

VII Congresso Ibérico das Ciências do Solo (CICS 2016)  
VI Congresso Nacional de Rega e Drenagem



**Efeitos do relevo e da proximidade do mar na  
evapotranspiração de referência no Perímetro de Rega do Roxo**

***Relief and sea proximity effects on crop  
reference evapotranspiration in the irrigation área of Roxo***

**Andrade, José<sup>1\*</sup>, Alexandre, Carlos<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Departamento de Geociências e Instituto de Ciências Agrárias e Mediterrâneas (ICAAM), Universidade de Évora

\* Email do autor correspondente: [zalex@uevora.pt](mailto:zalex@uevora.pt)

**Resumo**

O conhecimento da evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) é essencial para um adequado planeamento da rega. O seu cálculo requer dados climáticos não raras vezes insuficientes em quantidade ou com cobertura inadequada nas áreas sob estudo. O sistema de informação geográfico SAGA disponibiliza um conjunto de algoritmos que foram usados no cálculo da  $ET_0$  (a partir da fórmula de Hargreaves aplicada a um modelo digital do terreno com células de 25x25 m), no Perímetro de Rega do Roxo (8250 ha), distribuído pelos concelhos de Aljustrel, Ferreira do Alentejo e Santiago do Cacém. As estações meteorológicas da Barragem do Roxo (a leste do perímetro) e de Alvalade do Sado (a oeste) foram usadas como referência. As diferenças entre as  $ET_0$  mensais obtidas no perímetro atingiram apenas 3 mm numa parte considerável do ano, mas foram superiores a 6 mm em Dezembro, reflectindo, em qualquer caso, as pequenas variações da topografia e do relevo, influentes factores climáticos no Alentejo. A duplicação de valores de  $ET_0$  decorrente do uso de duas estações meteorológicas revelou a influência da proximidade do mar na distribuição da  $ET_0$ . O "factor oásis" resultante das superfícies aquáticas presentes no perímetro de rega não foi considerado, pelo que os resultados obtidos deverão ser corrigidos através de alterações nos algoritmos que permitam tê-lo em conta.

Palavras-chave: evapotranspiração de referência, SAGA SIG, perímetro de rega, geomorfometria, factor climático

**Abstract**

The knowledge of reference evapotranspiration ( $ET_0$ ) is essential for a proper planning of irrigation. Climatic data to calculate  $ET_0$  climate data rarely cover the study area appropriately and are often insufficient. The SAGA geographic information system provides a set of algorithms that were used in the calculation of  $ET_0$  (by Hargreaves formula applied to a digital elevation model with 25x25 cells) for the Roxo Irrigation Area (8250 ha), located in Alentejo. Weather stations of the Roxo Dam (at east of the irrigation area) and Alvalade do Sado (at west) were used as reference. Inside the irrigated area, the differences between the monthly  $ET_0$  reached 3 mm during a considerable part of the year, but were greater than 6 mm in December, reflecting the slight variation of the topography and relief, influential climatic factors in Alentejo. Different results over the same area were obtained by using two reference stations showing the influence of the sea in the distribution of  $ET_0$ . The resulting "oasis effect" due to the presence of reservoirs, lakes and ponds in the irrigation area was not considered, so the results obtained should be corrected by changes in algorithms to take into account this factor.

Keywords: crop reference evapotranspiration, SAGA GIS, irrigation area, geomorphometry, climatic factor

## Introdução

Uma irrigação eficiente permite ajustar o uso da água às reais necessidades das culturas (evapotranspiração) e, deste modo, contribuir para um bom desenvolvimento destas, ao mesmo tempo que economiza água.

Variações extremas da temperatura da camada superficial do solo (sobretudo quando não coberto por vegetação) e variações rápidas do teor de água no solo devido a chuvas irregulares e às elevadas exigências em termos de evaporação são típicas do clima Mediterrâneo e conduzem, não raras vezes, a um desenvolvimento inicial insatisfatório das culturas. De acordo com os recentes relatórios tornados públicos pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) relativos à bacia mediterrânea [1], o problema do défice de água, sempre presente nesta zona sobretudo entre os equinócios de março e setembro, agravar-se-á, pelo que uma boa gestão da água será condição necessária para mitigar os efeitos previstos.

O clima do tipo Cs (Classificação de Köppen) domina na maior parte do território nacional: as temperaturas médias anuais são moderadas, o verão relativamente quente e seco e o inverno suave e húmido. No Alentejo a temperatura média é a mais elevada do país (nunca inferior a 15°C) enquanto os valores médios da precipitação anual são os (ou dos) mais baixos. Os factores climáticos que mais determinam alguma diversidade (micro)climática no Alentejo são a proximidade do mar (responsável pelas menores amplitudes térmicas anuais ocorridas nas zonas litorais e por extremos térmicos mais agrestes em zonas mais interiores), a orografia e o relevo (embora sem elevações relevantes, é responsável por diferenças na precipitação anual que podem ultrapassar 300 mm) e também a relativa heterogeneidade das superfícies (hidrografia, albufeiras, ocupação do solo, irrigação,...) [2].

O cálculo da evapotranspiração requer dados climáticos (radiação, temperatura e

humidade do ar, velocidade do vento,...) não raras vezes indisponíveis na sua totalidade ou com cobertura inadequada às áreas sob estudo. O *sistema de informação geográfico* SAGA (System for Automated Geoscientific Analysis) [3] disponibiliza um conjunto de algoritmos que permite estimar diversos parâmetros climáticos. Neste trabalho calculou-se a evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) no perímetro de rega do Roxo, a partir de dados de temperatura medidos em duas estações meteorológicas tomadas como referência e tendo em conta a latitude, a topografia, a orografia e a cobertura vegetal. Pretende-se avaliar a capacidade desta metodologia em reflectir a eventual influência dos factores climáticos locais predominantes nesta região do país, designadamente a orografia, a exposição e a proximidade do mar.

## Material e métodos

O Perímetro do Roxo enquadra-se no Aproveitamento Hidroagrícola do Roxo (AHR), localizado no Baixo Alentejo central, desenvolvendo-se de sudeste para noroeste, entre a barragem do mesmo nome e Alvalade do Sado, atingindo cerca de 20 km na sua maior extensão (Fig. 1). A área do Perímetro de Rega do Roxo estende-se por cerca de 8250 ha ao longo da bacia da ribeira do Roxo (sobretudo na sua margem direita), afluente do rio Sado, a maioria dos quais (cerca de 87%) localizados nos concelhos de Aljustrel e Ferreira do Alentejo (Distrito de Beja), pertencendo os restantes 13% ao concelho de Santiago do Cacém (Distrito de Setúbal).

A extremidade oeste do Perímetro dista cerca de 50 km do mar. A altitude raramente ultrapassa os 100 metros, aumentando de cerca de 55 metros (na extremidade oeste) para pouco mais de 120 m (na zona leste), à medida que aumenta também a distância relativamente ao mar. Algumas albufeiras ou lagoas artificiais (a da Misericórdia é a mais relevante) de pequena dimensão salpicam a área, conferindo-lhe heterogeneidade suficiente para justificar

eventuais diferenças microclimáticas com alguma importância [4].

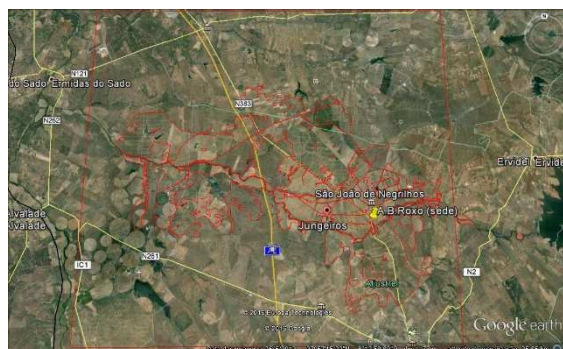


Fig. 1. A área do Perímetro de Rega do Roxo

A  $ET_0$  foi calculada para um modelo digital do terreno (MDT) com células de 25x25m usando dois algoritmos disponíveis no SAGA. O primeiro permitiu o cálculo da temperatura à superfície do solo enquanto o segundo, com base nos resultados do primeiro, permitiu o cálculo da  $ET_0$ .

A temperatura da superfície ( $T$ ) foi calculada a partir da fórmula proposta por Wilson e Gallant [5]:

$$T = T_b - \frac{\Delta T (z - z_b)}{1000} + C \cdot \left( S - \frac{1}{S} \right) \cdot \left( 1 - \frac{IAF}{IAF_{max}} \right) \quad (1)$$

onde  $z$  é a elevação,  $z_b$  a altitude a que se encontra a estação meteorológica de referência e  $T_b$  a sua temperatura,  $T$  o gradiente de temperatura (por ex. 6.5°C por km),  $C$  é uma constante empírica (por ex. 1°C),  $S$  o balanço de radiação de curto comprimento de onda,  $IAF$  é o índice de área foliar e  $IAF_{max}$  é o índice foliar máximo. Considerou-se o  $IAF$  nulo enquanto o  $S$  foi determinado com base radiação total em cada célula do MDT.

A  $ET_0$  (em mm) foi calculada a partir da fórmula de Hargreaves [6]:

$$ETP = K_{ET} \times R_a \times (T_{max} - T_{min})^{0.5} (T + 17,8) \quad (2)$$

onde  $R_a$  (em mm) é a radiação extraterrestre,  $T_{max}$ ,  $T_{min}$  e  $T = (T_{max} - T_{min})/2$  são, respectivamente, as temperaturas máxima, mínima e média (em °C) relativas ao período correspondente e  $K_{ET}$  é o coeficiente de calibração (=0,0023). Este método é indicado em situações onde os dados climáticos disponíveis não incluem todos os parâmetros que influenciam a evapotranspiração [7] e usado com

resultados satisfatórios quando aplicado a zonas áridas e semi-áridas [8] [9] [10].

Foram usados dados climáticos de duas estações meteorológicas (de referência), a da Barragem do Roxo (BR) (Lat.: 37°56'N; Long.: 8°05' W; Alt.141 m) e a de Alvalade do Sado (AS) (Lat.: 37°57'N; Long.: 8°24'W; Alt.61 m), situadas a leste e a oeste do perímetro de rega, respectivamente. Os cálculos foram feitos para os meses dos equinócios (março e setembro) e dos solstícios (junho e dezembro).

## Resultados e discussão

Em qualquer combinação mês/estação de referência a  $ET_0$  não é uniforme na área do perímetro de rega. A sua variação é diminuta, refletindo sobretudo a influência das pequenas variações de altitude neste perímetro. A gama de valores é maior em dezembro (mais de 6 mm de diferença na  $ET_0$  mensal) que nos restantes meses (entre 2,3 mm e 3,8 mm) provavelmente devido ao factor topográfico (exposição), mais influente no período do ano onde a altura angular do sol é menor. Os valores mais elevados de  $ET_0$  registaram-se em setembro (sempre superiores a 150 mm) e os mais baixos em dezembro (cerca de 80 mm), seguindo o tipo de variações harmónicas da radiação solar e da temperatura normais para as latitudes médias do hemisfério norte.

Os valores da  $ET_0$  relativos a qualquer dos quatro meses divergiram consoante a estação de referência considerada. Em junho e setembro os valores foram superiores quando a estação BR foi usada, enquanto em dezembro e março foram-no quando a estação AS foi a considerada. Tais diferenças, maiores em junho que em qualquer dos outros três meses reflectem a influência da proximidade do mar enquanto factor climático importante nesta região.

O conhecimento dos principais factores que influenciam o clima de uma dada área revela-se determinante na escolha da ou das estações meteorológicas que servirão de referência. Não raras vezes tornar-se-á

**Tabela 1.** Evapotranspiração de referência mensal (em mm) estimada para o Perímetro do Roxo a partir de dados climáticos das estações meteorológicas (EM) situadas na Barragem do Roxo (BR) e em Alvalade do Sado (AS) (valores médios, mínimos e máximos, amplitude, variância e desvio padrão)

ET <sub>0</sub> (mm)				
EM de referência	Barragem do Roxo (BR)			
Mês	Março	Junho	Setembro	Dezembro
Média	99,4	151,7	159,5	79,4
Min	98,3	150,5	157,6	75,8
Max	100,6	153,0	161,2	81,9
Amplitude	2,3	2,5	3,7	6,1
Variância	1,4	1,7	3,4	3,9
Desvio padrão	0,3	0,4	0,5	0,6

ET <sub>0</sub> (mm)				
EM de referência	Alvalade do Sado (AS)			
Mês	Março	Junho	Setembro	Dezembro
Média	105,8	135,4	156,4	82,4
Min	104,4	134,2	154,4	78,4
Max	107,5	136,6	158,3	85,2
Amplitude	3,1	2,4	3,8	6,8
Variância	2,6	1,6	3,7	4,9
Desvio padrão	0,5	0,4	0,6	0,6

necessário (como é o caso presente) considerar mais do que uma estação. A média ponderada entre os valores obtidos a partir das estações consideradas e tendo em conta as distâncias entre cada local e cada uma delas, permitirá recalcular os valores de ET<sub>0</sub>. A heterogeneidade da superfície, designadamente a presença de superfícies aquáticas (albufeiras, lagos, lagoas) não foram factores considerados nos algoritmos disponibilizados por este SIG, o que limita de algum modo o seu desempenho em casos como os do perímetro de rega em estudo. Os algoritmos deverão ser alterados no sentido de incluir o efeito “oásis” que deriva da existência de tais heterogeneidades.

## Conclusões

O SAGA revelou-se uma ferramenta útil no cálculo da ET<sub>0</sub> na área irrigada pela albufeira do Roxo.

Os algoritmos usados para o cálculo da ET<sub>0</sub> são sensíveis à actuação de factores

climáticos como a altitude e a topografia, em áreas pequenas e onde a sua variação é pequena.

É necessário o uso de mais que uma estação meteorológica de referência para avaliar a influência da proximidade do mar enquanto factor de importância relevante na diferenciação climática no Alentejo.

O “efeito oásis” resultante das superfícies aquáticas presentes no perímetro de rega não é tido em conta nos algoritmos que permitem cartografar a evapotranspiração de referência com esta metodologia.

## Referências bibliográficas

- [1] IPCC. 2007. IPCC Fourth Assessment report. Available online: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm (accessed April 2016).
- [2] Ferreira, DB, 2005. O Ambiente climático In: Círculo de Leitores (Ed.) Geografia de Portugal. O Ambiente físico. Círculo de leitores, pp. 306-385
- [3] Boehner, J. & Selige, T. 2006. Spatial prediction of soil attributes using terrain analysis and climate regionalisation. In: Boehner, J., McCloy, K.R., Strobl, J. [Ed.]: SAGA - Analysis and Modelling Applications, Goettinger Geographische Abhandlungen, Goettingen: 13-28.
- [4] Oke, TR, 1987. Boundary Layer Climates. 2<sup>nd</sup> ed. London and New York, Routledge
- [5] Wilson, JP, Gallant, JC, 2000. Terrain Analysis: Principles and Applications. New York, John Wiley & Sons.
- [6] Hargreaves, GH, Samani, ZA, 1985. Reference crop evapotranspiration from ambient air temperature. American Society of Agricultural Engineers
- [7] Allen, RG, Pereira, LS, Raes, D., Smith, M. 1998. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. FAO Irrigation and Drainage Paper nº 56, Rome, Italy
- [8] Di Stefano, C., Ferro, V. 1997. Estimation of Evapotranspiration by Hargreaves Formula and Remotely Sensed Data in Semi-arid Mediterranean Areas, J.AGRIC. ENGG RES 64: 251-264
- [9] Martinez-Cob, A., Tejero-Juste, M. 2004. A wind-based qualitative calibration of the Hargreaves ET<sub>0</sub> estimation equation in semiarid regions, AGRIC.WATER MANAG., 64: 251-264.
- [10] Gavilán, P., Lorite, IJ, Tornero, S., Berengena, J. 2006. Regional calibration of Hargreaves equation for estimating reference ET in a semiarid environment. AGRIC.WATER MANAG, 81: 257-281.