

## SERVIÇO DE APOIO À PRODUÇÃO AGRÍCOLA COM OPTIMIZAÇÃO DOS USOS DE REGA NO VALE DO SORRAIA

Carina C. M. ALMEIDA

Eng.<sup>a</sup> do Ambiente, IST – MARETEC, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, +351.218419426,  
carina.almeida@ist.utl.pt

Pedro C. LEITÃO

Eng.<sup>o</sup> Agro-Industrial, IST – MARETEC, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, chambelpc@ist.utl.p

Eduardo JAUCH

Eng.<sup>o</sup> Agrónomo, IST – MARETEC, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, ramiro.neves@ist.utl.pt

Ramiro NEVES

Eng.<sup>o</sup> Mecânico, IST – MARETEC, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa, eduardo.jauch@ist.utl.pt

Luís ALMAS

Eng.<sup>o</sup> Informático, DEIMOS ENGENHARIA, Av. D. João II, Lote 1.17 Torre Zen, 10º, 1998-023 Lisboa,  
deimos@deimos.com.pt

### RESUMO

Nos dias de hoje a modernização do sistema de rega, passa não só pela melhoria das estruturas hidráulicas, mas também pela prestação de serviços que optimizem a eficiência agrícola. Esta optimização pode ser ao nível dos usos de água de rega e da produção das culturas. O serviço desenvolvido no projecto Aquapath-Soil ([www.agro-evapo.eu](http://www.agro-evapo.eu)), visou o apoio aos agricultores produtores de milho no Vale de Sorraia, no que diz respeito às quantidades de água de rega a aplicar, assim como ao estado das suas parcelas em relação a Índice de Área Foliar e de evapotranspiração cultural. Os utilizadores puderam ao longo do tempo visualizar o estado das suas parcelas sob a forma de mapas de Índice de Área Foliar e Evapotranspiração Cultural, assim como receber mensagens nos seus telemóveis com informação meteorológica (temperatura, precipitação e humidade relativa médias) e de evapotranspiração cultural total medidas na semana anterior e para a próxima semana. A informação recebida é deduzida por modelos hidrológicos que correm em modo de previsão utilizando dados meteorológicos da semana anterior e previsões meteorológicas (<http://meteo.ist.utl.pt>) para a semana seguinte. A prestação deste serviço permitiu aos agricultores visualizar falhas nas suas parcelas, assim como concluir que a água aplicada poderá ser em excesso. Os resultados mostraram que parcelas de utilizadores poderiam ter sido regadas com cerca de 20% menos de água sem que fosse afectada a produção.

Palavras-chave: Optimização de rega, modelos, imagens de satélite, evapotranspiração, Índice de Área Foliar

## 1. INTRODUÇÃO

O Aquapath-soil (serviço de apoio à produção agrícola) tem como objectivo prestar serviços de apoio à rega, baseando-se na utilização de imagens de satélite, modelos hidrológicos e dados meteorológicos.

Na presente comunicação são apresentados os passos de como todo o serviço foi desenvolvido: área de implementação do serviço; breve descrição dos modelos hidrológicos utilizados; medidas de campo que foram realizadas; descrição dos produtos gerados das imagens de satélite; e toda a validação e calibração que foi realizada nos modelos, para que o serviço fosse o mais realista e consistente possível. Os produtos, como mapas de evapotranspiração cultural e de Índice de Área Foliar, assim como o serviço de previsão enviados aos agricultores serão visualizados, sendo analisada a eficiência do serviço que foi prestado no ano de 2010.

## 2. DESCRIÇÃO DO SERVIÇO

### 2.1 Área de implementação

O local de desenvolvimento deste serviço incidiu nas parcelas de produtores de milho do Vale do Sorraia, em Portugal (Figura 1). O Vale do Sorraia tem uma área de cerca de 15 500 ha sendo predominantes culturas de regadio como o milho, arroz e o tomate. A temperatura média e precipitação no ano de 2010 foram de 16.2°C e 953 mm, respectivamente. O período de crescimento das culturas de milho iniciou-se em Maio e terminou a meados de Outubro.

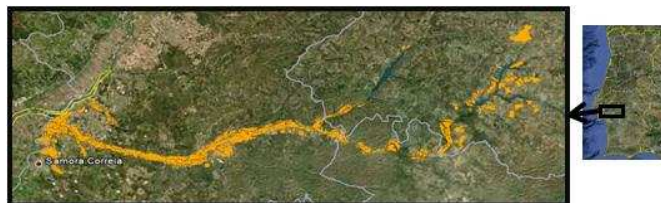


Figura 1 Área de implementação do serviço – Vale do Sorraia, Portugal

### 2.2 Modelos utilizados

#### 2.2.1 MOHID Land

O modelo MOHID Land está integrado no sistema de modelos MOHID e beneficia do conhecimento acumulado neste sistema de modelos ao longo de duas décadas de desenvolvimento.

O modelo MOHID Land simula de forma integrada (i) o escoamento superficial; (ii) o escoamento nos canais que constituem a rede de drenagem; (iii) o escoamento na zona não saturada do solo (camadas acima do nível freático) e (iv) o escoamento na zona saturada do solo (aquífero). Estes escoamentos são interdependentes e a sua simulação integrada elimina a necessidade de hipóteses sobre as transferências entre aqueles domínios. A interacção entre os diferentes processos (e.g. troca de água entre o aquífero e da rede de drenagem) é calculada dinamicamente pelo modelo, tendo por base gradientes hidráulicos.

## 2.2.2 SWAT

O modelo **SWAT** (Soil and Water Assessment Tool) foi desenvolvido pela USDA Agricultural Research Service (USDA-ARS). O modelo SWAT é um modelo tridimensional com um passo temporal fixo de 1 dia que corre ao nível da bacia. O principal objectivo deste modelo é prever impactos de longo prazo de práticas agrícolas. Entre outros parâmetros este modelo permite estipular rotações de plantas, datas de sementeira e colheita, taxas e momento de aplicação de fertilizantes, pesticidas e rega. Este modelo pode ser usado para simular o ciclo da água e o ciclo do azoto e fósforo. Cada sub-bacia é dividida em várias inclinação de uso da terra, e combinações de tipo de solo, chamado de unidades de resposta hidrológica (HRUs).

O SWAT calcula a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), utilizando três métodos diferentes: i) Priestley-Taylor (PRIESTLEY e TAYLOR, 1972) ii) Hargreaves (HARGREAVES *et al*, 1985) e iii) Penman-Monteith (PM) (MONTEITH, 1965). Todos os métodos utilizam medições meteorológicas para este cálculo. No entanto, o método de PM é o mais intensivo em termos de medições meteorológicas, mas também é considerado o mais exacto. O SWAT usa a ET<sub>o</sub> para estimar evapotranspiração actual (ETA) (NEITSCH, 2005). Para isso considera a disponibilidade de água no solo, bem como o estágio de desenvolvimento da planta. A disponibilidade de água depende das propriedades do solo e práticas de rega, enquanto que o desenvolvimento da planta depende de práticas agrícolas e da meteorologia. Este ETA distingue-se do ETC da FAO na medida em que depende da água disponível no solo e também porque tem um kc dinâmico que depende de um modelo de crescimento de planta. A desvantagem dos kc é serem determinados para a região não representando especificidades de cada terreno.

## 2.3 Medidas de campo (Índice de Área Foliar)

Foram realizadas medidas de Índice de Área Foliar (IAF) durante a campanha da cultura de milho, entre Maio e Outubro. No total foram realizadas seis visitas às três parcelas (Figura 2) de agricultores considerados neste serviço (Parcela I, II e III).



Figura 2 Parcelas dos agricultores onde foram realizadas medidas de IAF

O Índice de Área Foliar do milho (e como em todas as culturas em geral) varia bastante, dependendo de vários factores como: o número de plantas na parcela, a distância entre linhas e plantas, e em especial do tipo e características das cultura. Assim, é essencial que as medidas no campo sejam feitas em parcelas diferentes, com diferentes variedades da mesma cultura.

O Índice de Área Foliar foi medido com uma máquina fotográfica com uma lente de olho de peixe que permite tirar fotografias hemisféricas. Estas fotografias foram por sua vez inseridas num software (*Hemisfer*) que estima o Índice de Área Foliar.

Os resultados destas medidas de campo foram utilizados para a calibração do modelo SWAT e das imagens de satélite.

## 2.4 Imagens de satélite e produtos gerados

Foram recebidas dez imagens de satélite (Satélite Deimos-1) de Índice de Área Foliar ao longo da campanha da cultura do milho (entre Maio e Outubro), resultantes de imagens de NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*) (Figura 3).

As imagens de satélite, recebidas em formato TIF, foram transformadas em formato HDF5 para serem transformadas em mapas específicos para cada parcela do agricultor (através de uma ferramenta desenvolvida em MATLAB). O formato HDF5 das imagens de Índice de Área Foliar foi posteriormente utilizado como input no modelo MOHID Land para estimar valores de Evapotranspiração Cultural e assim obter também mapas para os agricultores de Evapotranspiração Cultural (ETA).

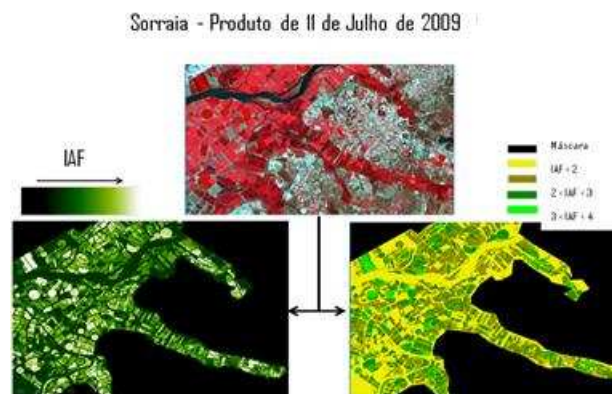
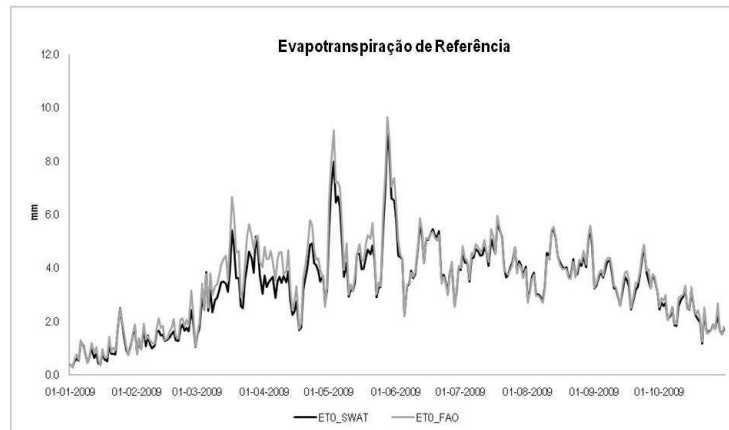


Figura 3 Exemplo de um produto de Índice de Área Foliar (IAF). A imagem original (acima) e o produto correspondente (escala qualitativa no canto inferior à direita e escala quantitativa no canto inferior à esquerda).

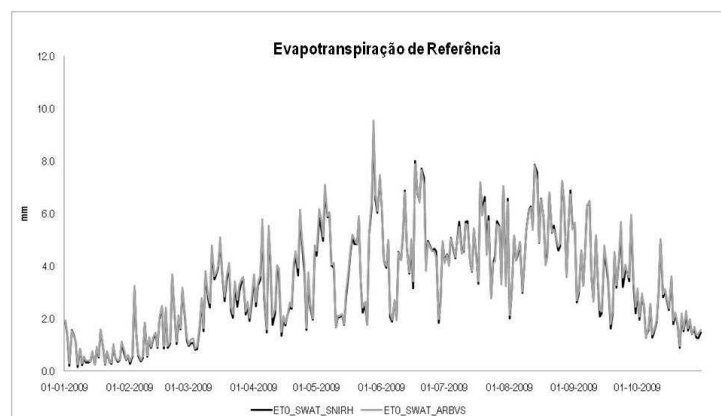
## 2.5 Validação do modelo SWAT

A primeira validação do modelo foi relativa à evapotranspiração de referência. Para isso, os resultados do modelo SWAT foram comparados com os resultados obtidos directamente através da fórmula de Penman-Monteith do documento FAO56 (ALLEN *et al.*, 1998). Quer no modelo, quer nos cálculos com a fórmula de Penman-Monteith foram utilizados os dados das estações meteorológicas da ARBVS (Associação de Regantes e Beneficiários do Vale do Sorraia) para o ano de 2009. A Figura 4 compara ambos os resultados, podendo-se observar que os resultados são muito semelhantes. Este resultado seria esperado uma vez que o SWAT utiliza a mesma fórmula para o cálculo da evapotranspiração de referência.



**Figura 4 Comparação entre os resultados de Evapotranspiração de Referência do modelo SWAT e calculados pela fórmula da FAO56 (Erro médio relativo = 0.48 mm)**

De seguida, foi estudado o impacto que o uso de diferentes estações meteorológicas poderia ter no cálculo da evapotranspiração de referência com o modelo SWAT. Foram assim utilizados dados de temperatura (máxima e mínima), velocidade do vento e humidade relativa, referentes à estação de Barragem de Magos do SNIRH e da estação Paul Magos das estações da ARBVS (Figura 5), estações muito próximas espacialmente, mas de instituições diferentes.



**Figura 5 Comparação dos valores de Evapotranspiração de Referência do modelo SWAT, utilizando diferentes estações meteorológicas (Erro médio relativo = 0.25 mm)**

O impacto do uso de culturas de referência diferente nos valores de evapotranspiração também foi observado. A Figura 6 mostra o resultado da evapotranspiração de referência utilizando as resistências dos copados das culturas de luzerna e da relva, onde pode ser observado que as diferenças apresentam-se principalmente no período de rega. A cultura de luzerna apresenta sempre valores de evapotranspiração superiores, uma vez que tem maior resistência de superfície. Além disso, a luzerna pode ter uma altura máxima de 40 cm enquanto que a relva só atinge no máximo do seu crescimento um altura de 12 cm.

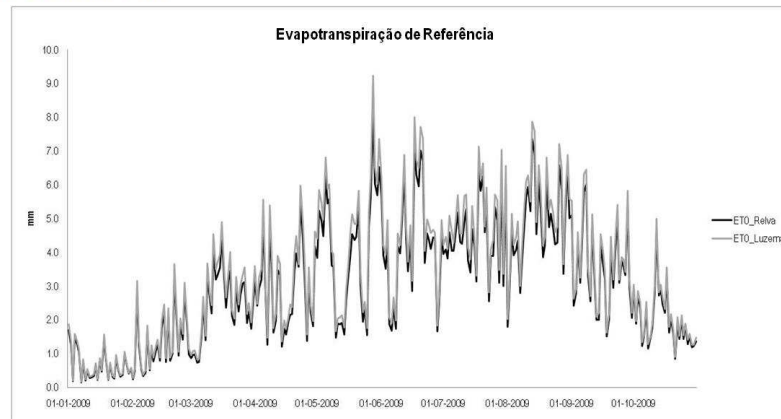


Figura 6 Comparação dos resultados de evapotranspiração de referência obtidos para duas culturas de referência diferentes: luzerna e relva (Erro Médio Relativo = 0.35 mm)

O modelo SWAT estima as componentes da evapotranspiração (transpiração da cultura e evaporação do solo) utilizando a abordagem similar ao trabalho de Richey (1972). A sublimação/evaporação do solo é calculada utilizando a equação:

$$E_s = E'_0 \cdot cov_{sol} \quad (1)$$

Em que:

$E_s$  - máxima evaporação no solo num dia (em mm);

$E'_0$  - evapotranspiração de referência ajustada para a evaporação da água no copado (em mm);

$cov_{sol}$  - índice de cobertura do solo.

O parâmetro  $cov_{sol}$  é a quantidade de biomassa e resíduo que se encontra no solo, estando a evolução biomassa directamente relacionada com índice de área foliar.

Sendo a máxima sublimação e evaporação do solo reduzida durante os períodos de maior uso de água pela cultura:

$$E'_s = \min \left[ E'_s, \frac{E_s \cdot E'_0}{E_s + E_t} \right] \quad (2)$$

Em que:

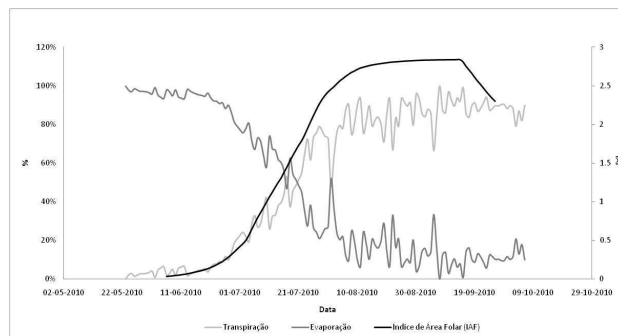
$E'_s$  - máxima sublimação/evaporação do solo ajustada para o uso de água pela planta num dia (em mm);

$E_s$  - máxima sublimação/evaporação do solo num dia (em mm);

$E'_0$  - evapotranspiração de referência ajustada para a evaporação da água no copado (em mm);

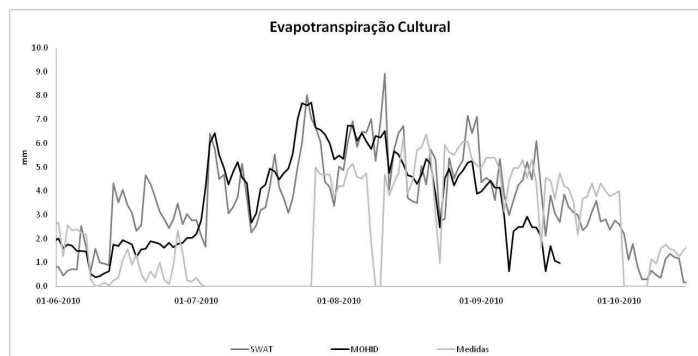
$E_t$  - transpiração num dia (em mm).

Na Figura 7 pode-se observar a curva de Índice de Área Foliar, da transpiração das culturas e da evaporação do solo (componentes evapotranspiração). No período inicial só a evaporação do solo é representado uma vez que a cultura ainda não iniciou o seu crescimento. Quando a cultura inicia o seu crescimento, observa-se que o aumento da transpiração cultural e do IAF. Com este aumento, pode-se observar a diminuição da evaporação do solo, porque parte da água inicialmente no solo é consumida pelas culturas e, por conseguinte é transpirada. Assim, observa-se que a evapotranspiração está directamente relacionada com o Índice de Área Foliar.



**Figura 7 Comparação dos resultados de transpiração cultural, evaporação do solo e Índice de Área Foliar, obtidos pelo modelo SWAT**

Os resultados de evapotranspiração cultural de ambos os modelos (SWAT e MOHID Land) foram comparados com as medidas da estação da ARBVS (Figura 8), considerando valores de  $K_c$  disponibilizados pela associação. Concluiu-se que o comportamento dos modelos é muito consistente.



**Figura 8 Comparação dos resultados de evapotranspiração cultural com os modelos MOHID e SWAT, e com as medidas da ARBVS**

## 2.6 Calibração do modelo SWAT

O modelo SWAT foi calibrado com o resultado das medidas de campo de IAF. Estas medidas permitiram mostrar que o modelo após calibrado permite resultados muito consistentes e realistas para as parcelas em questão. Para esta calibração foram modificados dois parâmetros no modelo: o IAF máximo considerado para a cultura de milho que no modelo inicialmente apresenta o valor de 6, sendo diminuído para 3; e as unidades de calor da cultura de milho, que o modelo considera 1800 por defeito e foi alterado nas parcelas I e II para 2400 e na

parcela III para 2200. Esta calibração permitiu uma melhoria significativa na curva de IAF resultante do modelo (na Figura 9, exemplo das curvas de IAF para a parcela II).

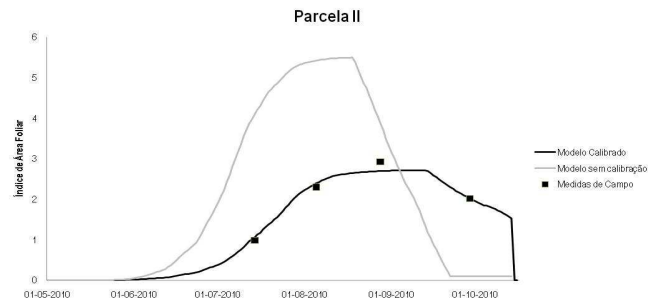


Figura 9 Curvas de IAF resultantes do modelo SWAT calibrado e sem calibração, e as medidas de campo efectuadas

## 2.7 Validação das previsões meteorológicas

A previsão do SWAT pode usar tanto os dados meteorológicos medidos como os previstos, sendo a coerência entre ambas extremamente importante para a uma previsão consistente da evapotranspiração. Foram assim comparadas as previsões numéricas com os valores medidos numa das estações da ARBVS. As

Figura 10 a), b) e c) mostram que as previsões de temperatura, humidade relativa e precipitação são semelhantes às medidas da ARBVS, com uma ligeira sobrestimação da temperatura máxima diária. Na

Figura 10 d) observa-se que as previsões da velocidade do vento não são muito consistentes com as medidas detectando-se pequenas flutuações. No entanto, o comportamento diário é bastante semelhante.

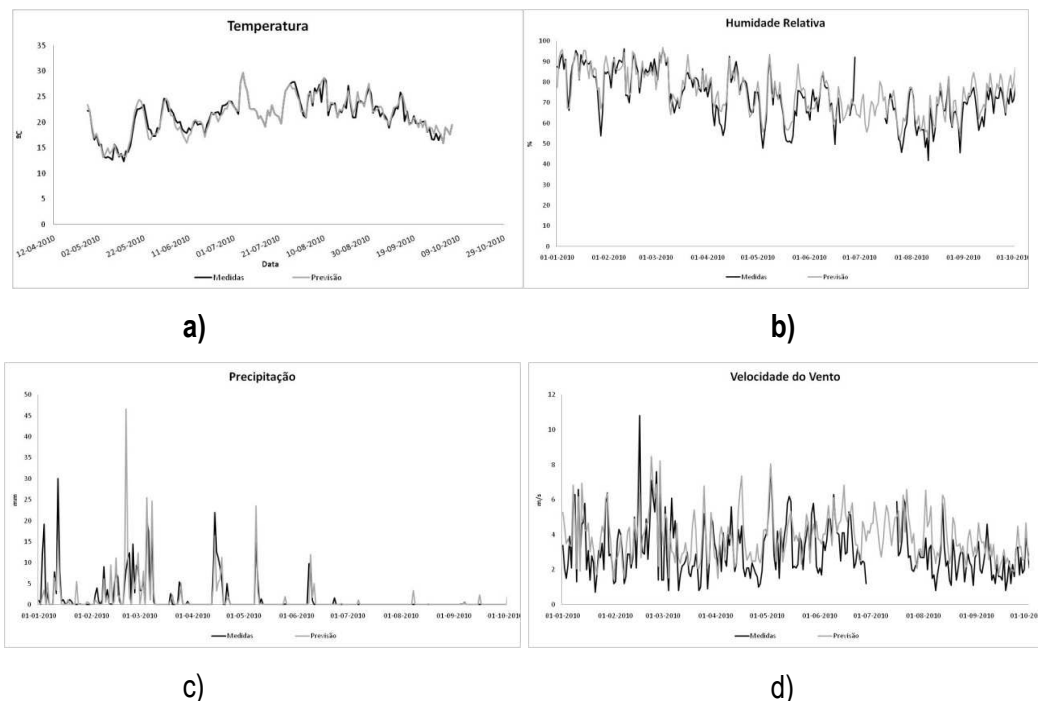


Figura 10 Comparação das medidas meteorológicas da ARBVS e das previsões obtidas pelo modelo de temperatura (a), humidade relativa (b), precipitação (c) e Velocidade do vento (d)



## 2.8 Serviço operacional de previsões: mensagens de telemóvel

As mensagens de telemóvel resultaram do modelo SWAT que correu em modo de previsão usando os dados meteorológicos das estações meteorológicas da ARBVS da semana anterior e as previsões meteorológicas para a semana seguinte.

Os dados meteorológicos da semana anterior provêm da estação mais próxima da parcela em questão, e as previsões meteorológicas são produzidas pelo modelo numérico MM5 (Mesoscale Model, Versão 5) que corre operacionalmente no IST (<http://meteo.ist.utl.pt>) para Portugal com 9 km (TRANCOSO A.R., *et al.* 2007). As previsões são convertidas para um formato que pode ser lido pelos modelos MOHID Land e SWAT.

## 3. Resultados

As mensagens de telemóvel foram enviadas todas as semanas durante o período de rega de 2010 (Maio a Setembro) para os seis produtores de milho do Vale do Sorraia considerados, com valores de temperatura, precipitação e evapotranspiração cultural total (em milímetros) medidos na semana anterior e com os valores com as previsões para a semana seguinte. Cada agricultor possui várias parcelas com pivôs que podem diferir entre si nas espécies das culturas, assim como nas práticas agrícolas (datas de sementeira, fertilização e de rega), sendo que cada mapa gerado de evapotranspiração cultural e índice de área foliar, assim como as mensagens de telemóvel, foram produzidas de acordo com as parcelas que os agricultores identificaram. Assim, cada agricultor pôde receber vários produtos para as diferentes parcelas identificadas como suas.

A Figura 11 mostra o esquema do serviço completo, com todas as etapas. As previsões diárias para os seis dias seguintes foram também mostradas na internet (Figura 12).

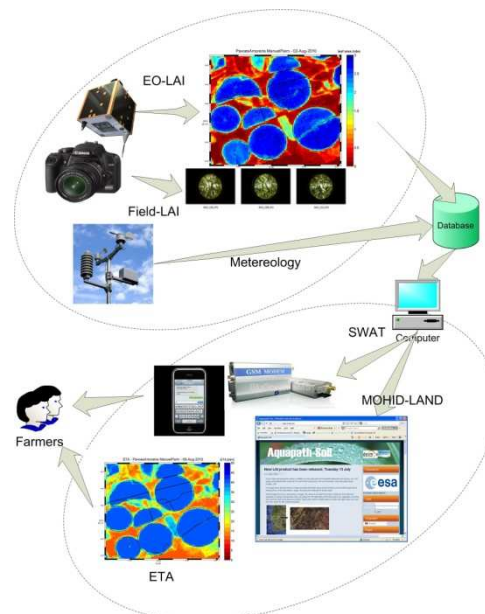


Figura 11 Esquema do serviço Aquapath-Soil

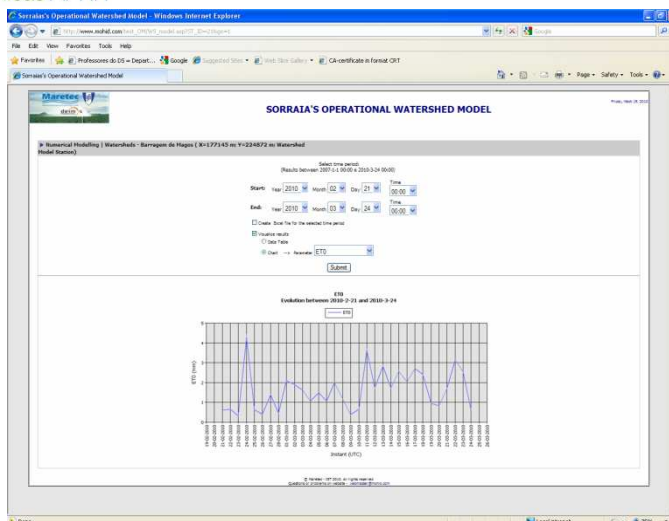


Figura 12 Previsões do SWAT disponíveis na internet ([www.agro-evapo.eu](http://www.agro-evapo.eu))

### 3.1 Eficiência dos dados fornecidos nas mensagens de telemóvel

A Tabela 1 mostra um exemplo da informação de ETA enviada em cada semana para um dos agricultores, com as medidas na terceira coluna (semana anterior), a previsão na quarta coluna (semana seguinte), a diferença entre ambas na terceira coluna e a percentagem de erro na última coluna. Pode ser observado que apenas na segunda e quarta semanas existem maiores discrepâncias entre as previsões e medidas.

Tabela 1 Comparação dos resultados enviados de ETA, previsão da próxima semana e medidas da semana anterior, e erro estimado nas previsões

Semana	Data inicial	Semana Anterior (medidas)	Próxima Semana (previsão do modelo)	Erro	% de Erro
1	19-07-2010	30	38	-3	-8%
2	26-07-2010	41	60	13	22%
3	02-08-2010	47	50	-2	-4%
4	09-08-2010	52	51	8	16%
5	16-08-2010	43	32	-1	-3%
6	23-08-2010	33	31	1	3%
7	30-08-2010	30	36	-2	-6%
8	06-09-2010	38	24	-5	-21%
9	13-09-2010	29	25	-1	-4%
10	20-09-2010	26	15	-6	-40%
11	27-09-2010	21	14	-4	-29%
12	04-10-2010	18	8	3	38%
13	11-10-2010	5	6	-	-

### 3.2 Mapas de Evapotranspiração Cultural e de Índice de Área Foliar

Os mapas de índice de área foliar (Figura 13) e de evapotranspiração cultural (Figura 14) foram entregues aos agricultores sob a forma de relatórios e também disponibilizados na página

do projecto em cada área de utilizador em formato kmz de forma a ser possível visualizar directamente no Google Earth (Figura 15). A escala de cores varia entre o vermelho (mínimo) e o azul (máximo). Cada mapa de IAF dizem respeito ao dia da data a que foi tirada a imagem de satélite, enquanto que os mapas de evapotranspiração actual é referente à evapotranspiração acumulada numa semana (em mm).

Cada mapa da figura seguinte apresenta um conjunto de pivôs com a cultura de milho, observando-se a evolução ao longo dos meses do IAF. O máximo de IAF observa-se no mês de Agosto sendo a partir do mês de Setembro e Outubro que se observa a diminuição do IAF que corresponde ao período de senescência da cultura.

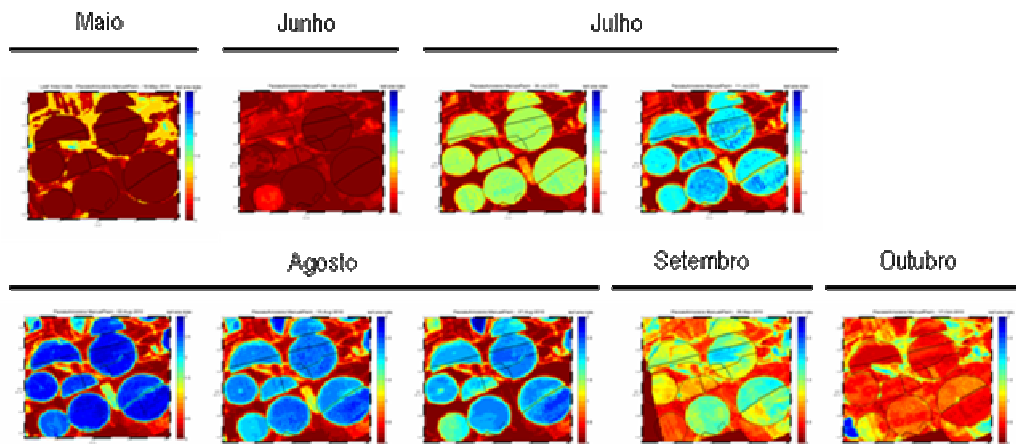


Figura 13 Exemplo de alguns dos mapas de IAF que cada agricultor pôde visualizar

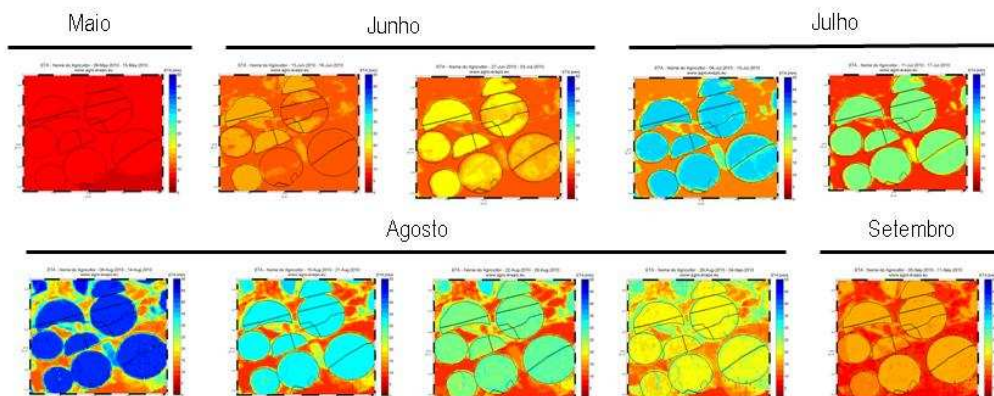


Figura 14 Exemplo de alguns dos mapas de ETA que cada agricultor pôde visualizar

Cada mapa da figura acima apresenta um conjunto de pivôs com a cultura de milho, observando-se a evolução ao longo dos meses de ETA acumulada numa semana. O máximo de ETA observa-se no mês de Agosto sendo a partir do final de Agosto e em Setembro que se observa a diminuição da ETA, tal como seria de prever uma vez que a ETA está directamente relacionada com o IAF.

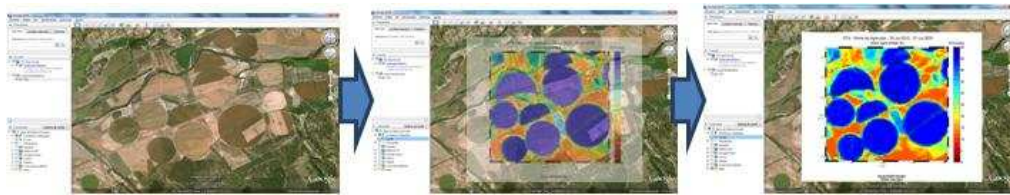


Figura 15 Exemplo de visualização no Google Earth da ETA do dia 31 de Julho de 2010. A opção da transparência pode ser utilizada de forma a que o agricultor possa confirmar a localização das suas parcelas

Os agricultores puderam visualizar a evolução das suas parcelas ao longo de toda a campanha do milho (entre Maio e Outubro), observando falhas que possam existir em cada pivô, como por exemplo áreas com falta ou excesso de água, que possam afectar a produção final.

### 3.3 Resultados do modelo vs realidade no local: ETA/Regas

De forma a perceber se a água de rega aplicada nas parcelas e a que foi evapotranspirada nas mesmas foi muito discrepante, comparou-se para um dos agricultores a dotação de rega efectivamente aplicada na parcela e os valores de evapotranspiração cultural enviados por SMS ao mesmo agricultor (Figura 16).

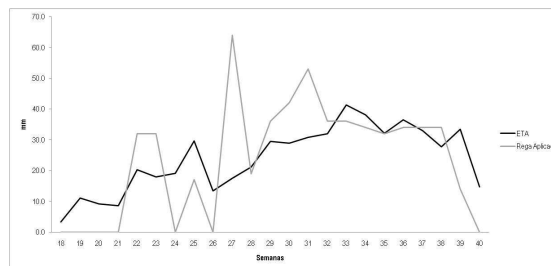


Figura 16 Comparação entre os valores previstos de evapotranspiração cultural e a rega efectivamente aplicada na parcela

Estes resultados mostram que a quantidade de água aplicada na parcela poderia ter sido diminuída em cerca de 20%.

Ao longo das visitas de campo à parcela, pôde-se verificar que se encontrava com excesso de água, sendo estes resultados também observados no modelo (com a dotação de rega real) que mostraram que as culturas nesta parcela teriam stress de arejamento (Figura 17).

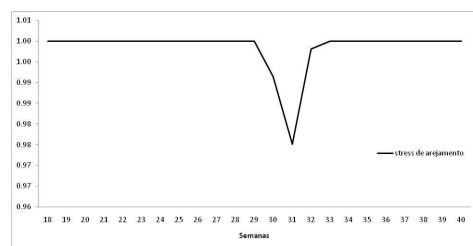


Figura 17 Stress por arejamento (excesso de água) observado na parcela nas semanas 30, 31 e 32 – resultado do modelo SWAT

## 4. DISCUSSÃO

Neste primeiro ano de entrega do serviço, este foi avaliado positivamente pelos agricultores. Contudo existem ainda incertezas quanto às estimativas feitas. Este serviço pretendeu desde o princípio fornecer uma estimativa do que se convencionou chamar evapotranspiração actual. Contudo esta estimativa depende diversos parâmetros que, quando desconhecidos, originam incerteza. Na perspectiva da melhoria do serviço apresentam-se de seguida esses parâmetros.

O método da estimativa do IAF baseia-se na análise de uma fotografia hemisférica. Este método poderá subestimar os valores de IAF, tendo em conta resultados obtidos para a região (Cameira, 1999). Estão a ser desenvolvidos métodos destrutivos para calibrar e/ou validar os resultados.

As propriedades do solo são também utilizadas para estimar a quantidade de água disponível no solo. Em condições normais as culturas não estão em stress hídrico pelo que não se espera um impacto muito grande na ETA.

Os dados meteorológicos medidos também contribuem com alguma incerteza, tendo em conta a distância das propriedades em relação às estações e também a falhas e erros nas medições.

A data de sementeira fornecida pelo agricultor muda também a estimativa da ETA. As imagens de satélite de IAF permitirão com o tempo validar cada vez mais o valor fornecido.

Foram feitos alguns testes sobre o impacto que todas estas incertezas têm sobre o resultado final. O resultado destes testes serão publicados em revista da especialidade mas, a pré análise feita remetem para uma incerteza da ordem dos 10 a 20%.

A quantidade de água aplicada pelos agricultores influencia também a quantidade estimada de ETA. Não estando disponível a água aplicada por cada agricultor, utilizou-se valores típicos para a região. Espera-se que o serviço possa evoluir para obter este tipo de valores, sendo o principal esforço da parte do agricultor, pois o sistema desenvolvido permite facilmente incluir esta rega.

## 5. CONCLUSÕES

Este serviço permitiu aos agricultores do vale da ARBVS receber por SMS a informação de evapotranspiração personalizada. Ou seja, o agricultor passou a receber para cada pivot a ETA que auxilia na decisão da rega a aplicar. Este serviço teve em conta um parâmetro bastante variável que é a data de sementeira. Esta avaliação positiva do serviço permitiu que ele se repetisse no presente ano.

O modelo MM5 permite previsões meteorológicas como a de temperatura, precipitação e humidade relativa semelhantes às medidas. Deste modo torna-se possível a estimativa de valores de ETo muito semelhantes aos estimados com as medidas das estações meteorológicas. Deste modo o modelo SWAT foi utilizado também em modo de previsão utilizando não só dados meteorológicos da semana anterior mas também as previsões para a semana seguinte.

Os resultados dos modelos SWAT e MOHID Land foram comparados com resultados obtidos directamente com as folhas de excel disponibilizadas pela FAO.

Observou-se que a aplicação de rega por alguns agricultores pode ser sobrestimada, podendo estes com base neste serviço gerir a água de rega aplicada com maior eficiência (em cerca de 20% menos de água aplicada) sem afectar a sua produção. Esta estimativa deverá ainda ser confirmada visto se esperar cerca de 10 a 20% de incerteza nos resultados do sistema.

## BIBLIOGRAFIA

AILLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES D.; SMITH, M. (1998). "Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements". *FAO Irrigation and drainage paper 56*.

CAMEIRA M.R. (1999). "Balanço de água e azoto em milho regado no Vale do Sorraia: discussão dos processos de transferência e aplicação do modelo". Tese de Doutoramento, Instituto Superior de Agronomia, Dep. Engenharia Rural.

HARGREAVES, G.L.; HARGREAVES, G.H.; RILEY, J.P. (1985). "Agricultural benefits for Senegal River Basin". *J. Irrig. and Drain. Engr.* pp. 111(2):113-124.

MONTEITH, J.L. (1965). "Evaporation and the environment". *In The state and movement of water in living organisms*. 19th Symposia of the Society for Experimental Biology. Cambridge Univ. Press, London, U.K, pp. 205-234.

NEITSCH, S.L.; ARNOLD, J.G.; KINIRY, J.R.; J.R., WILLIAMS, (2005). *Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation*, Version 2005. Blackland Research Center/Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, Grassland/Temple, TX.

PRIESTLEY, C.H.B.; TAYLOR, R.J. (1972). "On the assessment of surface heat flux and evaporation using large-scale parameters". *Mon. Weather Rev.* pp.100:81- 92.

RITCHIE, J.T. (1972). "Model for predicting evaporation from a row with incomplete cover". *Water Resources Research*, 8, 1204-1213.

TRANCOSO, A. R.; DOMINGOS, J. D.; TORRES, P.; PESTANA, R. (2007) "Wind power predictability: comparative study of forecasts with MM5 and WRF for Portuguese Transmission System Operator". *7th EMS meeting / 8th ECAM*, Madrid (Espanha), 1-5 Outubro