

UTILIZAÇÃO DE UM MODELO EXPEDITO NO APOIO À CONDUÇÃO DA REGA (CONDUZREGA)

Mendes, J.P.¹

¹ Escola Superior Agrária de Elvas. Apartado 254 7350-903 Elvas; jpm@esaelvas.pt

Resumo

Actualmente a água é um bem escasso e cada vez mais dispendioso, não só devido ao sucessivo aumento da procura deste bem pela agricultura mas também para as mais diversas actividades do Homem. Pelo o que foi dito e no sentido de maximizar a eficiência da água ao nível da parcela, tem-se desenvolvido e, comercializado tecnologias que permitem monitorizar continuamente a água no solo ou o stress hídrico na planta.

As actuais tecnologias ao dispor do gestor da rega são muito úteis mas, por si só, apresentam o inconveniente de proceder a medições pontuais e a observação de um único ponto por parcela revela-se em geral insuficiente devido à variabilidade espacial do solo, da cultura e da não uniformidade da rega. Deste modo, se o gestor da rega pretender tomar decisões apenas com base nestas tecnologias terá de colocar sensores em vários pontos da parcela, procedimento este que, poderá ser inviabilizado devido, aos elevados custos de aquisição, instalação e manutenção dos equipamentos.

A alternativa mais frequentemente testada em projectos de investigação e divulgação, é a utilização de modelos de gestão da rega baseados no balanço hídrico do solo. O principal entrave à utilização generalizada destes modelos por parte dos gestores da rega prende-se com o facto da aprendizagem de utilização destas aplicações ser muito exigente, em tempo e em esforço, devido essencialmente ao grande número de parâmetros necessários à sua execução e também por terem uma interface pouco intuitiva para o utilizador. Por outro lado os gestores da rega são pessoas extremamente ocupadas, em particular durante a campanha de rega, o que se revela incompatível com o elevado dispêndio de tempo que a generalidade dos modelos exigem, para poderem dar o apoio necessário à decisão de regar.

No sentido de apoiar o gestor da rega é necessário e oportuno o desenvolvimento de modelos expeditos, que não utilizem um elevado número de parâmetros e que sejam fáceis de operar. É neste âmbito que se desenvolveu na Escola Superior Agrária de Elvas um modelo denominado ConduzRega. Esta aplicação foi desenvolvida em folha de cálculo e segue o procedimento de cálculo apresentado no CROPWAT (software disponibilizado pela FAO) mas com a possibilidade de, entre outros aspectos, introduzir valores diários de evapotranspiração de referência (ET_o) permitindo, deste modo, adaptar-se à condução da rega em tempo real.

O principal objectivo deste trabalho é validar o modelo ConduzRega, em situações reais, para o apoio à decisão do gestor da rega. Para o efeito efectuou-se o acompanhamento em duas modalidades de rega por aspersão (aspersão fixa e rampa rotativa) na cultura do milho, na Herdade da Comenda (inserida no perímetro de rega do

Caia), com base na medição efectiva das dotações aplicadas e na evolução do teor de água no solo.

Foram instaladas três estações de observação na rega fixa e duas na rampa rotativa. Em cada estação foram instalados três pluviómetros com protecção contra a evaporação, que permitiram a recolha do total da dotação acumulada ao longo de cada semana e um tubo de acesso a uma sonda capacitiva (Diviner 2000).

A aplicação ConduzRega simulou bem o balanço hídrico do solo e revelou-se uma ferramenta fácil e simples de utilizar devido por um lado, ao facto de nesta aplicação os parâmetros e os dados estarem reunidos num único ficheiro e, por outro lado o número de parâmetros necessários à sua execução não ser muito elevado. Também se revelou positiva a possibilidade de visualizar de imediato os resultados, quer pela introdução de dados diários (ET_o, dotações de rega e de precipitação), quer pela modificação de quaisquer outros parâmetros.

Palavras chave: ConduzRega, balanço hídrico, condução da rega, monitorização da rega

Abstract

At present time water is becoming a more and more scarce and expensive resource due to the increasing demand by agriculture activities as well as to many other man kind activities. In order to get maximum water usage efficiency in each field crops, had been developed and launched into the market several technologies which allow continuous monitoring of soil moisture content or plant water stress directly.

The technologies which are available for irrigation managers are quite useful, but they have the inconvenience just to do punctual measurements. The measurement in a single point per each field crops usually is insufficient due to the wide soil's and cultivation variability along the field as well as lack of irrigation uniformity. To take decisions base on such technologies irrigation managers need to use several sensors spread in the cultivation field. This way of working might be not feasible due to high costs in equipment, installation and its maintenance.

A more common alternative already tested in investigation and divulgation projects is to use soil water balance models for computing crop irrigation requirements. The learning process to operating these models is quite demanding in terms of time and required effort, creating a natural limitation to a more extensive use by irrigation managers; the main difficulties are related with the large number of parameters need, as well as due to the reason that such models haven't a user friendly interface. Another point is that irrigation managers are people quite busy mainly during irrigation season, turning not practical to work with models requiring long time to be operated when they need to get support for irrigation decision making.

To support irrigation manager its convenient to develop practical models using a low quantity of parameters and that are easy to operate. Due to this reason the Escola Superior Agrária de Elvas had developed the ConduzRega irrigation model. This

application was developed on spreadsheet using CROPWAT (software released by FAO) calculation procedure including some additional features as for example accepting daily crop reference evapotranspiration (ET_o) values that gives to the model the possibility to be adjusted to the irrigation management in real time.

The aim of this project is to get validation for ConduzRega model in real operation conditions in order to provide support for irrigation manager's decision making. To pursue that aim it were studied two ways of stationary sprinkler irrigation system and center pivot for mains cultivation fields on Herdade da Comenda (located in Caia Irrigation Perimeter) based on actual measurements of irrigation depth and the evolution of the soil water content.

Were used three observation points for the stationary sprinkler irrigation system and two observation points for the center pivot. In each observation point were used three udometers with protection against evaporation to allow the total recover of accumulated water during each week and was used also an access pipe for a portable capacitive probe (Diviner 2000).

ConduzRega program had made a good simulation concerning soil's water balance and looks to be a simple and easy to use tool because in this application the parameters and data are located in the same file; on the other hand the quantity of required parameters are not so high. It is also very convenient the possibility to immediately to see the results after daily data input (ET_o, irrigation depth and the precipitation) or after any other parameter modification.

Keyword: ConduzRega, water balance, irrigation management, irrigation monitoring

Introdução

O **CropWat** Windows 4.3 é um programa que utiliza o método da FAO Penman-Monteith para determinar a evapotranspiração de referência (ET_o) com base em dados climáticos mensais. Posteriormente, baseado no balanço hídrico diário do solo, estima as necessidades em água das culturas e elabora calendários de rega (Clarke et. al., 1998). É deste modo uma ferramenta útil para planear, uma campanha de rega ou para auxiliar no desenvolvimento de um projecto de regadio. Este programa pode ser descarregado em (<ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/cropwat/CRW4W3.ZIP>).

O **CropWat**, no entanto, não é adequado para a condução da rega em tempo real, essencialmente, por não permitir a introdução diária de dados de evapotranspiração de referência (ET_o) pois, neste programa, os dados climáticos e a ET_o apenas podem ser introduzidos mensalmente e posteriormente é que são ajustados ao dia segundo determinados critérios. Este programa guarda os dados de clima, de solo e da cultura em ficheiros distintos o que, por vezes, não facilita a sua actualização e a obtenção dos resultados em tempo real.

O programa **ConduzRega** foi desenvolvido, na Escola Superior Agrária de Elvas, com o principal objectivo de completar o programa CROPWAT no sentido de facilitar a

condução da rega em tempo real, permitindo a entrada de dados diários de ETo, de precipitação e de dotação útil de rega, num único ficheiro de forma a facilitar a utilização e a minimizar o tempo de aprendizagem do utilizador. O programa pode ser obtido em www.regarmelhor.net.

O ConduzRega não determina os valores de ETo diários a partir de dados climáticos, tendo estes de ser previamente obtidos em estações meteorológicas locais ou, por exemplo, a partir da rede de estações geridas pelo COTR (<http://www.cotr.pt/sagra.asp>). Para executar o ConduzRega é necessário utilizar os mesmos dados referentes aos parâmetros culturais que o CROPWAT e toda a base de cálculo relativo à elaboração do balanço hídrico também foi organizada de forma a obter resultados similares.

O principal objectivo deste trabalho é fazer uma validação preliminar do modelo ConduzRega, em situações reais, para o apoio à decisão, em tempo real, do gestor da rega.

Material e métodos

O presente trabalho decorreu no âmbito do projecto INTERREG III A – REGGINOVA e baseou-se no acompanhamento da condução da rega, com recurso ao ConduzRega, na cultura do milho, em dois dos sistemas de rega instalados na Herdade da Comenda (Perímetro de rega do Caia): a aspersão fixa e a rampa rotativa.

A aplicação ConduzRega foi desenvolvida em Excel e apresenta-se em quatro folhas distintas reunidas num único ficheiro informático “ConduzRega”:

- **Folha de apresentação-ajuda:** onde é apresentada uma descrição sintética da constituição e do funcionamento do programa;
- **Folha de dados gerais:** onde é solicitada a introdução de dados referentes à cultura e ao solo. Nesta folha os campos de preenchimento obrigatório estão, destacados, em fundo azul.
- **Folha de dados diários:** onde se introduzem os valores diários de ETo, de precipitação e de dotação. Esta mesma folha permite a visualização e a impressão dos resultados relevantes à tomada de decisão de quando e quanto regar, obtidos quer em gráfico quer em tabela.
- **Cálculo:** nesta folha são efectuados todos os cálculos diários do balanço hídrico e também se podem visualizar os dados diários de alguns parâmetros, complementares à **folha de dados diários**.

Um programa utilizado na condução da rega em tempo real deve permitir ajustar eventuais desfasamentos entre os valores de água no solo e os valores estimados pelo programa. No programa ConduzRega não foi prevista uma entrada especial para a correcção destes valores, essencialmente, para evitar aumentar a complexidade de utilização do programa. Sempre que se detectem desajustes entre os valores estimados de água no solo e o valores reais, deve-se recorrer à alteração pontual do valor de uma rega ou de uma precipitação devendo, no entanto, anotar a respectiva alteração ou, de preferência, proceder a eventuais ajustes de parâmetros de retenção de água no solo ou da cultura na **Folha de dados gerais**.

Na Figura 1 é apresentada, a título de exemplo, parte da folha de dados gerais relativa à parcela da aspersão fixa. Os parâmetros da cultura relativos ao coeficiente cultural (K_c), à fracção de esgotamento permissível da água no solo (p) e ao coeficiente de resposta da cultura (K_y) foram obtidos em ALLEN et. al. (1998) mas também se podem encontrar em diversas publicações (PEREIRA, 2004); (OLIVEIRA & MAIA, 2003).

Figura 1–**Folha de dados gerais** com os parâmetros da cultura e do solo. Exemplo da parcela da aspersão fixa.

| DADOS DA CULTURA | | | | | |
|-------------------------|---------|------------|-------|-------|-------|
| | Fases | | | | |
| | Inicial | Desenvolv. | Médio | Final | Total |
| [Dias] | 19 | 24 | 41 | 31 | 115 |
| (K_c) | 0.40 | >>> | 1.20 | 0.60 | |
| Prof. Radical [m] | 0.20 | >>> | 0.97 | 0.97 | |
| (P) | 0.50 | >>> | 0.45 | 0.45 | |
| (K_y) (Global) | | | | | 1.25 |

| | |
|------------------|--------|
| Data de inicio | 20/Mai |
| Data de colheita | 12/Set |

| DADOS DO SOLO | | | |
|--------------------------------|--|-------|--|
| CU (mm/m) | | 133.2 | |
| Défice inicial | | 50% | |
| Disponibilidade inicial (mm/m) | | 66.6 | |

| Cálculo auxiliar de CU (mm/m) | | |
|-------------------------------|--|---|
| CC (% v/v) | | |
| CE (% v/v) | | |
| CU (mm/m) | | 0 |

Na Figura 2 está apresentado, a título de exemplo, uma parte da folha de dados diários. Nesta folha apenas é permitida a introdução de dados nas colunas de: ETo, precipitação e de dotação aplicada. As restantes colunas são preenchidas automaticamente.

Figura 2– Parte da **folha de dados diários** com os parâmetros de ETo e de dotação. Exemplo da parcela da aspersão fixa.

| Data | Dia da semana | ETo (mm) | Precipitação (mm) | Dotação aplicada (mm) | Precipit. útil (mm) | Dotação (aplicada ou calculada) (mm) | Perdas (mm) | ETCr/ETCm (%) |
|--------|---------------|----------|-------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|-------------|---------------|
| 20-May | Sáb | 6.0 | | 31.0 | | 31.0 | 14.1 | 100% |
| 21-May | Dom | 6.0 | | | | | | 100% |
| 22-May | Seg | 5.6 | | | | | | 100% |
| 23-May | Ter | 6.7 | | | | | | 100% |
| 24-May | Qua | 5.8 | | | | | | 100% |
| 25-May | Qui | 5.9 | | 31.0 | | 31.0 | 19.0 | 100% |
| 26-May | Sex | 5.9 | | | | | | 100% |
| 27-May | Sáb | 5.7 | | | | | | 100% |
| 28-May | Dom | 5.7 | | | | | | 100% |
| 29-May | Seg | 6.5 | | 31.0 | | 31.0 | 21.7 | 100% |

Solo

O programa ConduzRega, tal como o CROPWAT, considera o solo homogéneo, isto é, como sendo composto por um só horizonte entrando apenas como um valor de capacidade utilizável unitário médio para o perfil (mm/m) e não prevê contabilização dos eventuais ganhos de água por ascensão capilar. Estas omissões não são relevantes, em termos práticos, na generalidade dos casos.

As áreas em estudo encontram-se numa mancha de solo cartografada como Aluviossolos (Cardoso, 1965).

No **Quadro 1** é apresentada a profundidade radicular efectiva e a capacidade utilizável do solo nos diferentes sistemas de rega. A capacidade utilizável foi determinada a partir de valores de textura aos quais foi aplicada uma fórmula de pedotransferência. Os valores de textura e a informação que permitiu estimar a profundidade radicular, resultou da descrição de alguns perfis de solo feita no âmbito do PROJECTO AGRO 217 citado em JANEIRO, (2007).

Quadro 1 – Profundidade radical efectiva e a capacidade utilizável do solo nos quatro sistemas de rega

| Modalidade | Profundidade considerada (cm) | Capacidade utilizável (mm) | Capacidade utilizável (mm/m) |
|----------------|-------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| Aspersão Fixa | 0,97 | 129 | 133 |
| Rampa Rotativa | 0,97 | 129 | 133 |

Dados de evapotranspiração

Os valores de evapotranspiração utilizados foram obtidos em duas estações meteorológicas (Caia e Sagrajas) ambas situadas a menos de 6 km do local de ensaio. A estação do Caia é da responsabilidade do COTR e a estação das Sagrajas é da responsabilidade da Junta da Extremadura – Espanha. Nos meses de Verão os dados obtidos nas duas estações apresentam diferenças significativas (valores mais baixos em Sagrajas) pelo que, se optou, numa primeira fase, elaborar balanços hídricos com os valores diários de ambas as estações. No entanto como os valores da estação das Sagrajas se ajustaram melhor às parcelas em estudo, provavelmente, por estas se encontrarem numa zona mais baixa e menos exposta ao vento diferindo assim da zona onde a estação do Caia está localizada.

Determinação das fases culturais do milho

Para determinar a duração das fases culturais do milho, segundo o modelo da FAO, foi necessário encontrar o momento em que a cultura cobria 10% e 70% do total da superfície do solo correspondendo, respectivamente, ao fim da fase inicial e ao fim da fase de desenvolvimento. Para encontrar estes momentos recorreu-se, à análise de imagem efectuada com o software SigmaScan Pro5, tendo por base fotografias tiradas horizontalmente a 3 metros de altura (Quadro 2).

Quadro 2 – Duração, em dias, das fases da cultura do milho

| 1. Milho (grão) | | | | | |
|------------------------|----------------|---------|-----------------|------------|-------|
| Fase | ▶ | Inicial | Desenvolvimento | Intermédia | Final |
| Duração da fase (dias) | Aspersão Fixa | 18 | 24 | 41 | 31 |
| | Rampa Rotativa | 21 | 25 | 38 | 29 |

Coefficiente de gestão da rega (p) e coeficiente de resposta da cultura (Ky)

Os valores do coeficiente de gestão da rega (p), para a realização do balanço hídrico, foram obtidos, em função da cultura em causa e do valor da evapotranspiração de referência, de acordo com Allen et. al. (1998). Assim, os valores de $p=0.5$ na fase inicial e $p=0.45$ nas fases seguintes deveram-se a um aumento da evapotranspiração de referência o que provocou uma menor capacidade de resposta por parte da planta.

No que respeita ao coeficiente de resposta da cultura (Ky), adoptou-se o valor de 1,25 referente ao ciclo total da cultura, de acordo com a recomendação da FAO.

Coefficiente cultural Kc

Os valores de Kc utilizados estão apresentados no **Quadro 3** e estão de acordo com Allen et. al. (1998). Os valores da fase inicial foram ajustados em conformidade com a frequência de humedecimento do solo em concordância com os mesmos autores.

Quadro 3 – Coeficiente cultural (Kc) inicial, intermédio e final

| Milho (grão) | | | |
|----------------|------------|---------------|----------|
| Modalidade | Kc Inicial | Kc Intermédio | Kc final |
| Aspersão Fixa | 0,65 | 1,2 | 0,6 |
| Rampa Rotativa | 0,4 | 1,2 | 0,6 |

Monitorização das dotações de rega e do teor de humidade do solo

Nas modalidades de rega por aspersão fixa foram instaladas três estações de observação e duas na rampa rotativa. Em cada estação foram instalados três pluviómetros, com protecção contra a evaporação o que permitiu a recolha do total da dotação acumulada ao longo de cada semana (em geral na aspersão fixa foram efectuadas duas dotações semanais e três na rampa rotativa). Em cada estação da rega fixa foi instalado um tubo de acesso a uma sonda capacitiva (Diviner) e na rampa rotativa foram instalados dois tubos de acesso na estação 1 e três tubos na estação 2.

Apresentação e discussão dos resultados

Balanço hídrico da rampa rotativa

A elaboração do balanço hídrico com o modelo ConduzRega revela que as dotações aplicadas neste sistema de rega, permitiram a satisfação das necessidades hídricas da cultura durante praticamente todo o ciclo, não se verificando períodos de escassez de água tal como se pode observar na **Figura 3**.

Podemos então afirmar que a rega feita na rampa rotativa foi bem conduzida e permitiu manter a humidade do solo sempre a um nível aceitável (acima do nível crítico), fornecendo à planta, água em quantidade suficiente para o correcto desenvolvimento desta. Tal facto, é confirmado pelas leituras obtidas com a sonda Diviner 2000, que nos permitiu constatar que o solo se manteve com uma humidade intermédia ao longo de todo o ciclo vegetativo, começando apenas a decrescer quando se foi reduzindo a dotação até ao corte do fornecimento de água à cultura para finalizar o ciclo.

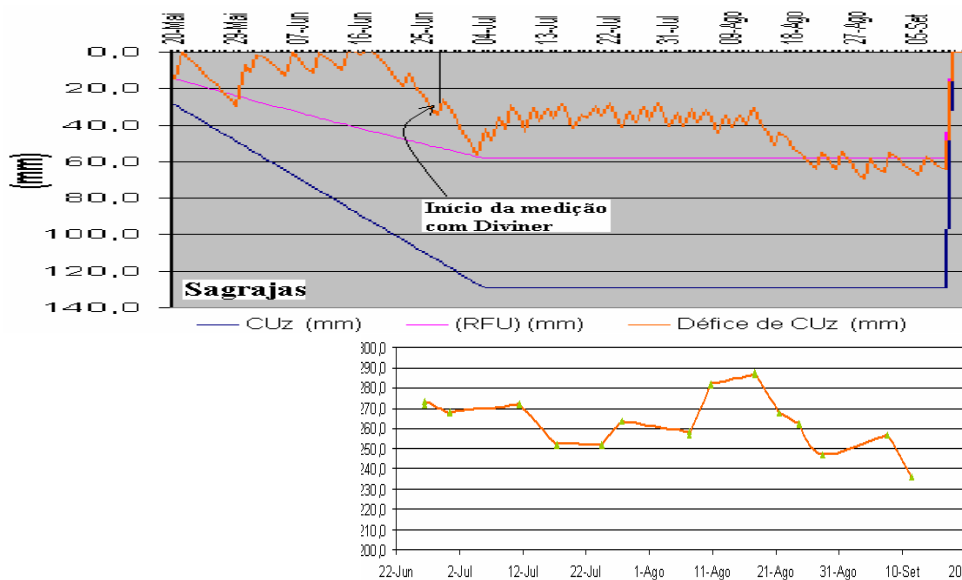


Figura 3 – Gráfico do balanço hídrico, produzido pelo ConduzRega, obtido com base nos valores de ETo da estação das Sagrajas na parcela da rampa rotativa (em cima) e evolução da humidade do solo média, medida em cinco tubos de acesso ao Diviner (0 - 70 cm) em baixo.

Balanço hídrico da rega fixa

Analisando o balanço hídrico obtido no ConduzRega (Figura 4), verifica-se que a condução da rega foi feita de forma a manter o teor de humidade do solo sempre acima do seu nível crítico, permitindo à cultura completar o seu ciclo sem défice de água que prejudicasse o seu desenvolvimento o que é confirmado pelas leituras de humidade do solo.

Quanto à condução da rega apenas há a assinalar que no início houve um excesso de água aplicada ao solo mas, a partir do mês de Junho, foi estabelecido um teor de humidade correcto.

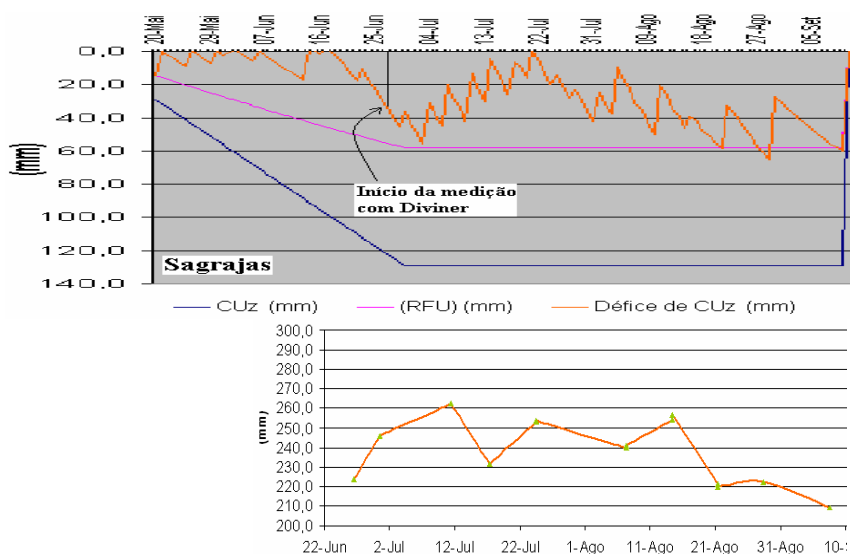


Figura 4 - Evolução da humidade média do solo, medido em dois tubos de acesso ao Diviner (0 - 100 cm), em baixo, e balanço hídrico obtido com base nos valores de ETo da estação meteorológica das Sagrajas, na parcela da aspersão fixa.

Comparando os dois sistemas de rega em análise em relação aos valores acumulados para o total do ciclo da cultura (Quadro 4), verifica-se que as dotações aplicadas foram superiores na aspersão fixa e que resultaram de dotações muito elevadas na fase inicial da cultura (Figura 4), acabando por se traduzir em perdas de água que certamente foram por percolação (as parcelas em estudo são muito planas e, deste modo, praticamente não ocorrem perdas por escoamento superficial).

Quadro 4 - Resultados do balanço hídrico das diferentes modalidades de rega com valores acumulados

| Valores acumulados | | |
|-----------------------------------|--------------|-------------|
| | <i>Pivot</i> | <i>Fixa</i> |
| Dotação aplicada (mm) | 503 | 556 |
| ETo (mm) | 597 | 597 |
| Precipitação total (mm) | 90 | 90 |
| Precipitação Efectiva (mm) | 41 | 51 |
| ETCr (mm) | 572 | 546 |
| ETCm (mm) | 578 | 547 |
| ETCr/ETCm (%) | 99% | 100% |
| Perdas (mm) | 26 | 112 |

| | | | |
|----------------------------------|------------------|------|------|
| Redução relativa de ETC | 1-ETa/ETm | 0.9% | 0.2% |
| Red. relativa de produção | 1-Ya/Ym | 1.1% | 0.3% |

Considerações finais

A aplicação ConduzRega simulou bem o balanço hídrico do solo em ambas as modalidades de rega, mostrou-se versátil no apoio à decisão do gestor da rega e simples de utilizar pelo facto de nesta aplicação, os parâmetros necessários e os dados, estarem reunidos num único ficheiro e, por outro lado o número de parâmetros necessários à sua execução não serem muito elevados. Também se revelou positiva a possibilidade de visualizar de imediato os resultados, quer pela introdução de dados diários (ET_o, dotações de rega e de precipitação), quer pela modificação de quaisquer outros parâmetros.

Para a recolha das dotações de rega aplicadas, verificou-se que o uso de pluviómetros no caso da rega por aspersão, é uma técnica fácil de usar, de baixo custo e que permite obter resultados fiáveis.

A monitorização da água no solo nas zonas de controlo da dotação revelou-se uma importante ferramenta na validação do modelo ConduzRega.

A avaliação da condução da rega, revelou que, a rega na modalidade rampa rotativa foi bem conduzida e que a modalidade de rega por aspersão fixa, em geral, também foi bem conduzida, tendo no entanto ocorrido, nesta última modalidade, dotações excessivas, o que conduziu a perdas de água por percolação na fase inicial da cultura.

Agradecimentos

Herdade da Comenda
Apoio financeiro do Projecto REGGINOVA
Hugo Miguel Sena Janeiro (estagiário do projecto REGGINOVA)

Bibliografia

- 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.
- Clarke, D., Martin S., El-Askari, K. 1998. CropWat for Windows : User Guide. University of Southampton
- Janeiro, H. 2007. Monitorização da condução da rega em quatro sistemas de regadio na Herdade da Comenda. Relatório do trabalho de fim de curso de Engenharia Agronómica.
- Oliveira, I., Maia, J. 2003. Guia de rega 02 – Necessidades hídricas das culturas, considerações gerais. COTR, Beja.
- Pereira, L. 2004. Necessidades de água e métodos de rega. Publicações Europa-America, Mem Martins.