manag.* 112, 75-87.
3. Trancoso, A.R.; Braunschweig, F.; Chambel Leitão, P.; Obermann, M.; Neves, R. An advanced modelling tool for simulating complex river systems. *Sci. Total Environ.* 2009, 407, 3004–3016.
4. Ramos, T.B.; Simionesei, L.; Jauch, E.; Almeida, C.; Neves, R. Modelling soil water and maize growth dynamics influenced by shallow groundwater conditions in the Sorraia Valley region, Portugal. *Agric. Water Manag.* 2017, 185, 27–42.
5. Simionesei, L.; Ramos, T.B.; Palma, J.; Oliveira, A.R.; Neves, R. O sistema IrrigaSys de apoio à gestão da rega no Vale do Sorraia. X Congresso de AgroEngenharia, Huesca, 2019.



X CONGRESO IBÉRICO DE AGROINGENIERÍA  
X CONGRESSO IBÉRICO DE AGROENGENHARIA  
3 – 6 septiembre 2019, Huesca - España

6. FAO. World Reference Base for Soil Resources. A Framework for International Classification, Correlation and Communication; World Soil Resources Report 103; Food and Agriculture Organization of the United Nations: Rome, Italy, 2006.
7. Ritcher, R.; Schöpfer, D. Atmospheric/topographic Correction for Satellite Imagery – ATCOR2/3. User Guide, Version 9.0.2, 2016.
8. Van Genuchten, M.T. A closed-form equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 1980, 44, 892–898.
9. Feddes, R.A.; Kowalik, P.J.; Zaradny, H. *Simulation of Field Water Use and Crop Yield*; Wiley: Hoboken, NJ, USA, 1978.
10. Allen, R.G.; Pereira, L.S.; Raes, D.; Smith, M. *Crop Evapotranspiration—Guidelines for Computing Crop Water Requirements*; Irrigation & Drainage Paper 56; FAO: Rome, Italy, 1998.
11. Ritchie, J.T. Model for predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. *Water Resour. Res.* 1972, 8, 1204–1213.
12. American Society of Civil Engineers (ASCE). *Hydrology Handbook Task Committee on Hydrology Handbook*; II Series, GB 661.2. H93; ASCE: Reston, VA, USA, 1996; pp. 96–104.
13. Neitsch, S.L.; Arnold, J.G.; Kiniry, J.R.; Williams, J.R. *Soil and Water Assessment Tool*; Theoretical Documentation; Version 2009; Texas Water Resources Institute; Technical Report No. 406; Texas A&M University System: College Station, TX, USA, 2011.
14. Wesseling, J.G.; Elbers, J.A.; Kabat, P.; van den Broek, B.J. *SWATRE: Instructions for Input Report*; Winand Staring Centre: Wageningen, The Netherlands, 1991.
15. Carsel, R.F.; Parrish, R.S. Developing joint probability distributions of soil water retention characteristics. *Water Resour. Res.* 1988, 24, 755–769.
16. Schaap, M.G.; Leij, F.J. Improved prediction of unsaturated hydraulic conductivity with the Mualem–van Genuchten model. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2000, 64, 843–851.
17. Legates, D.R.; McCabe, G.J. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water Resour. Res.* 1999, 35, 233–241. 45
18. Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. *Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations*. Transaction of the ASABE: St. Joseph, MI, USA, 2007; Volume 50, pp. 885–900. 45
19. Nash, J.E.; Sutcliffe, J.V. River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles. *J. Hydrol.* 1970, 10, 282–290.
20. Ramos, T.B.; Simionesei, L.; Oliveira, A.R.; Darouich, H.; Neves, R. Assessing the impact of LAI data assimilation on simulations of the soil water balance and maize development using MOHID-Land. *Water* 2018, 10, 1367.
21. Simionesei, L.; Ramos, T.B.; Oliveira, A.R.; Jongen, M.; Darouich, H.; Weber, K.; Proença, V.; Domingos, T.; Neves, R. Modeling soil water dynamics and pasture growth in the montado ecosystem using MOHID-Land. *Water* 2018, 10, 489.
22. Villalobos, F.J.; Orgaz, F.; Testi, L.; Fereres, E. Measurement and modeling of evapotranspiration of olive (*Olea europaea* L.) orchards. *Eur. J. Agron.* 2000, 13, 155–163.
23. Testi, L.; Villalobos, F.J.; Orgaz, F. Evapotranspiration of a young irrigated olive orchard in southern Spain. *Agric. Forest Meteorol.* 2004, 121, 1–18.