

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica / M.ª Rosário Carneira / Instituto Superior de Agronomia



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
Universidade de Lisboa
Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas






UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

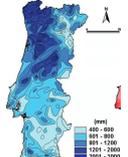
Aula 3 (T)

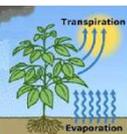
2. Necessidades hídricas das culturas (continuação)

3. Necessidades de rega das culturas

















UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica / M.ª Rosário Carneira / Instituto Superior de Agronomia

2. NECESSIDADES HÍDRICAS DAS CULTURAS

2.1 Conceitos (aula teórica);

2.2 Obtenção da evapotranspiração de uma superfície cultivada (aula teórica);

2.3 O método dos coeficientes culturais; Coeficiente cultural simples

2.4 Evapotranspiração cultural para condições padrão

2.5 Evapotranspiração para condições não padrão;

- 2.5.1 Stress hídrico;**
- 2.5.2 Depleção de água no solo e coeficiente de stress hídrico, ks;**
- 2.5.2 Relação stress hídrico –produção**

3. NECESSIDADES DE REGA DAS CULTURAS

3.1 Dotação útil de rega, eficiência de rega e dotação total de rega;

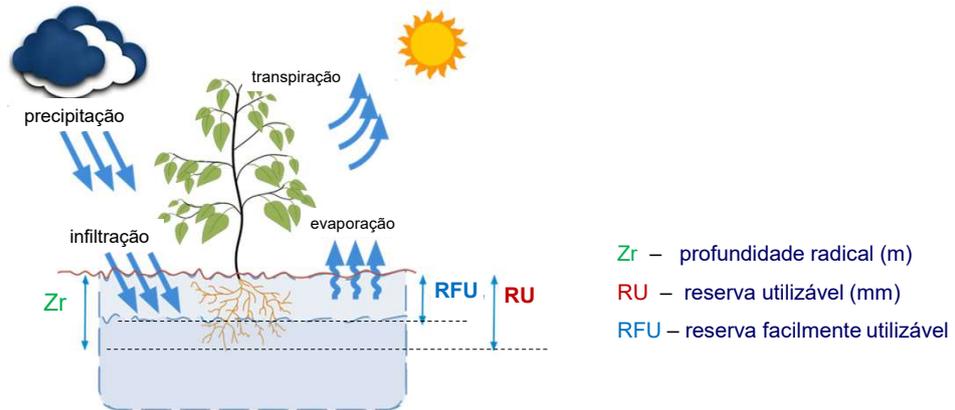
3.2 Balanço hídrico para a condução da rega;

- 3.2.1 Conceitos**

2.5. EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL PARA CONDIÇÕES NÃO PADRÃO: EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL AJUSTADA, $ET_{c,adj}$

2.5.1. Stress hídrico

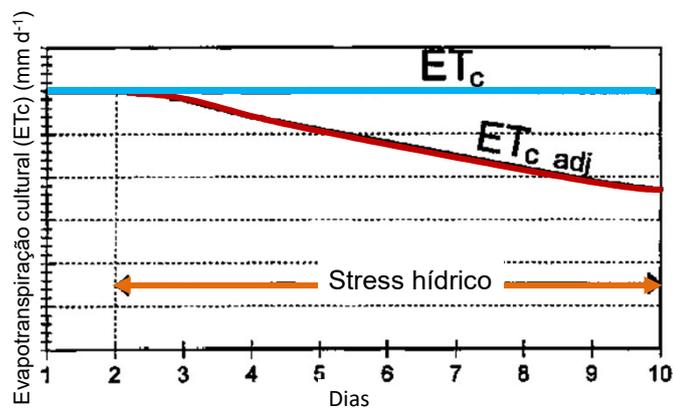
- Ocorre quando o armazenamento de água no solo é inferior à reserva facilmente utilizável, RFU;
- Se $ET < ET_c$ em condições padrão, denomina-se $ET_{c,adj}$



3

- O coeficiente K_s é utilizado para reduzir o valor de K_c

$$ET_{c,adj} = K_s K_c ET_0$$

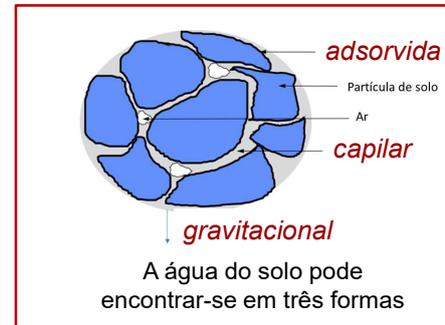
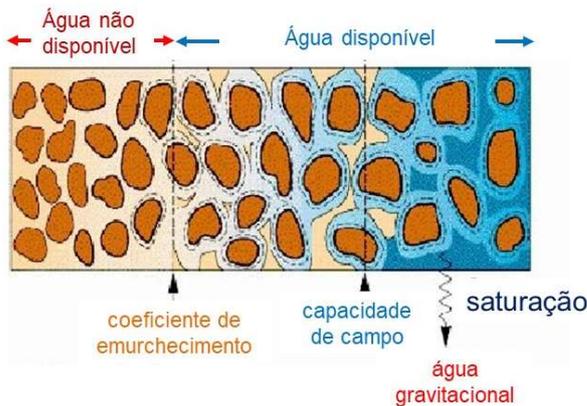


4

➤ Disponibilidade de água no solo

Slide de revisão

- Na ausência de abastecimento de água, o teor de água na zona radical diminui como resultado da absorção radical;
- À medida que a extração de água progride, a água remanescente é mantida nos poros de menor diâmetro, aumentando a força com que é retida e dificultando a extração da planta;

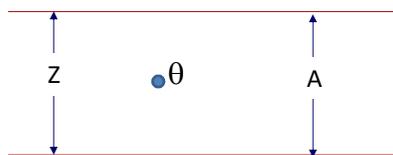


- Abaixo do CE, a água encontra-se adsorvida na superfície das partículas com tal força que as plantas não a conseguem utilizar

5

Teor de água no solo, θ , e Armazenamento de água no solo, A

Camada de solo de espessura Z



θ é o **teor de água no solo** (cm^3 água por cm^3 de solo) medido num local que se considera representativo de toda a camada de solo

θ é uma concentração de água no solo

O **Armazenamento, A** é uma quantidade de água no solo, calculada a partir do θ e da espessura da camada

Exemplo: Num solo, o teor de água medido aos 15 cm de profundidade com recurso a uma sonda capacitiva foi $0.20 \text{ cm}^3 \text{ cm}^{-3}$. Qual a quantidade de água armazenada numa camada de solo de espessura 30 cm?

$$A \text{ (mm)} = 0.2 \times 0.3 \times 1000 = 60 \text{ mm}$$

$$A \text{ (mm)} = \theta \times Z \times 1000$$

sendo:

θ o teor de água volumétrico ($\text{cm}^3 \text{ cm}^{-3}$);
Z a espessura da camada (m)

6

➤ Capacidade de um solo reter água disponível para as plantas

O teor de água à capacidade do campo (θ_{CC} , $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) é o teor de água que um solo bem drenado apresenta, ou seja, é o teor de água existente no solo quando a drenagem diminuiu marcadamente.

É o teor de água a **pF 2.5** ou a **31 kPa**.



O teor de água no coeficiente de emurchecimento (CE, $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$) é o teor de água abaixo do qual as plantas não são capazes de extrair a água do solo e por isso vão murchar permanentemente.

É o teor de água a **pF 4.2** ou **1550 kPa**.

$$RU \text{ (mm)} = (\theta_{CC} - \theta_{CE}) \times Z_r \times 1000$$

sendo:

θ_{CC} e θ_{CE} os teores de água volumétricos à capacidade de campo e no coeficiente de emurchecimento ($\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$);
 Z_r a profundidade radical (m)

7

Embora as plantas consigam extrair água do solo até ao CE, **existe um valor mínimo de teor de água (ou armazenamento) abaixo do qual o fazem com tanto custo que há stress hídrico;**



p - parâmetro de gestão da rega, função da sensibilidade da cultura ao stress (adim) ($p < 1$)

$$RFU = RU \times p$$

RFU traduz um **volume ou armazenamento (A)** de água no solo, facilmente disponível para as plantas

$$LRFU = RU - RFU = RU - RU \times p = RU \times (1 - p)$$

LRFU traduz um **limite inferior** da zona da RFU

8

Table 22 FAO 56

p é função do poder evaporativo da atmosfera, da cultura e do solo.

Normalmente varia entre:

- 0.3 para plantas com raízes pouco profundas e $ET_c > 8 \text{ mm dia}^{-1}$,
- 0.7 para plantas com raízes profundas e $ET_c < 3 \text{ mm dia}^{-1}$.

- $p = p_{\text{tab}} + 0.04 \times (5 - ET_c)$

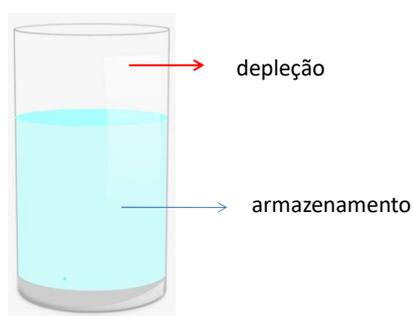
Crop	Maximum Root Depth ¹ (m)	p $ET_c = 5 \text{ mm d}^{-1}$
a. Small Vegetables		
Broccoli	0.4-0.6	0.45
Brussel Sprouts	0.4-0.6	0.45
Cabbage	0.5-0.8	0.45
Carrots	0.5-1.0	0.35
Cauliflower	0.4-0.7	0.45
Celery	0.3-0.5	0.20
Garlic	0.3-0.5	0.30
Lettuce	0.3-0.5	0.30
Onions - dry	0.3-0.6	0.30
- green	0.3-0.6	0.30
- seed	0.3-0.6	0.35
Spinach	0.3-0.5	0.20
Radishes	0.3-0.5	0.30
b. Vegetables – Solanum Family (<i>Solanaceae</i>)		
Egg Plant	0.7-1.2	0.45
Sweet Peppers (bell)	0.5-1.0	0.30
Tomato	0.7-1.5	0.40
c. Vegetables – Cucumber Family (<i>Cucurbitaceae</i>)		
Cantaloupe	0.9-1.5	0.45
Cucumber – Fresh Market	0.7-1.2	0.50
– Machine harvest	0.7-1.2	0.50
Pumpkin, Winter Squash	1.0-1.5	0.35

9

2.5.2. Depleção de água no solo e coeficiente de stress hídrico, K_s

Para além de ser expressa em armazenamento (A , mm), a água no solo pode também ser expressa em termos de depleção (D_p , mm) em relação à CC.

- Na capacidade de campo a depleção é zero $\Rightarrow K_s = 1$
- À medida que a água no solo diminui devido à evapotranspiração, a depleção, D_p , aumenta;
- Quando a depleção, D_p é > que a RFU ocorre stress hídrico $\Rightarrow K_s < 1$



10

➤ Quando $D_p < RFU$

$$K_s = 1$$

➤ Quando $D_p > RFU$

Reserva ou
armazenamento
actual

$$K_s = \frac{RU - D_p}{RU - RFU} = \frac{RU - D_p}{(1 - p) RU}$$

sendo:

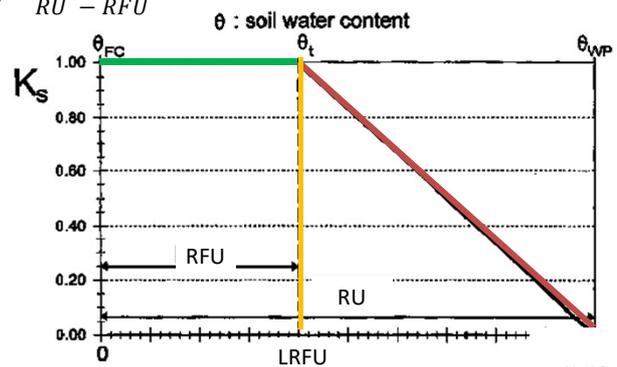
K_s o coeficiente de stress hídrico, dependente da água disponível no solo (0– 1);

D_p diferença entre a reserva de água à capacidade de campo e a reserva de água actual (mm);

RU a reserva utilizável de água no solo (mm);

p a fração de RU que pode ser utilizada sem que a planta entre em stress hídrico.

$$K_s = \frac{RU - D_p}{RU - RFU}$$



2.5.3 Relação produção/stress hídrico

Qual é a consequência da diminuição da ET_c sobre a produção esperada?

Redução relativa da ET	Redução relativa da produção
$1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}$	$1 - \frac{Y_a}{Y_m}$

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}\right)$$

Modelo de Stewart

K_y fator de redução da produção da cultura, que descreve a redução relativa da produção de acordo com a redução da ET_c causada pela escassez de água no solo (Tabelado);

ET_{adj} evapotranspiração ajustada (mm dia^{-1});

ET_c evapotranspiração cultural para condições padrão (mm dia^{-1});

Y_a produção actual da cultura

Y_m produção máxima esperada.

- Boletim FAO N ° 33 “Yield response to water”
 - Em geral, a diminuição do rendimento devido ao deficit hídrico durante o período vegetativo e maturação é relativamente pequena, durante os períodos de floração e de formação de produção é grande.

Os valores de K_y são específicos da cultura e variam ao longo do seu ciclo, de acordo com as fases de crescimento.

- $K_y > 1$: cultura muito sensível ao deficit, com reduções mais do que proporcionais da produção;
- $K_y < 1$: cultura tolerante ao deficit hídrico, recuperando parcialmente e exibindo reduções menos que proporcionais na produção.
- $K_y = 1$: a redução da produção é diretamente proporcional ao deficit.

13

A mesma cultura apresenta coeficientes redução da produção diferentes ao longo do seu ciclo

Exemplo: Milho

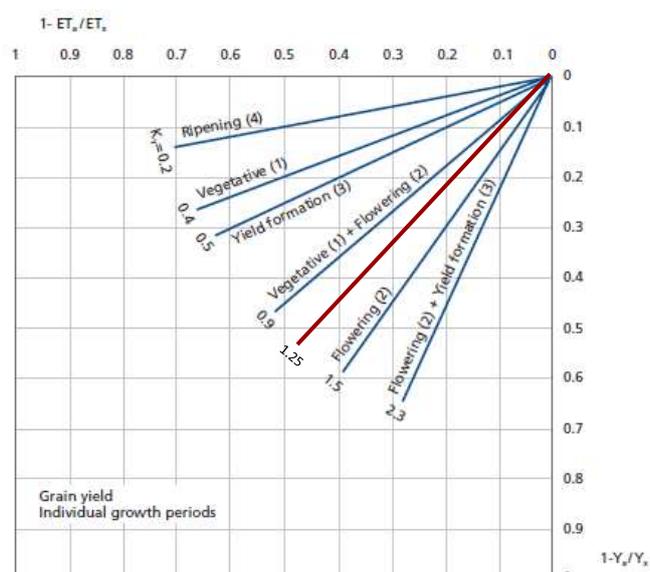
Quanto > o declive > o K_y , > a redução da produção para uma dada redução na ET_c

$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \cdot \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c}\right)$$

Usando K_y médio de todo o ciclo

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - \frac{\sum_i K_{yi} (ET_{ci} - ET_{ai})}{ET_c}$$

Usando K_y específico para cada fase

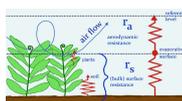


Valores do coeficiente de stress hídrico, K_y
(Tabela 24 FAO 56)

Crop	K_y	Crop	K_y
Alfalfa	1.1	Safflower	0.8
Banana	1.2-1.35	Sorghum	0.9
Beans	1.15	Soybean	0.85
Cabbage	0.95	Spring wheat	1.15
Cotton	0.85	Sugarbeet	1.0
Groundnuts	0.70	Sugarcane	1.2
Maize	1.25	Sunflower	0.95
Onion	1.1	Tomato	1.05
Peas	1,15	Watermelon	1.1
Pepper	1.1	Winter wheat	1.05
Potato	1.1		

Nota: o FAO 33 apresenta uma tabela com valores de K_y por fase do ciclo

15



UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

3. Necessidades de rega das culturas

3.1 Dotação útil de rega, eficiência de rega e dotação total de rega;

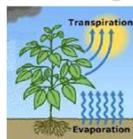
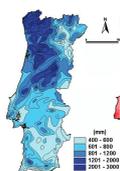
3.2 Balanço hídrico para a condução da rega;

3.2.1 Conceitos

3.2.2 BH em situação de conforto hídrico

3.2.3 BH em condições de stress hídrico

3.3 As necessidades de rega para projeto vs as necessidades de rega



3.1 Dotação útil de rega, eficiência de rega, dotação de rega e dotação total de rega;

Dotação útil de rega, D_u :

- Quantidade (volume) de água que deve ser reposta dentro do solo para satisfazer as necessidades hídricas das culturas (ET);
- Contabilizam-se todas as estradas e saídas de água do sistema;
- As unidades mais comuns são $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ e L m^{-2} ou mm.

Depende de:

- Culturas a beneficiar; ET
- Características do solo; Valor máximo $D_u = \text{RFU}$ Porquê?
- Intervalo entre regas.

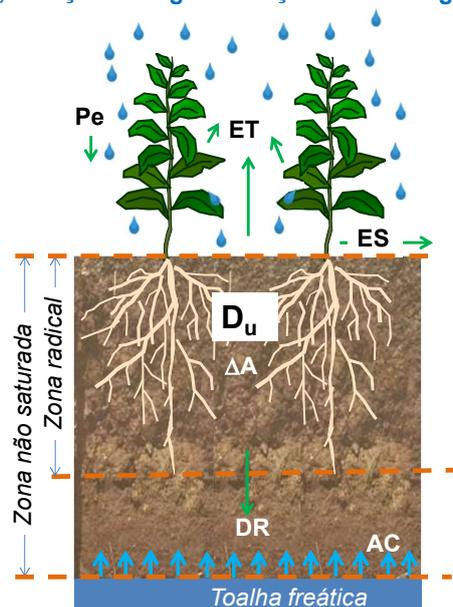
Equação do Balanço Hídrico

$$Pe + Du + AC - (ES + DR + ET_c) = \Delta A$$

entradas

saídas

Variação do armazenamento



17/48

Dotação bruta de rega ou apenas dotação de rega, D :

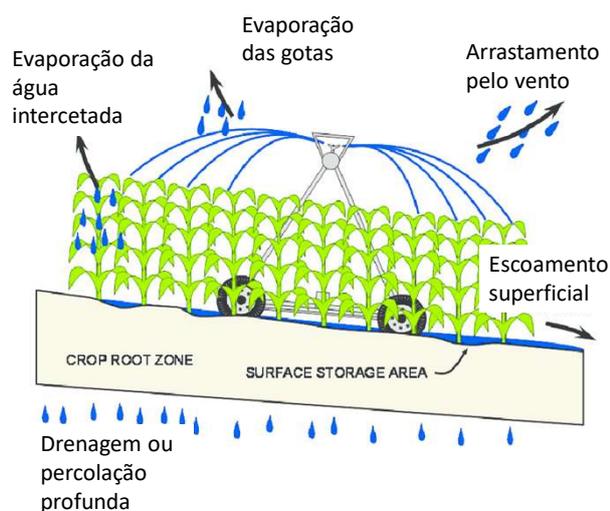
Quantidade (volume) de água a aplicar pelo sistema de rega, em cada rega, por unidade de área do terreno. As unidades mais comuns são $\text{m}^3 \text{ha}^{-1}$ e L m^{-2} ou mm.

Qual a relação entre a dotação útil e a dotação que o sistema de rega tem que aplicar?

As perdas de água

Conceito de eficiência

Exemplo: perdas de água na rega com rapa pivotante



18/48

Eficiência traduz a fração de água que, partindo do sistema abastecedor, chega até à planta = $\frac{\text{Eficiência no transporte (dentro e fora da exploração)}}{\text{Eficiência na aplicação}}$

Eficiência de rega

↓ ↓ ↓ Eficiência no transporte até à parcela
↓ ↓ ↓ Eficiência no transporte dentro da parcela
↓ ↓ ↓ Eficiência de aplicação da água de rega ⇔ eficiência do sistema de rega

$$D = \frac{Du}{Ef}$$

Sendo

D a dotação de rega (mm),
Ef a eficiência do sistema de rega;
Du a dotação útil de rega calculada pelo BH (mm)

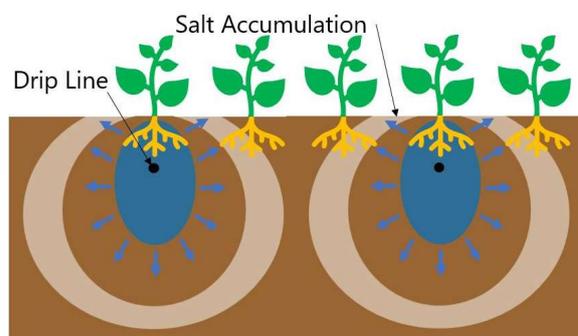
Sistemas de rega	Eficiências (%)
Métodos de rega	
• Rega de gravidade com nivelamento de precisão	
Sulcos	65 – 85
Faixas	70 – 85
Bacias	70 – 90
• Rega de gravidade tradicional	
Sulcos	40 – 70
Faixas	45 – 70
Bacias	45 – 70
• Rega de arroz, canteiros em alagamento permanente	25 – 70*
• Rega por aspersão	
Sistemas estacionários de cobertura total	65 – 85
Sistemas estacionários deslocáveis manualmente	65 – 80
rampas com rodas	65 – 80
Aspersores canhão com enrolador ou com cabo	55 – 70
Rampas móveis, com pivot central	65 – 85
• Microrrega (rega localizada)	
Gotejadores, 3 emissores por planta (pomares)	85 – 95
Gotejadores, < 3 emissores por planta	80 – 90
Micro-aspersores e “bubblers” (pomares)	85 – 95
Linha contínua de emissores gota-a-gota	70 – 90

19/48

Dotação total de rega, D_T :

Em alguns casos (quase sempre nos sistemas de rega localizada) é ainda necessário aplicar uma quantidade extra de água de rega para efetuar a lavagem de sais que se acumulam no bolbo molhado (D_L)

$$D_T = D + D_L$$



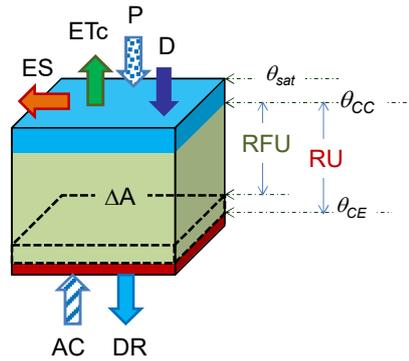
20/48

3.2 Balanço hídrico para a condução da rega

3.2.1 CONCEITOS

Solo ⇔ Reservatório

- ✓ recebe água através da precipitação, da rega ou da ascensão capilar;
- ✓ perde água através da evapotranspiração das culturas, do escoamento superficial ou da drenagem profunda;
- ✓ armazena água;

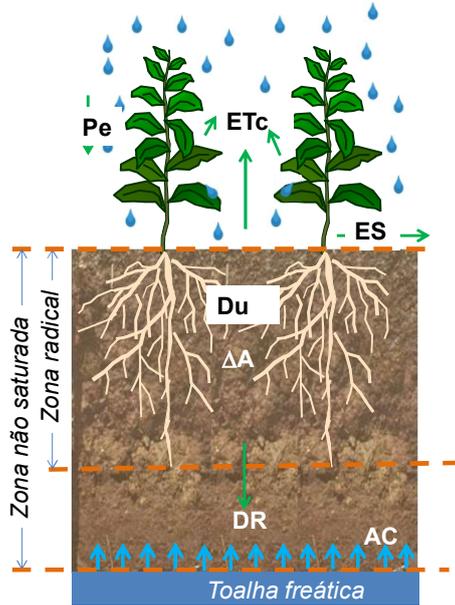


21

Água utilizável no solo



Componentes do balanço hídrico na zona explorada pelas raízes



Equação do balanço para um intervalo de tempo de Δt (t_2-t_1) dias:

$$E - S = \Delta A$$

Termos do BH

Entradas:

- Pe – precipitação efetiva
- Du – Dotação útil de rega
- AC – ascensão capilar

Saídas:

- ES – Escoamento superficial
- DR – Percolação ou drenagem profunda
- ETc – Evapotranspiração cultural

ΔA – variação do armazenamento

$$\Delta A = A(t_2) - A(t_1)$$

Todos os termos em mm

$$Pe + Du + AC - (ES + DR + ETc) = \Delta A_{(t_2-t_1)}$$