

# Capítulo 9

## Gestão da água no Regadio

Shakib Shahidian

*ICAAM - Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais Mediterrânicas,  
Escola de Ciência e Tecnologia  
Universidade de Évora*

### 1. Introdução

É legítimo afirmar que o papel do agricultor é garantir que as suas culturas cresçam no máximo do seu potencial genético. Nesta ótica, a função da rega é garantir que a água nunca seja um fator limitante ao crescimento ótimo das culturas. A gestão da rega pretende alcançar essa meta de otimização, utilizando o mínimo de água e demais recursos.

Há umas décadas atrás, o regante tinha de avaliar as necessidades das culturas com base na sua experiência e análise cuidada e regular do solo e da apresentação das plantas. Hoje, com meios modernos de apoio à decisão é possível ao regante otimizar a gestão da rega apoiado num conjunto objectivo de parâmetros, aliviando um pouco a necessidade de monitorização constante de cada folha de cultura.

A gestão da rega tem como objetivo responder às seguintes duas perguntas: quando regar e quanto regar. Os sistemas de rega sob pressão, como a gota-a-gota e o pivô simplificam e automatizam a rega, pelo que muitos agricultores esquecem da importância da gestão cuidada da rega, preferindo regar a mais do que ter de ajustar a rega às necessidades reais das plantas. Assim, nos controladores convencionais de rega, muitas vezes as dotações não são ajustadas ao longo do ciclo de crescimento, o que resulta em excesso de água nas primeiras fases de crescimento, em que as plantas são pequenas e a evapotranspiração é ainda reduzida, como é o caso de maio e junho, e algum stress nas plantas quando elas realmente precisam de água como é o caso da floração em julho e agosto. Por outro lado existe uma grande variabilidade climática entre os anos, pelo que a utilização da “média” será muitas vezes desajustada da realidade efetiva da cultura.

Em muitas situações, um outro objetivo da gestão da água de rega é contornar ou minimizar problemas de qualidade da água e do solo tais como a salinidade, erosão do solo ou lixiviação dos nutrientes ou dos

pesticidas para as águas subterrâneas. A perda de nutrientes por lixiviação só existe em caso de fluxo de água para fora da zona radicular, o que apresenta maior probabilidade de ocorrer em solo de textura ligeira. Nestes solos, de elevada condutividade hidráulica saturada e baixa capacidade de retenção da água, a lixiviação dos nitratos pode ocorrer por duas razões: aplicação de dotações elevadas e existência de intervalos muito pequenos entre as regas. Em contraste, nos solos de textura pesada, com baixa condutividade hidráulica e elevada capacidade de retenção da água, as perdas resultantes da rega poderão ocorrer apenas devido a dotações extremamente elevadas.

Dada a grande importância económica e ambiental da gestão correta da rega, existem hoje inúmeras soluções técnicas ao dispor dos agricultores. De uma forma geral, podem classificar-se estes métodos de gestão de rega em métodos baseados na evapotranspiração, no teor de água no solo e no estado hídrico das plantas.

## 2. Gestão com base na evapotranspiração

No capítulo 8 verificou-se que a evapotranspiração potencial representa as perdas potenciais de água de uma cultura de relvado devidamente regado e mantido. Com base nos valores diários da perda de água por evapotranspiração é possível realizar uma gestão correta da rega, repondo no solo as perdas de água desde a rega anterior.

Uma vez calculada a  $ET_o$ , é necessário converter os valores para a cultura em causa. Para o efeito é necessário multiplicar a  $ET_o$  por um coeficiente, designado de Coeficiente Cultural,  $K_c$ , que terá um valor inferior a 1 para culturas que precisam de menos água do que relva e superior a 1 para culturas que precisam de mais água. Assim obtemos a evapotranspiração cultural,  $ET_c$ .

$$ET_c = ET_o K_c \quad (9.1)$$

Por outro lado as necessidades hídricas das plantas não se mantêm constantes ao longo do seu ciclo de crescimento. Numa fase inicial, enquanto as plantas não ocupam a totalidade do solo, o seu  $K_c$  será pequeno (Figura 9.1). À medida que aumenta o seu crescimento e passam a ocupar mais de  $\frac{3}{4}$  da superfície do solo, o seu  $K_c$  aumenta e atinge um máximo, normalmente, por altura de floração. O  $K_c$  mantém-se no seu valor máximo na fase inicial da formação dos frutos, começando a diminuir rapidamente, à medida que a cultura entra em senescência. Em algumas culturas como a vinha e o milho, é desejável fazer o corte antecipado da rega. Os valores de  $K_c$  para as diferentes fases de

crescimento (inicial, crescimento rápido, pleno desenvolvimento e final), estão apresentadas no Quadro 9.1.

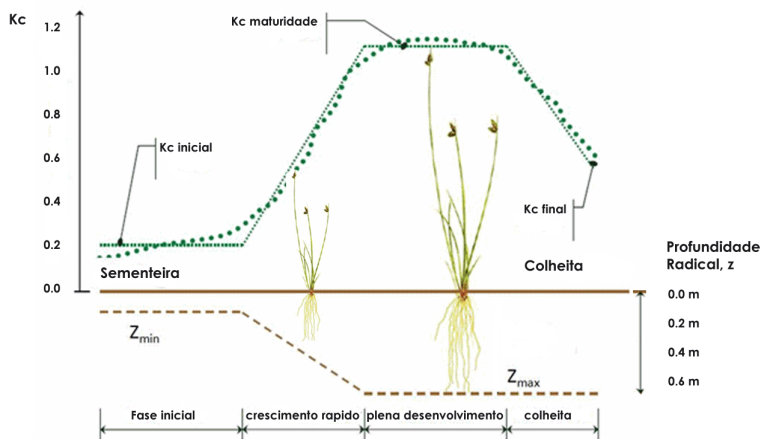


Figura 9.1 Exemplo de evolução do Coeficiente cultural,  $K_c$ , e da profundidade radical ao longo do ciclo de crescimento de uma cultura.

Uma vez determinada a  $ET_c$ , cabe ao agricultor repor a água perdida pela cultura. Essa reposição pode ser diária, especialmente quando as plantas são pequenas, ou ter um intervalo maior à medida que as culturas crescem. Quando se opta por uma gestão aprimorada da rega, deve-se ir aumentando o intervalo entre as regas à medida que as raízes exploram camadas mais profundas do solo. De uma forma geral, a estratégia de rega deve procurar em cada rega, humedecer toda a zona radical das plantas, sem haver perdas por lixiviação. Ou seja, em cada rega pretende-se levar água a toda a zona explorada pela planta, e preferencialmente, ir um pouco mais longe para encorajar o seu crescimento ou realizar alguma lavagem dos sais. É importante, especialmente no caso da rega gota-a-gota, encorajar as raízes a explorar um volume máximo do solo, não só para poderem mais facilmente retirar nutrientes existentes no solo ou deixados do ano anterior, como também para terem uma reserva maior de água em caso de avaria no sistema, entupimento ou eventuais atrasos na rega. Assim, o intervalo entre as regas e a dotação, deve ser conjugado por forma a reabastecer o solo até à capacidade do campo, numa profundidade sensivelmente equivalente à zona explorada pelas raízes.

## 2.1 Recolha de informação para gestão com base na evapotranspiração

A recolha de dados de clima para o cálculo da Eto pode ser feita através das redes meteorológicas públicas (INAG, SAGRA, etc..) ou através de estações meteorológicas instaladas na exploração. Podem utilizar-se programas livres como o EtoCalc ou Isareg para calcular a Eto diário ou mensal segundo o método de Penman-Monteith. As redes públicas são mais económicas, no entanto as condições meteorológicas da estação, especialmente o vento, podem diferir bastante das condições exatas da folha de cultura. As estações meteorológicas privadas dão resultados locais mais exatos, no entanto exigem um investimento inicial e manutenção contínua. De uma forma geral, verifica-se que para os pequenos e médios agricultores é preferível recorrer aos serviços públicos, visto estes agricultores não terem tempo nem recursos para garantirem a manutenção correta das estações.

Em alternativa podem utilizar-se controladores de rega “inteligentes” ou “adaptativos” que determinam a ETc com base num número reduzido de parâmetros. Esses controladores fazem a recolha de dados climáticos e a gestão da rega de forma automatizada. Um modelo disponível no mercado é o Ecorega, desenvolvido pela Universidade de Évora que utiliza a equação de Hargreaves Samani para calcular a Eto com base em apenas um sensor de temperatura.



Figura 9.2 Aspecto do controlador de rega inteligente Ecorega TX desenvolvido pela Universidade de Évora.

## 3. Gestão com base no teor de água no solo

Uma forma directa de averiguar as necessidades hídricas das culturas é a medição ou avaliação do teor de água no próprio solo. Se

devidamente calibrados e conduzidos, estes métodos proporcionam ao agricultor uma ferramenta muito precisa para acompanhar as necessidades de rega das culturas, visto permitirem saber a tensão efectiva que as raízes precisam de vencer para retirar água do solo. Em Portugal a gestão da rega com base na medição direta do teor de água no solo é amplamente utilizada em pomares e vinhas. Os agricultores monitorizam a evolução do teor da água em vários estratos do solo e gerem a rega não só para maximizar a produção mas, no caso da vinha, também para otimizar outros parâmetros produtivos e da qualidade da uva.

Em alternativa à medição direta, e especialmente na fase de conceção dos sistemas de rega, é usual realizar o balanço hídrico da água no solo para determinar as necessidades de rega. Neste método, avalia-se o teor de água no solo no início da campanha e realiza-se um balanço diário subtraindo a água perdida pela evapotranspiração e adicionando a água fornecida pela chuva e pela rega. Quando o objetivo é conceber e dimensionar novos sistemas de rega, é usual utilizar valores de normais climatológicos em vez de medições anuais de parâmetros climáticos.

### 3.1. Gestão baseada no balanço hídrico do solo

A água disponível no solo para as plantas, ou seja a *capacidade utilizável*,  $u\%$  (Figura 9.3) é compreendida entre a capacidade do campo,  $C_c$ , e o coeficiente de emurchecimento,  $C_e$ . É normalmente expressa em g de água por g do solo, e pode ser em percentagem.

$$u\% = C_c - C_e \quad (9.2)$$

Em termos práticos, a capacidade utilizável, quando expressa em percentagem de peso do solo, é pouco útil, visto os agricultores trabalharem com áreas e não com peso do solo. Para convertermos a capacidade utilizável em mm ( $L/m^2$  de solo), é necessário primeiro converter a % de peso para % de volume e depois multiplicar pela profundidade do solo explorada pelas raízes,  $z$ , mm. As profundidades típicas das principais culturas estão apresentadas no Quadro 9.2. Assim, obtemos a Capacidade Utilizável,  $U$  em mm:

$$U = z \, u\% \, D_{ap} \quad (9.3)$$

Nesta equação, a Densidade aparente<sup>1</sup>,  $D_{ap}$ , converte a percentagem de peso em percentagem de volume. É de referir que a

---

<sup>1</sup> A Densidade aparente é a relação entre o peso e o volume de uma amostra de solo seco não perturbada.

profundidade efetivamente explorada pelas raízes varia conforme a cultura e o tipo do solo e que aumenta ao longo do ciclo de crescimento, pelo que será necessário atualizar o seu valor para cada estágio de crescimento. A existência de impermees, calos de lavoura, ou da rocha mãe limitam normalmente a profundidade alcançada pelas raízes. Adicionalmente, na rega gota-a-gota, muitas vezes a profundidade radical é condicionada pela dimensão do bolbo molhado.

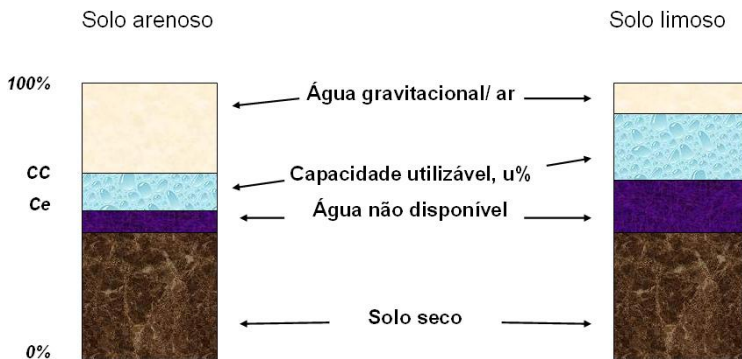


Figura 9.3. A capacidade utilizável é a água que as plantas podem retirar do solo, e é definida como a diferença entre a capacidade do campo (teor de água a 1/3 atm e pF 2,54) e o coeficiente de emurchecimento (teor de água a 15 atm e pF 4,2).

O primeiro passo para a gestão da rega com base no teor de água no solo é definir o limite inferior de teor de água no solo que serve como valor de referência para o início da rega. Teoricamente, este limite inferior poderia corresponder ao coeficiente de emurchecimento. Verifica-se no entanto que, quando é permitido ao solo secar até ao coeficiente de emurchecimento, muitas culturas comerciais já deixaram de crescer no seu potencial genético máximo. Por isso, foi definido o conceito de *coeficiente de gestão de rega, p*, que é a percentagem da capacidade utilizável, *u%* que as plantas podem facilmente extrair do solo, sem comprometer a produção. O coeficiente *p* pode tomar valores entre 0,2 e 0,9, onde as plantas sensíveis terão um *p* pequeno, enquanto que as plantas mais resistentes terão um *p* maior. Os valores médios do coeficiente de gestão da rega, *p*, estão apresentados no Quadro 9.3. Assim, a água facilmente disponível para as culturas, *h<sub>u</sub>*, em mm será dada por:

$$h_u = p U \quad (9.4)$$

É também necessário estimar o teor inicial de água no solo, *h<sub>o</sub>*. No nosso clima é relativamente fácil estimar o *h<sub>o</sub>* para as culturas de primavera-verão, pois pode considerar-se que, no início da campanha, o

solo estará à capacidade do campo. Neste caso o  $h_o$  é calculado da mesma forma que o  $h_u$ , considerando uma profundidade radicular correspondente aos primeiros estádios do desenvolvimento da cultura.

O segundo passo do método é definir quanto regar. Geralmente, e sempre que o objectivo seja maximizar a produção, a dotação deve repor o solo á capacidade do campo, ou seja a rega deve ser equivalente à  $h_u$ .

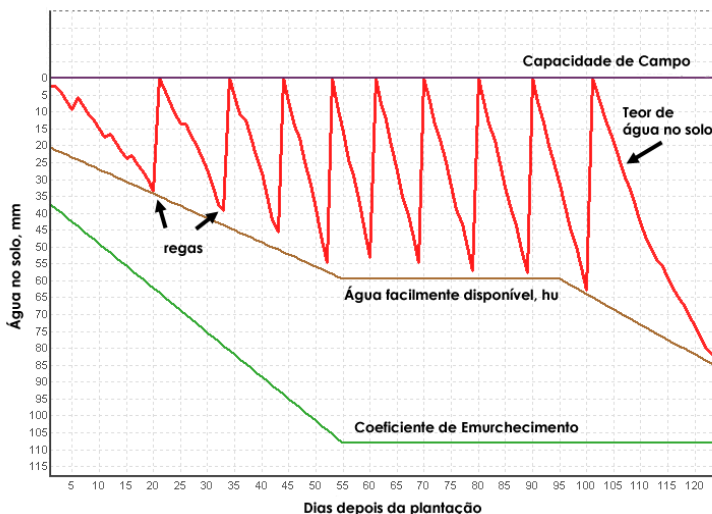


Figura 9.4 Exemplo de um balanço hídrico do solo com o método da FAO. O teor de água no solo (linha vermelha) deve ser mantido entre o  $h_u$  e a capacidade de campo,  $C_c$ . O teor de água desce devido à  $ET_o$ , e é depois é repostos pelas regas (linhas verticais).

O momento exato da rega e a dotação a aplicar podem ser calculados graficamente através da realização do balanço hídrico do solo. Os métodos mais conhecidos são de Thornthwaite Mather e da FAO (Figura 9.5). Nestes métodos, o solo é visto como um reservatório, em que as saídas de água devido à evapotranspiração são repostas através da chuva e da rega. A  $ET_c$  vai reduzindo a água existente no solo, e no momento em que se esgota a água facilmente disponível,  $h_u$ , é realizada uma rega. Este ponto, chamado de armazenamento crítico,  $A_c$ , é dado por:

$$A_c = (1 - p)U \quad (9.5)$$

No fim do capítulo pode encontrar um exemplo do cálculo do balanço hídrico para a cultura do milho. Ao realizar o balanço hídrico irá reparar que o método considera que parte da chuvada é perdida (para atmosfera ou através de escoamento superficial) e portanto não faz parte

da Precipitação efectiva,  $P_e$ . Normalmente utilizam-se valores mensais de Coeficiente de retenção da chuva,  $K_e$ , para calcular a Precipitação efectiva. Estes valores estão apresentados no próprio exemplo.

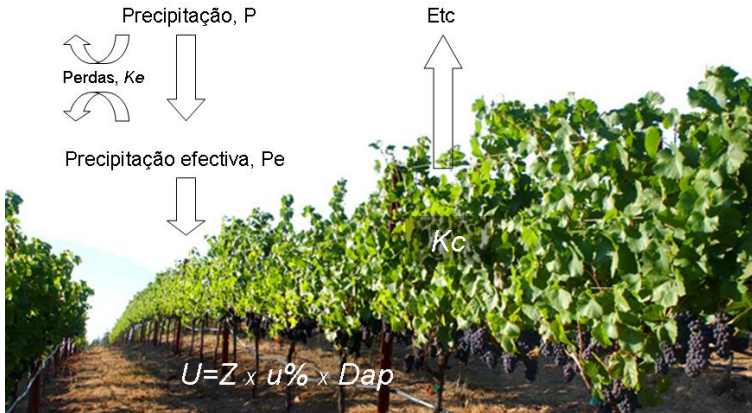


Figura 9.5. Esquema geral do Balanço Hídrico pelo método da FAO. A precipitação, a rega e a ETC alteram o valor da água disponível no solo. A rega é realizada quando a água facilmente disponível é esgotada, e o teor de água no solo atinge o Armazenamento crítico,  $A_c$ . O objectivo da rega é repor o solo à Capacidade de campo.

### 3.2 Gestão baseada na medição direta de água no solo

O método gravimétrico é o método tradicional de medição de água no solo e consiste em retirar amostras de solo a diferentes profundidades e medir graviticamente o teor de água nas amostras. É importante que as amostras sejam tiradas de profundidades onde se concentram as raízes e que sejam representativas do teor médio de água no solo. Utiliza-se normalmente uma sonda de meia cana, que é inserida no solo até à profundidade desejada. A sonda é rodada por forma a definir a amostra e é retirada cuidadosamente. Com a ajuda de uma fita métrica, são tiradas amostras das profundidades desejadas. As amostras devem ser imediatamente guardadas em caixas, ou pesadas.

Depois de obtido o peso húmido das amostras, estas são secas em estufa a  $105^{\circ}\text{C}$  durante 24 h. A diferença de peso indica o teor de água,  $\theta$ , utilizando a seguinte equação:

$$\theta = \frac{P_{humido} - P_{seco}}{P_{seco}} \quad (9.6)$$

Em que  $P_{húmido}$  é o peso do solo húmido e o  $P_{seco}$  é o peso do solo



seco. A tara da caixa deve ser subtraída a estes valores. As medições podem ser em gramas e o teor de água pode ser expresso em percentagem de peso.

A percentagem de água no solo, só por si, não é muito útil para a gestão da rega, visto a força com que a água é retida no solo variar conforme o tipo do solo. Para cada tipo de solo é importante determinar analiticamente, num laboratório, os teores de água correspondentes ao ponto de emurchecimento e ao coeficiente do campo. Muitos laboratórios também podem determinar as curvas de retenção de água no solo, as chamadas curvas pF, que dão uma ideia mais completa do comportamento hídrico do solo (Figura 9.6).

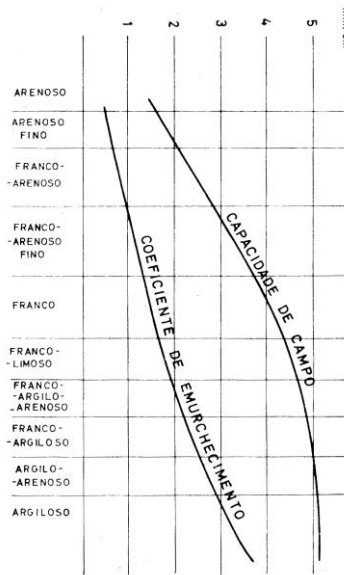


Figura 9.6 Variação da Capacidade de campo e do Coeficiente de emurchecimento de acordo com a textura. A diferença entre as duas linhas define a capacidade utilizável de cada solo (Fonte: Botelho da Costa, 1973).

### 3.3. Gestão baseada na medição indireta de água no solo

Como a recolha e a análise de amostras de solo é algo trabalhoso, muitos agricultores e investigadores preferem utilizar métodos indiretos que permitem ter uma leitura contínua e em tempo real dos teores de água no solo. Estes métodos podem ser mais ou menos dispendiosos, e precisos, mas facilitam muito a leitura contínua dos teores de água e a programação da rega.

### **Bolbo de porcelana e tensiómetros**

A porcelana permite a passagem de água por capilaridade, mas é estanque à passagem de gases. Com base neste princípio, é possível medir a tensão de água no solo contra uma tensão atuando no outro lado de uma membrana ou um bolbo de porcelana. Os tensiómetros são os aparelhos mais conhecidos e mais divulgados para medir a tensão de água no solo utilizando bolbos de porcelana (Figura 9.7). Consistem num bolbo de porcelana poroso ligado por um tubo de plástico transparente a um manómetro. Todo o conjunto está cheio de água. O bolbo está sempre em equilíbrio com o solo que o rodeia. Se o solo começar a secar, haverá passagem de água do interior do tensiómetro para o solo, criando-se vácuo ou tensão no interior do tensiómetro. Quando a tensão no interior do tensiómetro atingir a tensão no solo, alcança-se equilíbrio e cessa a passagem de água para o solo. O manómetro indica a tensão de água no solo. Se haver rega ou chuva, dá-se o processo inverso, havendo passagem de água para o interior do tensiómetro e uma redução proporcional no valor indicado pelo manómetro.

Os tensiómetros funcionam bem entre 0 e os 50-60 centibars, podendo desferrar acima deste valor, pelo que são pouco indicados para solo arenosos ou quando as regas são muito espaçadas, havendo secagem acentuada do solo. Hoje a UMS fabrica tensiómetros eletrónicos em que o manómetro é substituído por um transdutor de pressão.

### **Condutividade elétrica: Watermark**

Os blocos de gesso, como por exemplo os fabricados pela Watermark são normalmente utilizados como indicadores simples para a rega. Esses blocos medem a resistência elétrica do meio poroso - gesso - na medida que responde a alterações no teor de água no solo. A resistência elétrica é proporcional ao potencial da água. É preciso ter em atenção que as leituras dependem da temperatura e que são afetadas pela condutividade elétrica e pela salinidade da solução do solo. Por outro lado os blocos têm uma vida útil de 2-5 anos, pois deterioram-se com o tempo.



Figura 9.7 Exemplos de aparelhos utilizados na medição de teor de água no solo. Esquerda: Tensiômetro com manómetro. Centro: Sondas capacitivas Decagon e theta-probe. Direita: Sonda capacitiva Suntek (Fonte: catálogos dos fabricantes).

### Sondas TDR e Capacitivas

Hoje, encontram-se no mercado dezenas de marcas (Imko, Decagon, delta-t, Suntek, etc..) que fabricam sensores baseados na leitura do constante dielétrico da água que é muito superior ao do solo. Embora o seu princípio de funcionamento seja semelhante, estas sondas variam na frequência da leitura.

Este método geralmente chamado de TDR - Time Domain Reflectometry, utiliza a capacitância para medir a permeabilidade dielétrica do solo. A cabeça de leitura consiste de um circuito oscilador (constituído por um indutor e um capacitador), ligado a duas peças metálicas que servem como um par de elétrodos. Entre os elétrodos é criado um campo magnético oscilante, que abrange o solo envolvente num raio característico de cada modelo. O capacitador e o oscilador formam um circuito e a variação no constante dielétrico do solo é detectado através de alterações na frequência do seu funcionamento. A permeabilidade dielétrica da água é 80 e é muito superior à dos outros constituintes do solo (4 para solo mineral). Quando o teor de água no solo muda, a sonda mede uma alteração na capacitância devido à alteração na permeabilidade dielétrica, que pode ser directamente correlacionada com uma alteração no teor de água.

Existem dois tipos de sondas: as fixas, normalmente constituídas por dois ou mais “agulhas” que são inseridas directamente no solo. Um

outro tipo é o móvel que consiste em uma ou mais sondas que são inseridas em tubos pré-instalados no solo no local e à profundidade desejada. Normalmente instalam-se tubos de PVC<sup>2</sup> com diâmetros de 5-15cm no solo, com o fundo hermeticamente fechado e tampo removível.

De uma forma geral estes sensores apresentam valores de percentagem volumétrica de água no solo, que podem ser convertidos em tensões características de água para efeitos de gestão da rega.

#### **4. Gestão com base no estado hídrico da planta**

A monitorização de parâmetros relacionados com a cultura, tais como a temperatura do coberto vegetal e a resistência estomática, obtidos pela medição direta, pode ser uma ótima ferramenta para a gestão sustentável da água em regadio, uma vez que integra as necessidades da cultura, a evapotranspiração e a disponibilidade de água no solo.

##### **Tensão da água na planta, $\psi_w$**

O método clássico consiste na medição de tensão de água na planta, através da câmara de pressão ou de Scholander. Este método, que tem muitos adeptos nas vinhas, mede diretamente o estado hídrico da planta, podendo servir para gerir ou aferir o sistema de rega. Trata-se de um método relativamente rápido para estimar o potencial de água de folhas ou rebentos. Neste método, o órgão a ser medido (normalmente uma folha saudável) é cortado da planta e parcialmente fechado numa câmara de pressão (figura 9.8). Quando o pecíolo é cortado, a água é retirada do xilema pelas células circundantes por osmose, pelo que o pecíolo fica seco. Para realizar a medição, o órgão é sujeito a uma pressão crescente na câmara utilizando um gás, até que a distribuição da água entre as células e o xilema volta ao seu estado antes de corte. Este ponto é detetado pelo aparecimento de seiva no xilema (fica brilhante). Os resultados só demonstram a pressão de equilíbrio se não houver transpiração, pelo que as medições devem ser realizadas antes do amanhecer, quando a taxa de transpiração é mínima.

---

<sup>2</sup> Tubo de classe 6kg, com o fundo tapado com um casquilho. Deve ter comprimento suficiente para ficar 50mm abaixo do zona inferior a medir e 70mm acima do solo. Convém ter uma tampa para evitar a entrada da chuva.



Figura 9.8. A câmara de Scholander. Uma folha é inserida na câmara com o pecíolo à mostra. A câmara é depois sujeita a pressões que podem ir até aos 20 bars, até que se veja a água no pecíolo da folha.

### Temperatura folhar

À medida que a radiação solar é absorvida pelas folhas, a sua temperatura aumenta. Para manterem a sua temperatura no ponto ótimo, as folhas procuram dissipar a energia térmica através da transpiração. Com o desenvolvimento de termómetros de infravermelhos precisos e económicos, tornou-se possível medir a temperatura das folhas para avaliar o seu estado hídrico. A utilização da temperatura da canópia para a deteção do stress hídrico baseia-se no pressuposto de que, à medida que a disponibilidade da água no solo fica limitada, há uma redução correspondente da transpiração e a temperatura das folhas aumenta. Para uma cultura abastecida de água, a taxa normal de transpiração conduz a que a temperatura das folhas seja inferior à temperatura do ar. Assim, o princípio base do método consiste na diferença entre a temperatura do coberto ( $T_C$ ) e a temperatura do ar ( $T_A$ ).

Foi desenvolvido um método empírico para quantificar o stress através da determinação da “linha inferior não stressada” para as culturas ao meio-dia solar, a qual representa os valores inferiores da temperatura da cultura quando esta se encontra em conforto hídrico. Esta linha representa a diferença de temperatura ( $T_C - T_A$ ) correspondente à taxa de transpiração potencial, e é traçada graficamente contra o défice de saturação de vapor ( $DSV$ ). Este método não integra os efeitos da radiação líquida e da velocidade do vento, nem a variabilidade associada ao tipo de cultura e ao seu estágio de desenvolvimento.

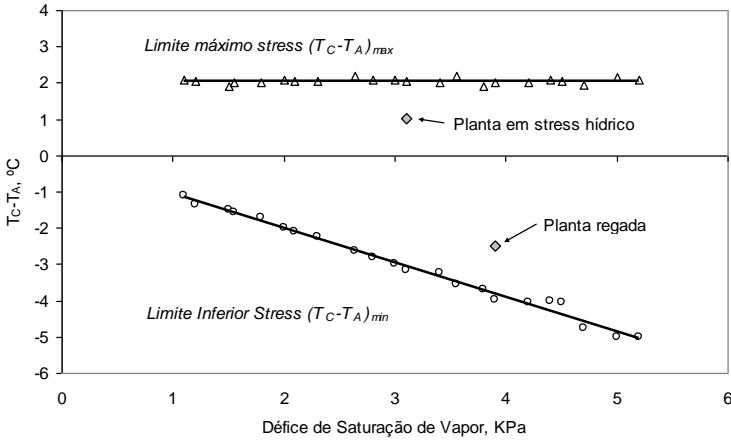


Figura 9.9 Exemplo de um gráfico do Crop Water Stress Index, CWSI, mostrando uma planta em condições de stress hídrico e outra com boa disponibilidade hídrica. A Déficit de saturação de vapor representa a humidade relativa do ar.

Este índice, conhecido como CWSI (Crop Water Stress Índice) é definido pela posição da diferença de temperatura ( $T_C - T_A$ ) relativamente aos limites máximos e mínimos que  $T_C - T_A$  pode atingir, respetivamente em condições de stress e abundância de água. O limite máximo  $(T_C - T_A)_{max}$  corresponde à máxima diferença entre as temperaturas da superfície do coberto vegetal ( $T_C$ ) e do ar ( $T_A$ ), que ocorre para uma cultura que não transpira por falta de água.

Está demonstrado que a aplicação da CWSI depende muito das condições de humidade do ar. Efetivamente com o ar saturado, as folhas não conseguem transpirar, e a sua temperatura será sempre próxima ou superior ao ar, enquanto que em zonas secas, a  $T$  das folhas será facilmente inferior ao ar. Por outro lado os valores obtidos são muito influenciados pela presença de pequenas nuvens e do vento, pelo que a utilização deste método exige algum treino e conhecimento teórico aprofundado. O CWSI pode ser expresso por:

$$CWSI = \frac{(T_c - T_a) - (T_c - T_a)_{min}}{(T_c - T_a)_{max} - (T_c - T_a)_{min}} \quad (9.7)$$

Onde o valor do CWSI varia entre 0 para condições de conforto hídrico e 1 para stress máximo, em que a cultura não transpira.

## 5. Exercícios

1. Calcule a capacidade utilizável para a cultura do milho, sabendo que a profundidade radical em junho é 1,2m e a Dap do solo é de 1,30. As restantes características do solo estão apresentadas no quadro seguinte:

Camada	Profundidade, cm	Cc (p/p)	Ce (p/p)
A	0-25	0,34	0,2
B1	25-60	0,4	0,33
B2	60-120	0,3	0,25

a) Considerando que o solo está a coeficiente de emurchecimento, calcule a dotação que deve ser aplicada para colocar o solo a capacidade do campo, nas seguintes condições:

- Maio: milho recém plantado: profundidade de raízes: 25 cm
- Agosto: milho em floração: profundidade de raízes: 125cm

b) Considerando que a  $E_a$  (eficiência de aplicação) do seu sistema de rega é 80%, qual deve ser a dotação total aplicada em cada caso?

c) Considerando que a área semeada é de 10 ha, calcule a necessidade total de água para regar estes campos.

d) Assumindo que a necessidade de água para a cultura do milho em maio é de 5mm/dia e em agosto é de 8mm/dia, calcule o intervalo entre as regas, utilizando os dados da alinha a).

2. Para poder melhorar a rega do seu milho, comprou uma sonda TDR. No dia 1 de agosto, a sonda indicava um teor de água de 37% (v/v) no solo até aos 125cm. No dia 11 de agosto, o teor já era de 28%. Assumindo que a cultura é milho com uma profundidade radical de 125cm, calcule a perda de água (Evapotranspiração Real,  $E_{Tr}$ ) durante o período. Qual foi a  $E_{Tr}$  média diária?

3. Realize o balanço hídrico para uma cultura de milho, utilizando o quadro em baixo. Pode considerar um Dap de 1,4, u de 20g/g, e um ho de 50mm. Os coeficientes de retenção da chuvada já estão incluídos no quadro.

*Balanço hidrológico em regime de regadio*

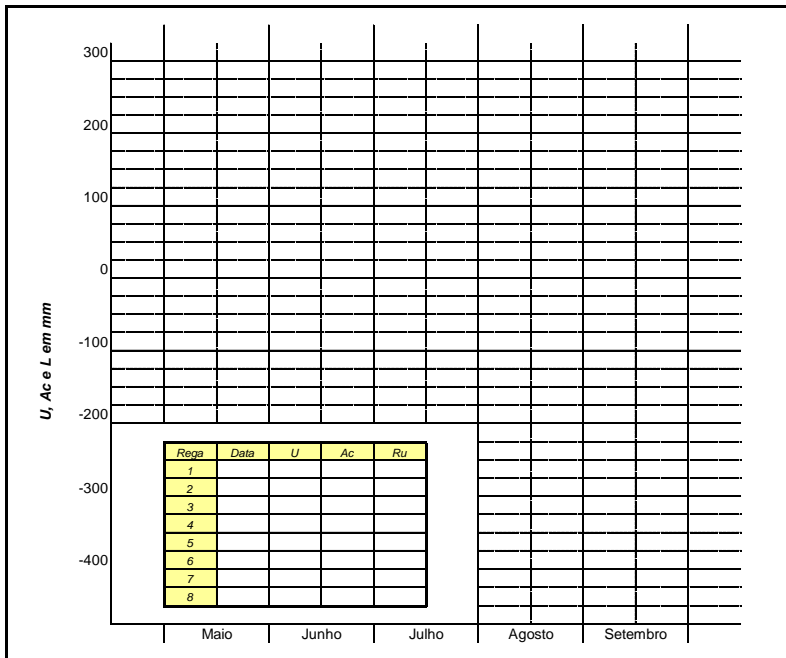
<b>Método FAO</b>	<i>U, Capacidade utilizável</i>	mm	<i>p, Coef.gestão da rega</i>	mm/mm
<b>Cultura:</b>	<i>Dap, dens. Aparente</i>	g/cm3	<i>ho, teor inicial de água</i>	mm

	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Junho	Julho	Agosto	Set	Out	Nov	Dez
<b>P</b> Precipitação	132.1	95	131.5	76.3	76.2	37.7	12.5	18	48.8	86.8	104.8	142.3
<b>Ke</b> Coeficiente de retenção	0.6	0.6	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.8	0.7	0.6
<b>Pe</b> P. efectiva												
<b>Eto</b> ET de referência	22	34	68	96	135	146	160	142	91	62	29	18
<b>Kc</b> Coeficiente cultural												
<b>Etc</b> ET cultural												
<b>Pe-Etc</b> Balanço precipitação												
<b>L</b> Déficit evaporativo			ho									
<b>z</b> Profundidade radical												
<b>U</b> Cap.utilizável, mm												
<b>p</b> Coef. Gestão rega												
<b>Ac</b> Armazenamento crítico												
<b>Ru</b> Rega útil												

Precipitação Efectiva  $Pe=Ke \times P$   
 Evapotranspiração Cult  $Etc=Kc \times Eto$   
 Capacidade Utilizável,  $U=z \times u \times dap$   
 Déficit Evaporativo  $L=ho + \Sigma(Pe - Etc)$   
 Armazenamento Crítico  $Ac = (1-p) \times U$

**Determinação das regas. Método da FAO**





## 6. Referências Bibliográficas

- Allen R.G., Pereira L.S., Raes D., Smith M. (1998) *Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements*. FAO Irrig. Drain. Paper 56, Roma.
- Costa J.B. Y. & Choi J. (1985) *Caracterização e Constituição do Solo*, Serviços de Educação Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa
- Doorenbos J Pruitt, WO.(1977) *Crop Water Requirements*. FAO Irrig. Drain. Paper 24, Roma.
- Doorenbos J Kassan AH. (1979) *Crop Water Requirements*. FAO Irrig. Drain. Paper 33, Roma.
- Raposo J.R (1996) *A Rega*, Serviços de Educação Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.

## ANEXOS

Quadro 9.1. Coeficientes culturais para algumas culturas (Adaptado de Doorenbos e Kassan (1979).

Culturas	fase inicial	crescimento rápido	pleno desenvolvimento	fase final
Algodão	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,9
Amendoim	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,75-0,85
Arroz	1,1-1,15	1,1-1,5	1,1-1,3	0,95-1,05
Banana	0,4-0,65	0,7-0,9	1,0-1,2	0,9-1,15
Batata	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,2	0,85-0,95
Beterraba sacarina	0,4-0,5	0,75-0,85	1,05-1,2	0,9-1,0
Cana-de-açúcar	0,4-0,5	0,7-1,0	1,0-1,3	0,75-0,8
Cártamo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,7
Cebola	0,4-0,6	0,6-0,8	0,9-1,1	0,85-1,05
Citrinos	0,6-0,65	0,6-0,7	0,6-0,7	0,6-0,7
Couve	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,1	0,9-1,0
Ervilha	0,4-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	1,0-1,15
Feijão (grão)	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75
Feijão-verde	0,3-0,4	0,65-0,75	0,95-1,05	0,9-0,95
Girassol	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,7-0,8
Melancia	0,4-0,5	0,7-0,8	0,95-1,05	0,8-0,9
Milho	0,3-0,5	0,7-0,85	1,05-1,2	0,8-0,95
Oliveira	0,55	0,65	0,65	0,65
Pimento	0,3-0,4	0,6-0,75	0,95-1,1	0,85-1,0
Soja	0,3-0,4	0,7-0,8	1,9-1,15	0,7-0,8
Sorgo	0,3-0,4	0,7-0,75	1,0-1,15	0,75-0,8
Tabaco	0,3-0,4	0,7-0,8	1,0-1,2	0,9-1,0
Tomate	0,4-0,5	0,7-0,8	1,05-1,25	0,8-0,95
Trigo	0,3-0,4	0,7-0,8	1,05-1,2	0,65-0,75
Vinha	0,35-0,55	0,6-0,8	0,7-0,9	0,6-0,8

Quadro 9.2. Profundidade radical de algumas culturas (Adaptado de Doorenbos e Pruitt, 1977).

<i>Culturas</i>	<i>Profundidade radical (m)</i>	<i>Culturas</i>	<i>Profundidade radical (m)</i>
Abóbora	0,75- 1,0	Girassol	0,8- 1,5
Aipo	0,3 -0,5	Grão	0,6 - 0,9
Alcachofra	0,9 - 1,2	Linho	1,0- 1,5
Alface	0,3 -0,5	Lúpulo	1,5 -1,8
Algodão	1,0- 1,7	Luzerna	1,0-2,0
Amendoim	0,5 - 1,0	Melancia	0,8 - 1,5
Ananás	0,3 -0,6	Melão	1,0 - 1,5
Banana	0,5 - 0,9	Milho	1,0 - 1,7
Batata	0,4 - 0,6	Morango	0,2 - 0,3
Batata-doce	1,0 - 1,5	Nabo	0,7 - 1,0
Beringela	0,75 - 1,0	Nogueira	1,0 - 2,0
Beterraba forrageira	0,6 - 1,0	Oliveira	1,2 - 1,7
Beterraba sacarina	0,6 - 1,25	Pepino	0,7 - 1,2
Cana-de-açúcar	1,2 - 2,0	Pimento	0,5 - 1,0
Cártamo	1,0 -2,0	Pomóideas, Prunóideas	0,6 - 1,5
Cebola	0,3 -0,5	Rabanete	0,25 - 0,4
Cenoura	0,5- 1,0	Relvados	0,5- 1,5
Cevada	1,0- 1,5	Sisal	0,5 - 1,0
Citros	1,2- 1,5	Soja	0,6- 1,3
Couve	0,4-0,5	Sorgo	1,0- 2,0
Couve-flor	0,3 - 0,6	Tabaco	0,5 - 1,0
Espargo	1,5 -2,0	Tomate	0,7- 1,5
Espinafre	0,3 - 0,5	Trevos	0,6 - 0,9
Ervilha	1,6- 1,0	Trigo	1,0- 1,5
Feijão	0,5 -0,7	Vinha	1,0 - 2,0

Quadro 9.3. Coeficiente de Gestão de rega de algumas culturas, p (Adaptado de Doorenbos e Pruitt, 1977).

<i>Culturas</i>	<i>p</i>	<i>Culturas</i>	<i>p</i>
Aipo	0,2	Linho	0,5
Alface	0,3	Luzerna	0,55
Algodão	0,65	Melão	0,35
Amendoim	0,4	Milho (forragem)	0,5
Ananás	0,5	Milho (grão)	0,6
Banana	0,35	Morango	0,15
Batata	0,25	Oliveira	0,65
Batata-doce	0,65	Pepino	0,5
Beterraba forrageira	0,5	Pimento	0,25
Beterraba sacarina	0,5	Pomóideas, Prunóideas	0,5
Cacau	0,2	Relvados	0,5
Cana-de-açúcar	0,65	Sisal	0,8
Cártamo	0,6	Soja	0,5
Cebola	0,25	Sorgo	0,55
Cenoura	0,35	Tabaco (1a fase)	0,35
Cevada	0,55	Tabaco (final)	0,65
Citrinos	0,5	Tomate	0,4
Couve	0,45	Trevo	0,35
Espinafre	0,2	Trigo	0,55
Ervilha	0,35	Trigo (na colheita)	0,9
Feijão	0,45	Vegetais (outros)	0,2
Girassol	0,45	Vinha	0,35