



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

MONITORIZAÇÃO DE CULTURAS MEDITERRÂNICAS REGADAS EM REGIÕES COM ESCASSEZ DE ÁGUA - ADEQUAÇÃO DE METODOLOGIAS EM VITICULTURA

Rick LI¹, João GRAÇA¹, Rita FRAGOSO¹, Maria do Rosário CAMEIRA¹, Teresa AFONSO do
PAÇO¹, Gonçalo RODRIGUES¹, Elizabeth DUARTE¹

¹ LEAF, Linking Landscape, Environment, Agriculture and Food, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa,
Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal, E-mail: rickhcl22@gmail.com; jgraca@isa.ulisboa.pt, Tel: 213653100 (3339)

Resumo

A diminuição da disponibilidade de recursos hídricos na bacia do Mediterrâneo constitui uma preocupação para o setor agrícola na região, sendo resultado de uma gestão ineficiente dos recursos hídricos, agravado pelo efeito das alterações climáticas. Face a esta problemática, são necessárias ferramentas de monitorização precisa da rega e culturas, acopladas a sistemas de apoio à decisão que promovam uma rega deficitária, não comprometendo a produtividade da cultura. Também é necessário diminuir a pressão sobre os recursos hídricos, podendo passar pela reutilização de água residual tratada, recuperando água e nutrientes.

Este contexto levou ao desenvolvimento do projeto MeProWaRe - *Novel Methodology for the Promotion of treated Wastewater Reuse for Mediterranean crops improvement*, no âmbito do programa *Water JPI (Water Challenges for a changing world)*. Estão a ser desenvolvidas novas metodologias de rega em culturas típicas do Mediterrâneo, com o objetivo de promover a reutilização das águas residuais tratadas e avaliar o impacto ao nível do solo e cultura, tendo como comparação cenários de referência.

Em Portugal, o ensaio experimental está a decorrer na vinha de castas brancas do Instituto Superior de Agronomia (ISA, ULisboa) na Tapada da Ajuda. No ensaio foram selecionadas três linhas de cultura para cada modalidade de rega: água convencional e água residual tratada e desinfetada. Ao longo de cada linha central de cada modalidade de rega, selecionaram-se três locais de monitorização, recolhendo-se dados relacionados com o solo, cultura, entre outros.

Os dados recolhidos ao longo do ciclo fenológico de 2017 foram utilizados na modelação das necessidades de água da cultura e do balanço de nutrientes no solo com o SIMDualKc e RZWQM2, respetivamente. Obtiveram-se, em média, eficiências de modelação na ordem dos 70%, valores aceitáveis indicando que os modelos estão aptos a serem utilizados no âmbito do desenvolvimento do projeto.

Palavras-chave: Modelação integrada de sistemas agrícolas, Viticultura, Água residual tratada, Recursos hídricos, Otimização de práticas de gestão de rega.

Tema: Água, agricultura, alimentação e florestas



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

1. INTRODUÇÃO

A crescente escassez de água na Bacia do Mediterrâneo constitui uma preocupação para o sector agrícola dessa região (Iglesias e Garrote, 2015). Esta situação deve-se em parte a uma ineficiente gestão, planeamento e monitorização de recursos hídricos e das culturas, sendo agravada pelos efeitos das alterações climáticas dos últimos anos (IPCC, 2008). Como tal, é fundamental definir estratégias para diminuir a pressão sobre os recursos hídricos, o que poderá passar pela reutilização de água residual tratada (ART) na agricultura, recuperando água e nutrientes. Assim, a utilização de ART na Bacia do Mediterrâneo surge como uma fonte alternativa de água de rega, que é sustentável e promove uma economia circular (Alrajhi *et al.* 2017; Valipour *et al.* 2016; Yannopoulos *et al.* 2015).

Como a agricultura é a atividade humana que consome mais recursos hídricos (Hoekstra *et al.*, 2012), existe a necessidade de otimizar as práticas de gestão na agricultura de modo a promover a maior eficácia possível na rega e o desenvolvimento de ferramentas de monitorização precisa. Adicionalmente é necessário diminuir a pressão sobre os recursos hídricos, que contribuirá a reutilização das ART na agricultura, permitindo que a cultura e o solo ao nível físico, químico e biológico, assimilem os constituintes das ART, sem afetar negativamente as propriedades do sistema solo (Adhikari *et al.*, 2014). Outra das preocupações a ter em conta é a sensibilização desta prática junto dos agricultores para que aceitem a utilização deste tipo de recursos e a implementação de infraestruturas para a sua utilização. O projeto MeProWaRe - *Novel Methodology for the Promotion of treated Wastewater Reuse for Mediterranean crops improvement* (WaterJPI/0005/2014) tem como objetivo desenvolver novas metodologias de rega em culturas características do Mediterrâneo, com o intuito de promover a reutilização eficaz de ART, avaliando o efeito desta prática ao nível da cultura e do solo. O projeto é liderado pelo *Water Research Institute, National Research Council* (IRSA CNR, Itália) tendo como parceiros a *Universidad de Castilla-La Mancha* (UCLM, Espanha), o Instituto Superior de Agronomia (LEAF – ISA, Portugal) e o Centro Internazionale di Alto Studi Agronomica Mediterraneo - Istituto Agronomico Mediterraneo di Bari (CIHEA IAMB, Itália).

O presente estudo refere-se aos trabalhos realizados em Portugal no âmbito do projeto MeProWaRe, pelo Instituto Superior de Agronomia.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização do ensaio

Em Portugal, o trabalho experimental decorreu numa das vinhas do Instituto Superior de Agronomia (ISA) da Universidade de Lisboa, situada na Tapada da Ajuda, e que se encontra

inserida na região vitivinícola de Lisboa (38°42'25,54"N; 9°11'7,20"O, altitude: 54 m). A vinha regada de castas brancas apresenta uma área de 1,5 ha e foi plantada em 2006 com uma

orientação Norte-Sul e um compasso de 2,5 m x 1 m, apresentando uma densidade de plantação de 4000 plantas por hectare. Para o presente estudo foi utilizada a casta Arinto enxertada em 1103 Paulsen, podada em cordão *Royat* unilateral, conduzida em monopiano vertical ascendente com dois pares de arames móveis para orientação da vegetação.

2.2.Caracterização Edafoclimática

A vinha está inserida numa região de clima Mediterrâneo temperado. A Figura 1 mostra as temperaturas médias mensais e a precipitação mensal para 2017 e a média de 30 anos (1951-1980), sendo que durante 2017 a precipitação média anual foi da ordem dos 411,7 mm, valor muito inferior quando com o valor da média dos 30 anos (1951-1980), de 723,7 mm, indicando que se trata de uma ano mais seco que o habitual. Esta afirmação é ainda suportada pelo facto de as temperaturas médias mensais serem mais elevadas durante a

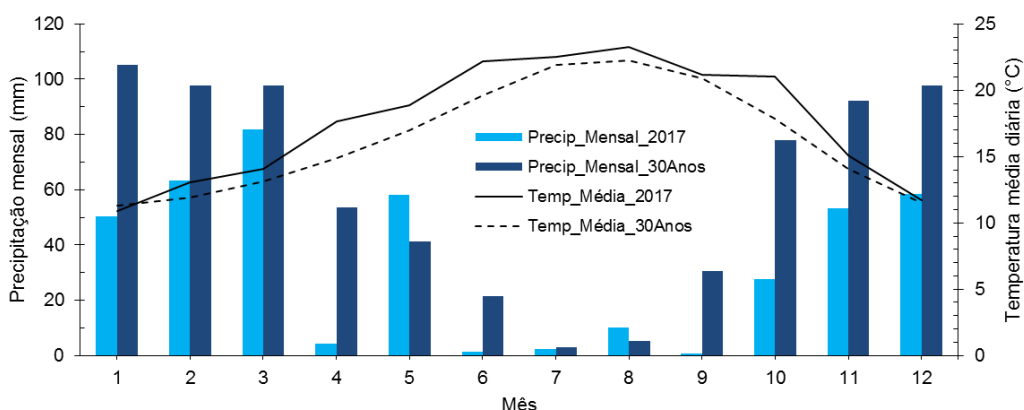


Figura 1. Temperaturas médias diárias e precipitação mensal em 2017 vs média de 30 anos (1951-1980).

maior parte do ano de 2017, temperatura média anual de 17,6°C, em comparação com a da média dos 30 anos, 16,4°C. Os dados meteorológicos foram obtidos através da estação meteorológica da Tapada da Ajuda do Instituto Português do Mar e da Atmosfera (IPMA)

As propriedades físicas do solo onde a vinha está instalada constam no Quadro 1, trata-se de um solo com a classificação de Barros pardos ou Vertissolos segundo FAO (2006), apresentando, no início de 2017, um valor elevado de matéria orgânica (5,13%) e um pH ligeiramente alcalino (8,0).

Quadro 1. Propriedades físicas do solo na vinha da meia encosta do Instituto Superior de Agronomia.

Profundidade (cm)	Textura (%)			Dap (g cm ⁻³)	θ_v (cm ³ cm ⁻³)	
	Areia	Limo	Argila		33 kPa	1500 kPa
0-30	28,8	22,5	48,7	1,39	0,34	0,24
30-60	29,7	21,4	48,9	1,39	0,35	0,25
60-100	31,4	29,9	38,7	1,42	0,36	0,27

Dap - densidade aparente; θ_v - teor de água volumétrico, a 33 kPa (Capacidade de Campo) e a 1500 kPa (Ponto de Emurchecimento)

2.3. Ensaio experimental

O estudo decorre na parcela experimental da casta Arinto, onde a rega é efetuada com água de duas fontes: água convencional (AC), controlo, e com ART e desinfetada. Em cada modalidade, foram selecionadas três linhas contíguas onde se procedeu à recolha de dados agronómicos a nível vegetativo e reprodutivo. De modo a considerar a variabilidade espacial foram selecionados, na linha intermédia de cada modalidade, três pontos de monitorização com cinco videiras cada, como está apresentado na Figura 2.

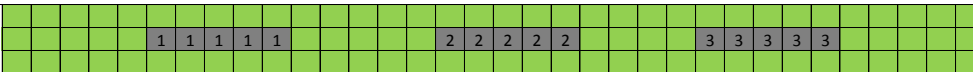

Práticas de Rega	
Rega com ART	
Rega com água convencional	

Figura 2. Delineamento experimental do ensaio de campo na vinha com água convencional e água residual tratada e desinfetada

A vinha é regada por um sistema de rega localizada do tipo gota-a-gota. Cada ramal, com 1 m de comprimento apresentava 1 gotejador por videira, cada um com caudal médio de 2,5 L h⁻¹. Durante o ensaio foram realizadas duas regas com AC e ART até à data da vindima (22 de Agosto de 2017) que totalizaram 3 horas de rega. O sistema de bombagem é alimentado por painéis fotovoltaicos (6 painéis de 250 W), no sentido de promover a sustentabilidade e um uso mais eficiente de recursos durante a época de rega.

Como foi um ano atípico em que a vindima foi muito precoce, e com o objetivo de manter as folhas na videira de modo a promover uma maior acumulação de fotoassimilados nos órgãos de reserva, foram realizadas 6 regas (AC e ART) posteriores à vindima, como consta no Quadro 2. Anteriormente à rega com ART, e ao início do ensaio, a vinha era regada com AC segundo as metodologias habituais do Instituto Superior de Agronomia, baseado nas leituras de sondas de humidades no solo e das necessidades da cultura nas diferentes fases fenológicas.



7, 8 e 9
Março 2018
ÉVORA
Évora Hotel

GESTÃO DOS
RECURSOS HÍDRICOS:
**NOVOS
DESAFIOS**

Quadro 2. Datas e dotações das regas efetuadas para as duas modalidades de rega

Data da rega	Dotação (mm)
17/08/2017	2
21/08/2017	1
22/09/2017	2
25/09/2017	1
13/10/2017	2
15/10/2017	1
20/10/2017	2
24/10/2017	1

A parcela de vinha da casta Arinto foi fertilizada entre os estados fenológicos de gomo de algodão (05) e saída das primeiras folhas (07) segundo a escala *Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie* (BDCH). A fertilização foi realizada manualmente, tendo sido aplicadas 70 g de sulfato de amónio em cada planta.

2.4. Dados monitorizados

Em cada local de monitorização foram efetuadas as medições/avaliações descritas seguidamente:

- Selecionaram-se cinco videiras contíguas onde foram analisados os seguintes parâmetros vegetativos e produtivos: Área Foliar Exposta, Rendimento, número de cachos por videira e peso médio do cacho por videira;
- Mediu-se o teor de água no solo às profundidades de 20, 40, 60 e 100 cm em 3 pontos, junto a um gotejador, entre gotejadores e na entrelinha;
- Realizaram-se análises físico-químicas à água convencional e residual tratada desinfetada em cada data de rega do ensaio (Quadro 2).

A caracterização da AC e ART utilizadas no ensaio é apresentada no Quadro 3, os valores são médias de quatro análises físico-químicas realizadas. Tal como esperado, verifica-se que a ART possui uma concentração de nutrientes e uma condutividade elétrica mais elevadas. Os baixos valores de nitratos da ART são explicados pelo facto de o processo de tratamento realizado incluir desnitrificação.

Quadro 3. Propriedades físico-químicas das águas convencionais e águas residuais tratadas e desinfetadas utilizadas na rega do ensaio.

	pH	CE mS cm ⁻¹	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	B ³⁺	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	NO ₃ ⁻	K ⁺	SAR
			mg l ⁻¹								
AC	8,1	0,3	36,5	4,1	25,8	0,1	29,5	96,2	3,1	1,9	1,1
DP	0,1	0,0	21,6	0,4	1,8	0,0	7,6	15,3	0,0	0,1	0,2
ART	7,7	1,4	46,5	15,8	160,5	0,1	226,0	239,8	7,6	23,3	5,8
DP	0,2	0,4	3,0	7,3	53,4	0,0	93,0	34,6	3,0	4,4	1,2

AC – Água convencional; ART – Água residual tratada e desinfetada; DP – Desvio-padrão CE – Condutividade elétrica; Ca²⁺ – Cálcio; Mg²⁺ – Magnésio; Na⁺ – Sódio; B³⁺ – Boro; Cl⁻ – Cloretos; HCO₃⁻ – Bicarbonatos; NO₃⁻ – Nitratos; K⁺ – Potássio e SAR – Razão de adsorção do sódio.

Os dados meteorológicos incluindo temperaturas máximas e mínimas, velocidade do vento, radiação global, humidade relativa, precipitação foram obtidos na estação meteorológica na Tapada da Ajuda do IPMA.

2.5. Processo de modelação

2.5.1. Parametrização

Os modelos RZWQM2 e SIMDualKc utilizados no presente estudo requerem um conjunto detalhado de dados de entrada. A parametrização dos modelos consiste na introdução dos dados que caracterizam o sistema a modelar, tais como as propriedades do solo (ex: granulometria, densidade aparente, teor de água à capacidade de campo, matéria orgânica) e da cultura (densidade de plantação, altura máxima da plantas, profundidade máximas das raízes, LAI máximo). Foram parametrizados dois cenários diferentes, correspondentes às duas modalidades de rega estudadas.

2.5.2. Calibração e validação

Após parametrização, procedeu-se à calibração dos parâmetros aos quais se associa maior grau de incerteza devido à dificuldade de medição ou à grande variabilidades espacial (ex. condutividade hidráulica saturada do solo). O processo consistiu no ajustamento iterativo de um ou mais parâmetros do modelo, e comparação dos teores de água no solo simulados com os medidos, até que os indicadores de qualidade atingissem valores satisfatórios. A qualidade das simulações foi avaliada da seguinte forma: a) análise gráfica, onde se projetaram os valores simulados e observados das variáveis de controlo para avaliar correlação visual entre o simulado e observado; b) análise de indicadores do erro médio quadrático (RMSE), eficiência de modelação (NMSE) e coeficiente de determinação (R²). Os valores mínimos que indicam uma simulação razoável para NMSE e R² são de 0,7 e 0,8, respetivamente (Ma et al., 2011).

No presente estudo, os modelos RZWQM2 (componente da água) e SIMDualKc foram calibrados com base nos teores de água no solo observados no ensaio experimental. A calibração da componente do azoto está prevista para a época de 2018

2.5.3. RZWQM2

O *Root Zone Water Quality Model 2* (RZWQM2) é um modelo conceptual unidimensional que simula os processos que ocorrem na zona radical do solo, isto é simula o efeito das práticas de gestão agrícola nos processos que decorrem no solo, na produtividade da cultura e na água no solo (Ma *et al.*, 2011).

O modelo é constituído por vários componentes, sendo os mais relevantes para o presente estudo brevemente descritos. O componente da água no solo utiliza a equação de Green–Ampt (Green e Ampt, 1911) para a infiltração durante os eventos de input de água e a equação de Richard (Celia *et al.*, 1990) para a redistribuição de água no solo entre estes eventos. O consumo de água pelas plantas/culturas é simulado através da equação de Nimah-Hanks (Nimah e Hanks, 1973), a equação modificada de Brooks-Corey é usada para prever a curva de retenção de água no solo e a curva da condutividade hidráulica (Ahuja *et al.*, 2000b). A computação da evapotranspiração potencial é baseada na versão superfície dupla de Shuttleworth e Wallace da equação de Penman-Monteith (Shuttleworth e Wallace, 1985). A componente dos nutrientes (OMNI), foi desenvolvida para simular as transformações do carbono e azoto no solo (Shaffer *et al.*, 2000), sendo capaz de simular as principais vias do ciclo do carbono e do azoto no solo como a mineralização-imobilização, volatilização, nitrificação, entre outros. Todos os componentes do modelo estão interligados através de uma sequência de cálculo/fluxo de informação, existindo duas escalas temporais na sequência computacional, a diária (principal) e a sub-horária.

2.5.4. SIMDualKc

O modelo SIMDualKc foi desenvolvido para calcular a evapotranspiração cultural e permitir a calendarização da rega, segundo a metodologia dos coeficientes culturais duais (Allen *et al.*, 1998, 2005a). Esta metodologia assume os termos da transpiração da cultura e evaporação do solo separadamente, através do coeficiente cultural basal (K_{cb}) e do coeficiente de evaporação do solo (K_e), possibilitando uma análise precisa do modo como o *input* de água nos sistemas agrícolas (precipitação e rega) é utilizado pelas culturas (Rosa *et al.*, 2010).

A evapotranspiração cultural (ET_c) pode ser calculada da seguinte maneira (Allen *et al.*, 1998):

$$ET_c = (K_{cb} + K_e)ET_o \quad (1)$$

Em que: ET_c é a evapotranspiração cultural (mm d^{-1}); K_{cb} é o coeficiente cultural basal (adim.), K_e é o coeficiente de evaporação de água no solo (adim.) e ET_o é a evapotranspiração de referência (mm d^{-1}).

O algoritmo utilizado pelo modelo para proceder com o cálculo da ET_c encontra-se descrito com maior pormenor em Rosa *et al.* (2012).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Serão apresentados de seguida, os resultados preliminares da calibração da componente da água no solo dos modelos RZWQM2 e SIMDualKc.

3.1. RZWQM2

3.1.1. Calibração

O Quadro 4 apresenta a média entre os dois cenários das modalidades de rega, dos parâmetros das propriedades hidrodinâmicas do solo, antes e depois da calibração.

Quadro 4. Parâmetros das propriedades hidrodinâmicas do solo, antes e depois da calibração, para ambos os cenários de água de rega

Área regada	Antes da calibração			Depois da calibração Água convencional			Depois da calibração ART		
Profundidade (cm)	0-30	30-60	60-100	0-30	30-60	60-100	0-30	30-60	60-100
K _{sat}	0,060	0,060	0,230	0,060	0,250	0,350	0,060	0,120	0,120
FC ₃₃	0,342	0,353	0,357	0,373	0,353	0,357	0,382	0,333	0,357
A ₂	0,131	0,131	0,194	0,131	0,140	0,285	0,131	0,131	0,194

FC_{33} – Teor de água volumétrico à capacidade de campo; K_{sat} – Condutividade hidráulica saturada; A_2 – Índice de distribuição do tamanho dos poros; K_{cb} – Coeficiente cultural basal; fc – Fração do solo coberta pela cultura; e p – fração de depleção.

Podem-se verificar variações nos parâmetros, antes e depois da calibração. A calibração originou propriedades diferentes para as duas modalidades, tais como a condutividade hidráulica saturada em profundidades superiores a 30 cm, onde esta diferença foi mais nítida, podendo tal ser devido ao efeito da água residual tratada sobre o solo.

Os resultados das simulações do teor de água no solo apresentam-se nas Figura 3 e Figura 4, para ambos os cenários de água de rega, incluem os resultados obtidos da simulação para as áreas regadas (Húmido) e não regadas (Seco).

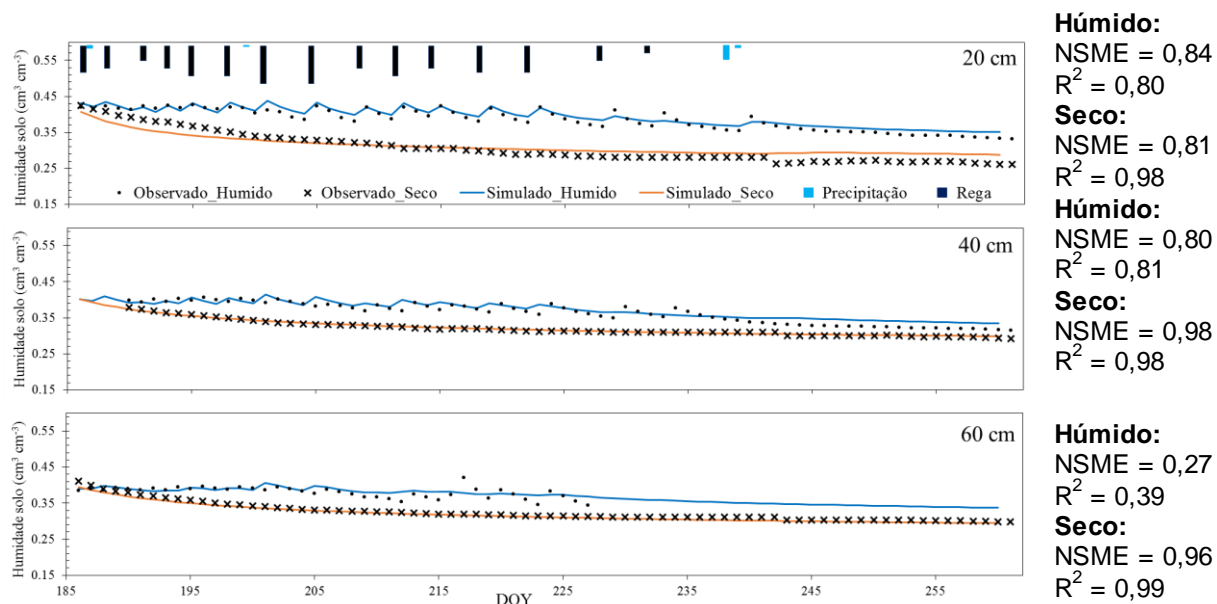
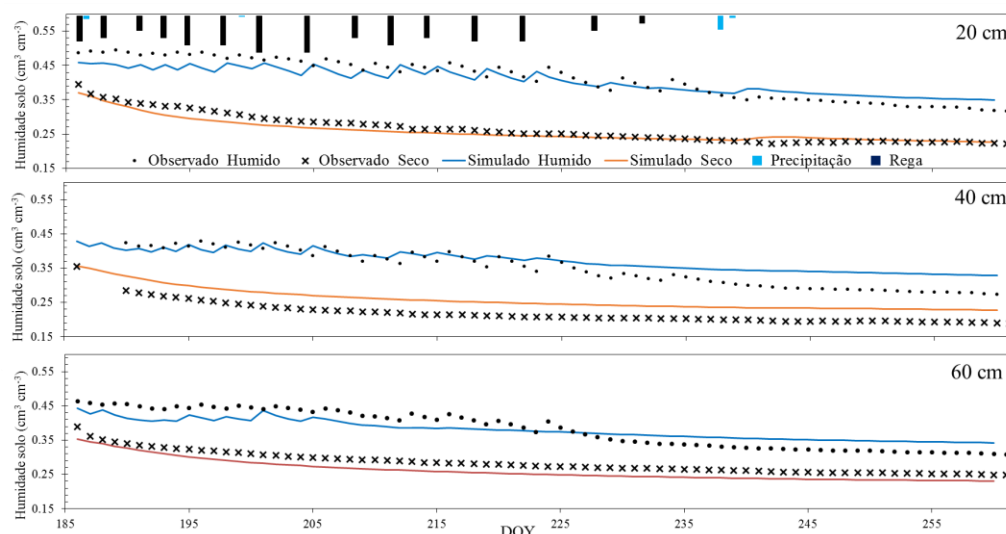


Figura 3. Resultados do RZWQM2 simulados vs observados para humidade no solo (0-60 cm), cenário de rega com água convencional nas áreas regadas (Húmido) e não regadas (Seco).



Húmido:
NSME = 0,84
 $R^2 = 0,93$

Seco:
NSME = 0,88
 $R^2 = 0,95$

Húmido:
NSME = 0,58
 $R^2 = 0,97$

Seco:
NSME = -1,80
 $R^2 = 0,99$

Húmido:
NSME = 0,74
 $R^2 = 0,88$

Seco:
NSME = 0,44
 $R^2 = 0,99$

Figura 4. Resultados do RZWQM2 simulados vs observados para humidade no solo (0-60 cm), cenário de rega com água residual tratada nas áreas regadas (Húmido) e não regadas (Seco).

Observa-se uma boa correlação entre o teor de água observado e simulado em ambas as modalidades de rega e em todas as profundidades, demonstrando que o modelo é capaz de reproduzir as variações de água no solo.

Este resultado está de acordo com os valores dos indicadores de qualidade de simulação, com um NMSE médio de 71% e um R^2 de 0,81, concluindo a calibração da componente da água. Assim o modelo está pronto para simular a componente do azoto/nutrientes, minimizando-se a acumulação de erros provenientes da componente da água nos resultados de azoto/nutrientes, resultado da interação entre ambos os processos do modelo.

O Quadro 5 apresenta os resultados do balanço de azoto obtidos das simulações efetuadas para as duas modalidades de rega. Não se verificaram diferenças relevantes no balanço de azoto entre os dois cenários de água de rega, possivelmente devido ao facto de as ART serem desnitrificadas durante o seu tratamento, bem como o facto de a rega com ART ter começado somente 1 semana antes da vindima, como já foi referido anteriormente.

Quadro 5. Balanço azoto obtido simulado nas áreas regadas das duas: água convencional e água residual tratada e desinfetada

Modalidade de rega	Período de simulação		F	Min	Lix	G	Nup
AC	27/02/2017	15/11/2017	60	70,1	1,3	5,8	40,5
ART	27/02/2017	15/11/2017	60	69,9	1,3	5,8	40,4

AC – Água convencional; ART – Água residual tratada e desinfetada; F – Fertilização; Min – Mineralização; Lix – Lixiviação de azoto; G – Perdas gasosas de azoto e Nup – Absorção pelas plantas.

3.2. SIMDualKc

3.2.1. Calibração

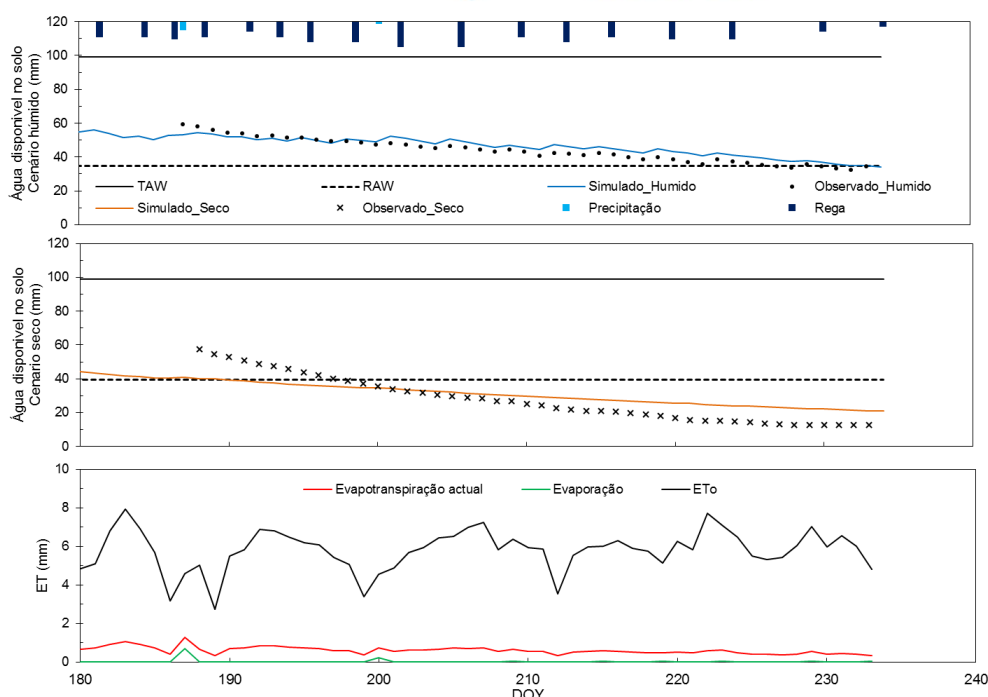
O Quadro 6 apresenta os parâmetros selecionados antes e depois da calibração para ambos os cenários de rega (água convencional e ART). Verificam-se diferenças nos parâmetros, antes e depois da calibração, principalmente nos coeficientes culturais basais, com valores calibrados muito inferiores aos de antes da calibração. Esta diferença pode ser devido às características da cultura (por exemplo: coberto vegetal, vigor da planta) utilizada no ensaio. O p diminui ligeiramente, significando que existem condições mais favoráveis às iniciais para a cultura entrar em stress hídrico.

Quadro 6. Parâmetros selecionados, antes e depois da calibração, para ambos os cenários de água de rega

	Área regada	
	Antes calibração	Depois calibração
$K_{cb_{ini}}$	0,20	0,11
$K_{cb_{mid}}$	0,80	0,39
$K_{cb_{end}}$	0,60	0,28
p_{ini}	0,45	0,35
p_{mid}	0,45	0,35
p_{end}	0,45	0,35

K_{cb} – Coeficiente cultural basal; p – Fração de depleção; ini – Período inicial; mid – Período intermédio e end – Período final

A Figura 5 mostra os resultados da água disponível no solo simulado e observado para o cenário de rega com água convencional (áreas regadas e não regadas), mais os resultados globais da partição da evapotranspiração cultural.



Húmido:
NSME = 0,78
 $R^2 = 0,86$

Seco:
NSME = 0,63
 $R^2 = 0,96$

Figura 5. Resultados do SIMDualKc simulados vs observados da água disponível no solo nas áreas regadas (húmido) e não regadas (seco) no cenário de rega com água convencional, mais a partição global da evapotranspiração cultural vs evapotranspiração de referência.

Pode-se verificar uma boa correlação entre os valores simulados e observados para ambos os cenários, que em conjunto com NMSE média global de 71% e um R^2 de 0,91 indicam uma simulação de boa qualidade. Na computação do uso da água pela cultura, durante o ciclo de simulação considerado (54 dias), a precipitação total foi de 2,2 mm, a rega total foi de 55,5 mm, sendo a evapotranspiração total na ordem dos 33 mm.

4. CONCLUSÕES

O trabalho desenvolvido ao longo do primeiro ano do projeto permitiu implementar metodologias de monitorização e controlo de gestão de rega, para dois cenários, um convencional e outro em que se adota o uso de ART. Apesar dos resultados obtidos ainda serem preliminares, é possível aferir que o uso de ART não compromete o desenvolvimento da cultura.

Outra componente fundamental do projeto é a promoção da aceitabilidade para a adoção desta nova prática junto dos agricultores, sendo para tal essencial promover ações de demonstração que os sensibilizem e fomentem a confiança nesta prática.

Com base nos resultados obtidos, pode-se afirmar que os modelos RZWQM2 e SIMDualKc descrevem adequadamente o sistema em estudo no que respeita à retenção e movimento de água no solo. O próximo passo será a calibração da componente do azoto mais a validação da componente da água nos modelos RZWQM2 e SIMDualKc.

Estes passos só serão possíveis no durante a época de rega do próximo ciclo cultural do ensaio, só então os modelos estarão aptos para outras aplicações ao longo do projeto MeProWaRe, como por exemplo análise de cenários e previsões.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à União Europeia e à FCT - Fundação para a Ciência e Tecnologia pelo financiamento, no âmbito do Consórcio internacional colaborativo *MeProWaRe* (WaterJPI/0005/2014) financiado pelo *ERA-NET WaterWorks2014 Cofunded Call*. O *ERA-NET* faz parte das “2015 Joint Activities” da *Water Challenges for a Changing World Joint Programme Initiative* (Water JPI).

REFERÊNCIAS

- Adhikari, P., Shukla, M. K., Mexal, J. G. (2015). Irrigation with treated wastewater: quantification of changes in soil physical and chemical properties. *Water Treatment in Developed and Developing Nations: An International Perspective*, 271.
- Ahuja, L. R., K. E. Johnsen, K. W. Rojas. (2000b). Water and chemical transport in soil matrix and macropores. *Root Zone Water Quality Model. Modelling Management Effects on Water Quality and Crop Production*. Water Resources Publications, LLC, Highlands Ranch, CO, 13-50.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. FAO, Rome, 300(9), D05109.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Smith, M., Raes, D., Wright, J.L. (2005a). FAO-56 dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. *J Irrig. Drain. Engng.*, 131: 2-13.
- Alrajhi, A., Beecham, S., Hassanli, A. (2017). Effects of partial root-zone drying irrigation and water quality on soil physical and chemical properties. *Agricultural water management*, 182, 117-125.
- Celia, M. A., E. T. Bouloutaas, R. L. Zarba. (1990). A general mass-conservative numerical solution for the unsaturated flow equation. *Water Resources Res.* 26(7): 1483-1496.
- Green, W. H., Ampt, G. A. (1911). Studies on Soil Physics. *The Journal of Agricultural Science*, 4(01), 1-24.
- Hoekstra, A. Y., Mekonnen, M. M. (2012). The water footprint of humanity. *Proceedings of the national academy of sciences*, 109(9), 3232-3237.
- Iglesias, A., Garrote, L. (2015). Adaptation strategies for agricultural water management under climate change in Europe. *Agricultural water management*, 155, 113-124. ISO 690

- IPCC, 2008. Technical Paper on Climate Change and Water, June 2008. IPCC, Cambridge,
- IUSS Working Group WRB. (2006). World reference base for soil resources. 2nd edition. World Soil Resources Reports No. 103. FAO, Rome.
- Ma, L., Ahuja, L. R., Saseendran, S. A., Malone, R. W., Green, T. R., Nolan, B. T., Hoogenboom, G. (2011). A protocol for parameterization and calibration of RZWQM2 in field research. Methods of introducing system models into agricultural research, 1-64.
- Nimah, M., R. J. Hanks. (1973). Model for estimating soilwater-plant-atmospheric interrelation: I. Description and sensitivity. SSSA Proc. 37(4): 522-527.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Pereira, L. S. (2010). O modelo SIMDualKc para a simulação da rega e geração de calendários de rega. Gestão do Risco em Secas. Métodos, Tecnologias e Desafios. Edições Colibri e CEER, Lisboa, 279-300.
- Rosa, R. D., Paredes, P., Rodrigues, G. C., Alves, I., Fernando, R. M., Pereira, L. S., Allen, R. G. (2012). Implementing the dual crop coefficient approach in interactive software. 1. Background and computational strategy. Agricultural Water Management, 103, 8-24.
- Shaffer, M.J., K.W. Rojas, D.G. DeCoursey, C.S. Hebsen. (2000). Nutrient chemistry processes—OMNI. p. 119–144. In L.R. Ahuja et al. (ed.) The Root Zone Water Quality Model. Water Resources Publ., Highlands Ranch, CO.
- Shuttleworth, W.J., Wallace, J.S. (1985). Evaporation from sparse crops—an energy combination approach. Q. J. R. Meteorol. Soc. 111, 839–855. United Kingdom/New York, NY, USA.
- Valipour, M., Singh, V.P. (2016). Global Experiences on Wastewater Irrigation: Challenges and Prospects, In: Balanced Urban Development: Options and Strategies for Liveable Cities. Springer, pp, pp. 289–327.
- Yannopoulos, S.I., Lyberatos, G., Theodossiou, N., Li, W., Valipour, M., Tamburrino, A., Angelakis, A.N. (2015). Evolution of water lifting devices (pumps) over the centuries worldwide. Water 7, 5031–5060.