

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica  
M.ª Rosário Cameira / 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 2 (TP)**

**2. Necessidades hídricas das culturas (continuação)**

UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica  
M.ª Rosário Cameira / 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
  - 2.4.1 Fatores que determinam o coeficiente cultural
  - 2.4.2 Variação do coeficiente cultural simples com as fases fenológicas
    - Correção do  $K_c$  ini de acordo com o padrão de humedecimento do solo
    - Correção do  $K_c$  mid de acordo com o clima
    - Correção do  $K_c$  mid de acordo com a data de colheita e o clima
  - 2.4.3 Curva do  $K_c$  simples

Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

2

## 2.4 MÉTODO DO COEFICIENTE CULTURAL SIMPLES PARA O CÁLCULO EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL EM CONDIÇÕES PADRÃO (ETc)

- Porque é que a ETo não nos fornece a evapotranspiração cultural?
- Em que difere a evapotranspiração cultural (ETc) da evapotranspiração de referência (ETo)?

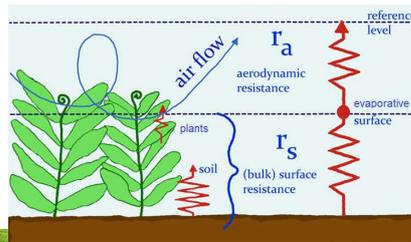


cultura que estamos a estudar ≠ cultura de referência usada para o cálculo da ETo (relva)

Onde se manifestam as diferenças?

- na altura da cultura (1)
- no grau de cobertura do solo (2)
- na estrutura das plantas e do copado (3)

(1) **Altura da cultura (h):** influencia o termo de resistência aerodinâmica,  $r_a$ , da equação de Penman-Monteith e portanto a transferência de vapor da cultura para a atmosfera.



$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$



Cultura de referência:  $h = 12 \text{ cm}$   
 $r_s = 70 \text{ s/m}$   
 albedo = 0.23



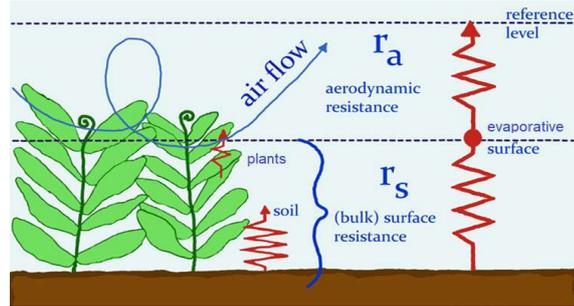
$r_a$  tanto mais pequeno quanto maior

- a altura da cultura
- a velocidade do vento

(2) Grau de cobertura do solo:  
Influencia o albedo (reflexão) da superfície cultura-solo (também é influenciado pela humidade superficial do solo)

$$\lambda ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho c_p \frac{(e_s - e_a)}{r_a}}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)}$$

A humidade da superfície do solo e a fração de solo coberto por vegetação influenciam também a resistência de superfície  $r_s$ .



**Porque o albedo ( $\alpha$ ) é tão importante e deve ser obtido para cada situação?**

- É a razão entre a radiação refletida pela superfície e a radiação incidente sobre ela.
- É adimensional, sendo medido numa escala que vai de zero, para nenhuma reflexão (superfície perfeitamente negra) até 1, para uma reflexão perfeita por uma (superfície branca).

albedo ( $\alpha$ ) da superfície cultura-solo

radição líquida da superfície,  $R_n$ , principal fonte de energia para o processo de evaporação.

$$R_n = R_{ns} + R_{nl}$$

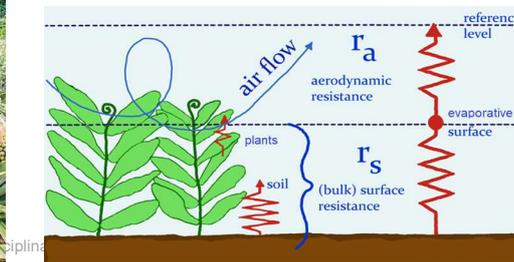
$$R_{ns} = R_{solar} - \alpha R_{solar}$$

Tipo de coberto	albedo
Solo seco e claro	0.40
escuro e húmido	0.05
Culturas agrícolas	0.18 – 0.25
Florestas	
folha caduca	0.15 – 0.20
coníferas	0.05 – 0.15



**(3) Estrutura das plantas e do coberto**

A área da folha (número de estomas) e a idade influenciam a resistência de superfície à transferência do vapor,  $r_s$ , e a resistência aerodinâmica,  $r_a$ :



7

**2.4.1 Fatores que determinam o coeficiente cultural,  $K_c$** 

O  $K_c$  é um coeficiente empírico que integra os efeitos atrás descritos

- a) Cultura;
- b) Evaporação do solo;
- c) Estado de desenvolvimento da cultura.

8

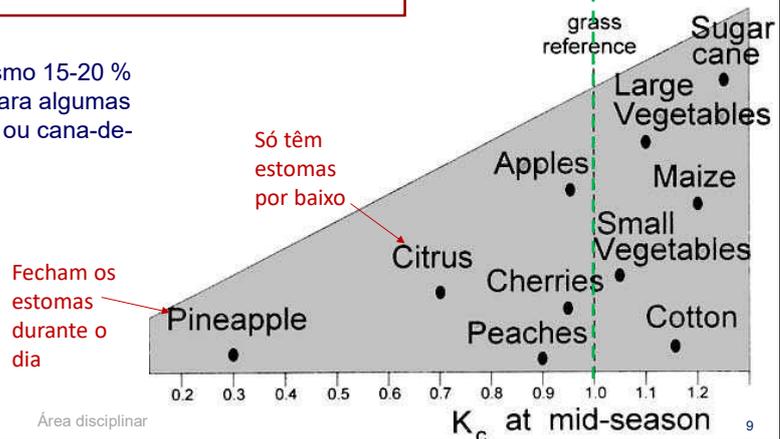
**a) Tipo de cultura**

Devido às diferenças no albedo, nas propriedades aerodinâmicas e nas propriedades das folhas e do estomas

Exemplos:  
Culturas com espaçamentos reduzidos  
Culturas mais altas

→  $K_c > 1$

$K_c$  é muitas vezes 5-10% ou mesmo 15-20 % superior à referência ( $K_c = 1.0$ ) para algumas culturas altas, como milho, sorgo ou cana-de-açúcar.

**b) Evaporação do solo**

**Culturas de cobertura total:**  $K_c$  reflete principalmente diferenças na transpiração, uma vez que a contribuição da evaporação do solo é pequena.

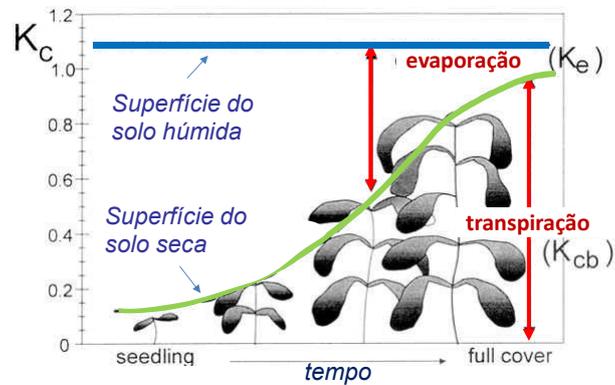
**Culturas de baixa cobertura:**

- Depois da chuva ou rega, o efeito da evaporação é predominante sobre o da transpiração. Nesta situação, o  $K_c$  é determinado em grande parte pela frequência com que a superfície do solo é humedecida.
- Quando o solo está molhado durante a maior parte do tempo a evaporação da superfície do solo é considerável e o  $K_c$  pode ser superior a 1
- Quando a superfície do solo está seca, a evaporação é restrita e  $K_c$  será muito pequeno, podendo atingir o valor 0.1.

No caso de culturas de baixa cobertura, as diferenças de evaporação do solo entre a cultura em estudo e a de referência podem ser consideradas com maior precisão usando o método do coeficiente cultural dual.

O efeito da evaporação do solo no  $K_c$ :

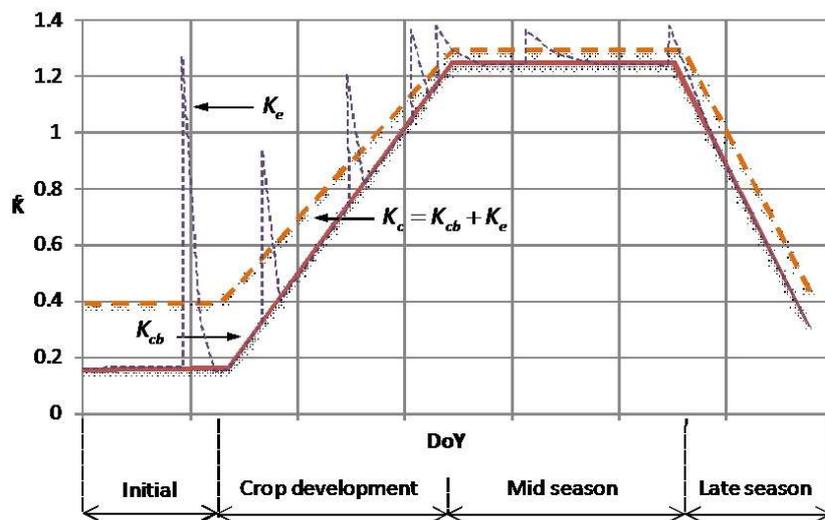
- solo descoberto vs solo coberto
- solo seco vs solo húmido



**Linha horizontal** -  $K_c$  quando a superfície do solo é mantida continuamente molhada;

**Linha curva** -  $K_c$  quando a superfície do solo é mantida seca, mas a cultura recebe água suficiente para sustentar a transpiração completa

Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural



Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

12/48

**c) Estádio de desenvolvimento da cultura**

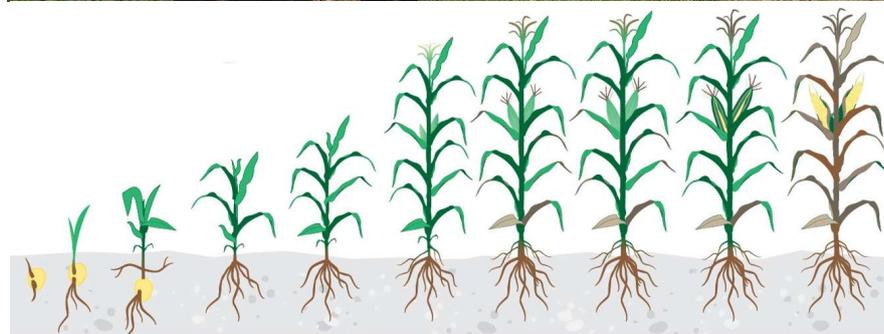
o  $K_c$  para uma determinada cultura varia ao longo do período de crescimento.

**Porquê?**

- O aumento da capacidade de transpiração depende do aumento da superfície estomática e, portanto, do desenvolvimento da área foliar;
- O aumento do grau de cobertura do solo implica diminuição da evaporação;

O período de crescimento duma cultura anual pode ser dividido em quatro fases de crescimento distintas:

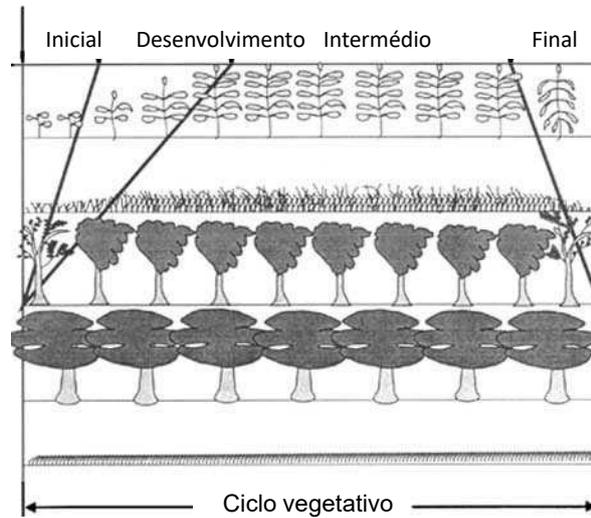
- inicial,
- desenvolvimento da cultura,
- intermédio e
- final.



← ( solo ) →  $\left\{ \begin{array}{l} h \uparrow \\ r_a \downarrow \\ \text{albedo} \downarrow \end{array} \right.$   $\left\{ \begin{array}{l} h \approx \\ r_a \approx \\ \text{albedo} \approx \end{array} \right.$   $\left\{ \begin{array}{l} h \approx \\ r_s \uparrow \\ \text{albedo} \uparrow \end{array} \right.$

**Tipo de cultura**

- Anual**
- Perene**
- Pastos
- Árvores de folha caduca
- Árvores de folha perene
- Relva de referência**



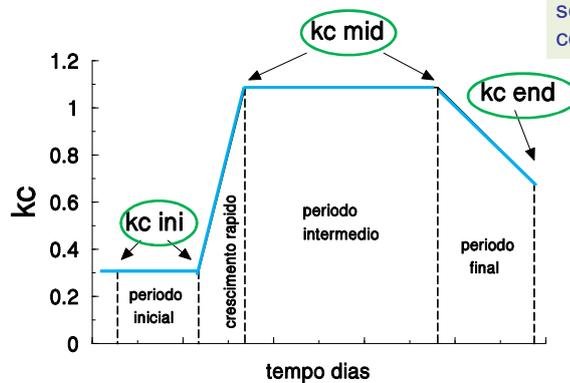
Estádios de crescimento das culturas para diferentes tipos de culturas

**Curva típica do coeficiente cultural simples**

Após a sementeira de culturas anuais ou após o início do aparecimento de novas folhas de plantas perenes, o valor de Kc (Kc ini) é pequeno

O valor de Kc começa a aumentar no início do desenvolvimento rápido atingindo um valor máximo (Kc mid) no desenvolvimento máximo da planta

Durante o período final de temporada, quando as folhas começam a senescer, o Kc começa a diminuir



Se o objetivo for o projeto da rega, esta curva dos Kc simples é suficiente

**Duração dos estádios de desenvolvimento para diferentes regiões climáticas (FAO 56)**

Crop	Init. (L <sub>ini</sub> )	Dev. (L <sub>dev</sub> )	Mid (L <sub>mid</sub> )	Late (L <sub>late</sub> )	Total	Plant Date	Region
<b>a. Small Vegetables</b>							
Broccoli	35	45	40	15	135	Sept	Calif. Desert, USA
Cabbage	40	60	50	15	165	Sept	Calif. Desert, USA
Carrots	20	30	50/30	20	100	Oct/Jan	Arid climate
	30	40	60	20	150	Feb/Mar	Mediterranean
	30	50	90	30	200	Oct	Calif. Desert, USA
Cauliflower	35	50	40	15	140	Sept	Calif. Desert, USA
Celery	25	40	95	20	180	Oct	(Semi) Arid
	25	40	45	15	125	April	Mediterranean
	30	55	105	20	210	Jan	(Semi) Arid
Crucifers <sup>†</sup>	20	30	20	10	80	April	Mediterranean
	25	35	25	10	95	February	Mediterranean
	30	35	90	40	195	Oct/Nov	Mediterranean
Lettuce	20	30	15	10	75	April	Mediterranean
	30	40	25	10	105	Nov/Jan	Mediterranean
	25	35	30	10	100	Oct/Nov	Arid Region
	35	50	45	10	140	Feb	Mediterranean

Os valores na tabela são úteis apenas como um guia geral e para fins de comparação.  
 Os comprimentos listados dos estádios de crescimento são valores médios para as regiões e períodos especificados e destinam-se para servir apenas como exemplos.  
 Observações locais de desenvolvimento das planta devem ser usadas, sempre que possível, para incorporar os efeitos da variedade vegetal, do clima e das práticas culturais.

**Coefficientes culturais para culturas em condições padrão (FAO 56)**

Crop	K <sub>cini</sub> <sup>†</sup>	K <sub>c mid</sub>	K <sub>c end</sub>	Maximum Crop Height (h) (m)
<b>a. Small Vegetables</b>				
Broccoli	0.7	1.05	0.95	0.3
Brussel Sprouts		1.05	0.95	0.4
Cabbage		1.05	0.95	0.4
Carrots		1.05	0.95	0.3
Cauliflower		1.05	0.95	0.4
Celery		1.05	1.00	0.6
Garlic		1.00	0.70	0.3
Lettuce		1.00	0.95	0.3
Onions				
- dry		1.05	0.75	0.4
- green		1.00	1.00	0.3
- seed		1.05	0.80	0.5
Spinach		1.00	0.95	0.3
Radish		0.90	0.85	0.3
<b>b. Vegetables - Solanum Family (Solanaceae)</b>				
Egg Plant	0.6	1.15	0.80	0.8
Sweet Peppers (bell)		1.05 <sup>2</sup>	0.90	0.7
Tomato		1.15 <sup>2</sup>	0.70-0.90	0.6
<b>c. Vegetables - Cucumber Family (Cucurbitaceae)</b>				
Cantaloupe	0.5	1.00	0.80	0.3
Cucumber		0.5	0.85	0.60
- Fresh Market	0.6	1.00 <sup>2</sup>	0.75	0.3
- Machine harvest	0.5	1.00	0.90	0.3
Pumpkin, Winter Squash		1.00	0.80	0.4
Squash, Zucchini		0.95	0.75	0.3
Sweet Melons		1.05	0.75	0.4

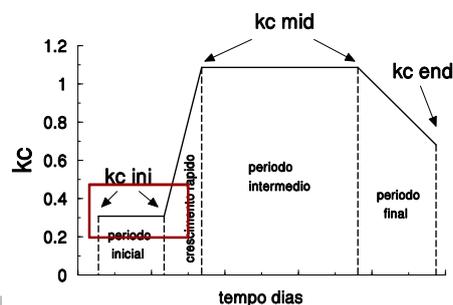
## 2.4.2 Variação do coeficiente cultural simples com as fases fenológicas

A. Fase inicial ( $K_c$  ini) : Desde sementeira até cobertura do solo de 10%Fatores de que depende o  $K_c$  ini:

1. **Período de tempo entre eventos de humedecimento do solo:** quanto menor for o período de tempo entre eventos de humedecimento maior será o  $K_c$ ;
2. **Poder de evaporação da atmosfera,** ou seja,  $ET_0$ . Quanto maior o poder de evaporação da atmosfera, mais rapidamente o solo vai secar entre aplicações de água e tanto menor será o  $K_c$ ;
3. **Magnitude do evento:**  $K_c$  ini será menor para eventos ligeiros do que para grandes eventos de humedecimento;

Dependendo dos fatores acima referidos, o  $K_c$  ini pode variar entre:

0.1 e 1.15.



Área discipl

19

Os valores tabelados de  $K_{c\text{ ini}}$  são apenas aproximações e devem ser corrigidos considerando:

área foliar pequena



predomina a evaporação do solo

solo humedecido

$K_{c\text{ ini}}$  é elevado

superfície do solo seca

$K_{c\text{ ini}}$  é baixo

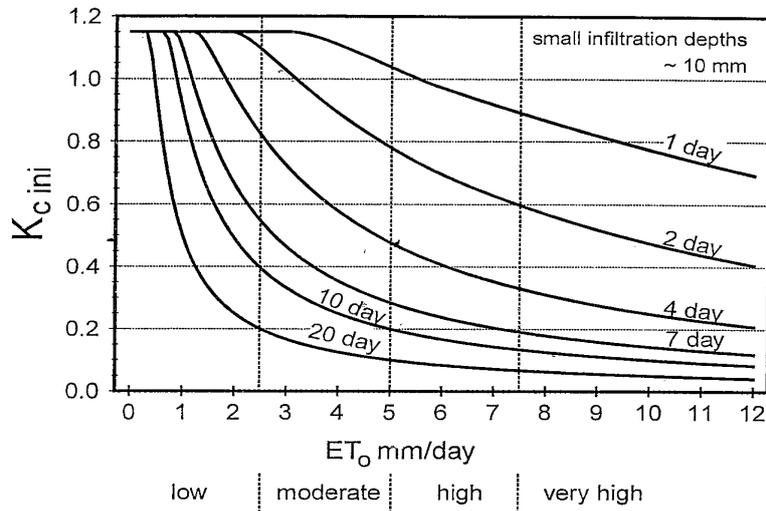
Estimativas gerais para  $K_{c\text{ ini}}$  em função da frequência de humedecimento, da  $ET_0$  e da magnitude do evento para um solo de textura média

Intervalo entre eventos de humedecimento	Poder evaporativo ( $ET_0$ )			
	baixo 1-3 mm/dia	moderado 3-5 mm/dia	elevado 5-7 mm/dia	Muito elevado > 7 mm/dia
< semanal	1.2 - 0.8	1.1 - 0.6	1.0-0.4	0.9 - 0.3
semanal	0.8	0.6	0.4	0.3
> semanal	0.7 - 0.4	0.4 - 0.2	0.3 - 0.2	0.2 - 0.1

Área disciplinar de Eng. Agronómica

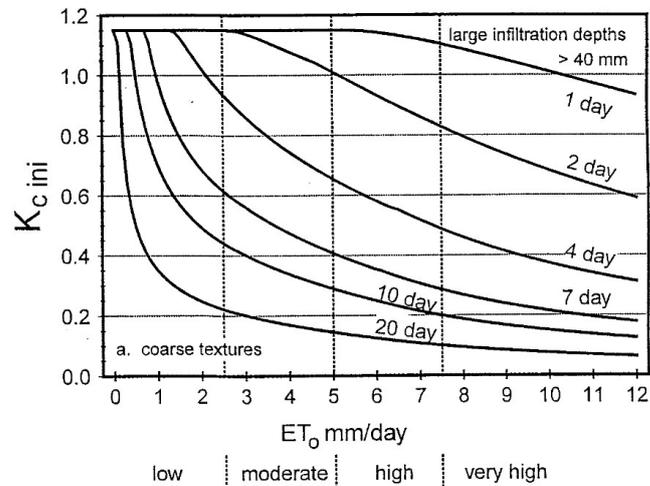
20

1) Eventos **ligeiros** de humedecimento:  
precipitação e rega de alta frequência

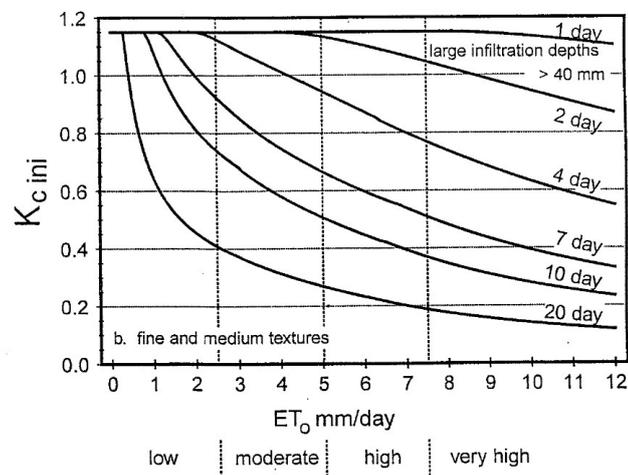


2) Eventos **significativos** de humedecimento:  
> 40 mm, rega de superfície e por aspersão

a) Em solos arenosos



b) Em solos limosos e argilosos



Área disciplinar de Eng<sup>a</sup> Rural

23

3) Eventos médios de humedecimento (dotações,  $D$ , entre 10 e 40 mm):

$$K_{c\ ini} = K_{c\ ini\ 1} + \frac{[K_{c\ ini\ 2} - K_{c\ ini\ 1}]}{(40 - 10)} (D - 10)$$

sendo

$K_{c\ ini\ 1}$  o valor de  $K_{c\ ini}$  para alturas de 10 mm

$K_{c\ ini\ 2}$  o valor de  $K_{c\ ini}$  para alturas infiltradas de 40 mm e

$D$  a altura de água média infiltrada (mm)

Área disciplinar de Eng<sup>a</sup> Rural

24

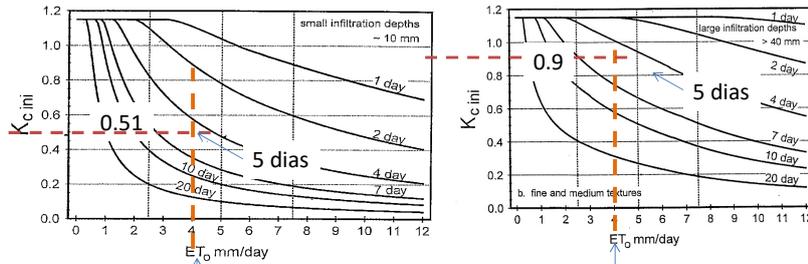
**Exercício 1:**

Determine o valor de  $Kc_{ini}$  para as seguintes condições.

- O período inicial ocorreu no mês de Maio ( $ET_o=4 \text{ mm dia}^{-1}$ )
- Intervalo entre acontecimentos : 5 dias
- Altura média das precipitações/rega ocorridas: 18 mm
- Textura do solo: limosa

( $Kc_{ini} = 0.614$ )

Resolução : interpolação linear entre os  $Kc_{ini}$  de 10 mm e 40 mm



$$Kc_{ini}(18) = Kc_{ini}(10) + \frac{Kc_{ini}(40) - Kc_{ini}(10)}{40 - 10} \times (18 - 10)$$

$$Kc_{ini}(18) = 0.51 + \frac{0.9 - 0.51}{30} \times 8 = 0.614$$

Área disciplinar de Engª Rural

25

 $Kc_{ini}$  para árvores e arbustos

O  $Kc_{ini}$  depende da:

- frequência de humedecimento do solo,
- cobertura do solo por infestantes,
- densidade das árvores e
- existência de mulch

Para um pomar o  $Kc_{ini}$  pode ser:

- tão elevado quanto 0.8 ou 0.9, se existir cobertura do solo com infestantes,
- tão baixo quanto 0.3 ou 0.4 quando a superfície do solo é mantida nua e o humedecimento é pouco frequente.



Área disciplinar de Engª Rural

26

Crop	$K_{c\text{ini}}$	$K_{c\text{mid}}$	$K_{c\text{end}}$	f
<b>m. Grapes and Berries</b>				
Berries (bushes)	0.30	1.05	0.50	
Grapes				
- Table or Raisin	0.30	0.85	0.45	
- Wine	0.30	0.70	0.45	
Hops	0.3	1.05	0.55	
<b>n. Fruit Trees</b>				
Almonds, no ground cover	0.40	0.90	0.65 <sup>18</sup>	
Apples, Cherries, Pears <sup>19</sup>				
- no ground cover, killing frost	0.45	0.95	0.70 <sup>18</sup>	
- no ground cover, no frosts	0.60	0.95	0.75 <sup>18</sup>	
- active ground cover, killing frost	0.50	1.20	0.95 <sup>18</sup>	
- active ground cover, no frosts	0.80	1.20	0.85 <sup>18</sup>	
Apricots, Peaches, Stone Fruit <sup>19,20</sup>				
- no ground cover, killing frost	0.45	0.90	0.65 <sup>18</sup>	
- no ground cover, no frosts	0.55	0.90	0.65 <sup>18</sup>	
- active ground cover, killing frost	0.50	1.15	0.90 <sup>18</sup>	
- active ground cover, no frosts	0.80	1.15	0.85 <sup>18</sup>	
Avocado, no ground cover	0.60	0.85	0.75	
Citrus, no ground cover <sup>21</sup>				
- 70% canopy	0.70	0.85	0.70	
- 50% canopy	0.65	0.80	0.65	
- 20% canopy	0.50	0.45	0.55	
Citrus, with active ground cover or weeds <sup>22</sup>				
- 70% canopy	0.75	0.70	0.75	
- 50% canopy	0.80	0.80	0.80	
- 20% canopy	0.85	0.85	0.85	

(FAO 56)

<sup>21</sup> These  $K_c$  values can be calculated from Eq. 98 for  $K_{c\text{min}} = 0.15$  and  $K_{c\text{full}} = 0.75, 0.70$  and  $0.75$  for the initial, mid season and end of season periods, and  $f_{c\text{eff}} = f_c$  where  $f_c$  = fraction of ground covered by tree canopy (e.g., the sun is presumed to be directly overhead). The values listed correspond with those in Doorenbos and Pruitt (1977) and with more recent measurements. The midseason value is lower than initial and ending values due to the effects of stomatal closure during periods of peak ET. For humid and subhumid climates where there is less stomatal control by citrus, values for  $K_{c\text{ini}}$ ,  $K_{c\text{mid}}$ , and  $K_{c\text{end}}$  can be increased by 0.1 - 0.2, following Rogers et al. (1983).

Área disciplinar de Eng<sup>a</sup> Rural

27

### $K_{c\text{ini}}$ para a cultura do arroz com alagamento

Quando a lâmina de água no canteiro de arroz apresenta uma profundidade de 0.10-0.20 m, a ETc durante o estágio inicial é constituída principalmente por evaporação da água.

O  $K_{c\text{ini}}$  na tabela dos Kc da FAO (Tabela 12) é 1.05 para um clima sub-húmido com velocidade do vento calma a moderada.

O Kc ini deve ser ajustado para o clima local, conforme indicado no quadro seguinte (Quadro 14 do FAO 56)

### $K_{c\text{ini}}$ para a cultura do arroz e para vários tipos de clima

Humidade	Velocidade do vento		
	ligeira	moderada	forte
Árido e semiárido	1.10	1.15	1.20
Sub-húmido a húmido	1.05	1.10	1.15
Muito húmido	1.00	1.05	1.10

Área disciplinar de Eng<sup>a</sup> Rural

28

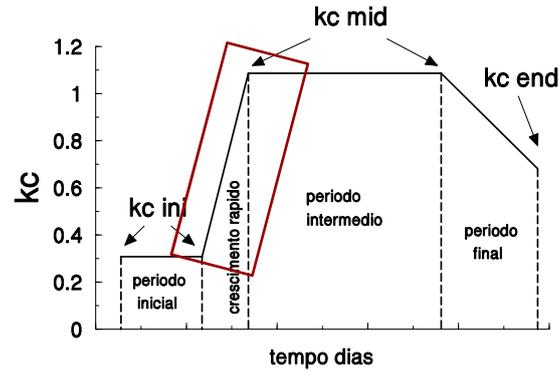
### B. Fase de desenvolvimento das culturas

a cultura cobre cada vez mais do solo

evaporação torna-se mais restrita

transpiração torna-se gradualmente o processo principal

O valor de  $K_c$  vai variando de acordo com o desenvolvimento da



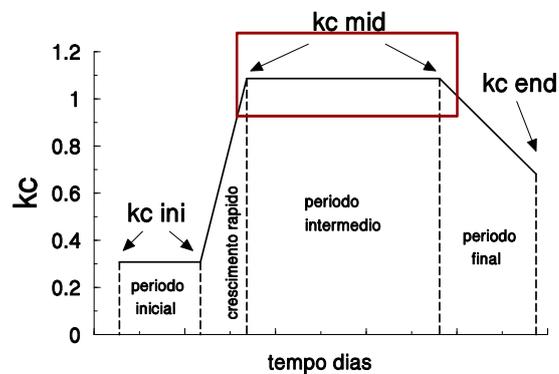
Área disciplinar de Eng. Rural

29

### C. Fase intermédia

- Entre o início da cobertura total e o início da senescência;
- É o estágio mais longo para plantas perenes e para muitas anuais, mas pode ser relativamente curto para hortícolas, que são colhidas antes da maturação;

- O valor de  $K_c$  mid é relativamente constante;



Área disciplinar de Eng. Rural

30

### Correcção do Kc devido ao clima

Os valores de Kc tabelados (FAO 56) são valores típicos esperados para condições climáticas padrão:

- clima sub-húmido;
- humidade relativa mínima do ar (RHmin)  $\approx$  45% e
- vento moderado  $\Leftrightarrow$  velocidade média de 2 m/s.

- climas mais áridos e maior velocidade de vento  $\Rightarrow$  Kc  $\uparrow$
- climas mais húmidos e menores velocidades do vento  $\Rightarrow$  Kc  $\downarrow$

A utilização dos valores tabelados para outras condições requer a sua correcção através da equação:

$$Kc_{mid} = Kc_{mid_{tab}} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

sendo:

$Kc_{mid(tab)}$  o valor de  $Kc_{mid}$  retirado da tabela;

$u_2$  o valor médio diário da velocidade do vento medida a 2 metros de altura ( $1 < u_2 < 6$  m/s);

$HR_{min}$  o valor médio diário da humidade relativa mínima ( $20 < HR_{min} < 80$  %); e

$h$  a altura média da planta ( $0.1 < h < 10$  m).

### Exercício 2:

Determine os valores de  $K_{c\text{mid}}$  para a cultura do milho para os seguintes climas:

- a) clima húmido com  $u = 1.3 \text{ m s}^{-1}$  e  $\text{HR min} = 75\%$ ;  
 b) clima árido com  $u = 4.6 \text{ m s}^{-1}$  e  $\text{HR min} = 44\%$ .

(Solução:  $K_{c\text{mid}} = 1.07$ ;  $K_{c\text{mid}} = 1.30$ )

Resolução:

Quadro 12 FAO 56



$K_{c\text{mid}} = 1.2$

Clima húmido 
$$K_{c\text{mid}} = 1.2 + [0.04(1.3 - 2) - 0.004(75 - 45)] \left(\frac{2}{3}\right)^{0.3} = 1.07$$

Clima sub-árido 
$$K_{c\text{mid}} = 1.2 + [0.04(4.6 - 2) - 0.004(44 - 45)] \left(\frac{2}{3}\right)^{0.3} = 1.3$$

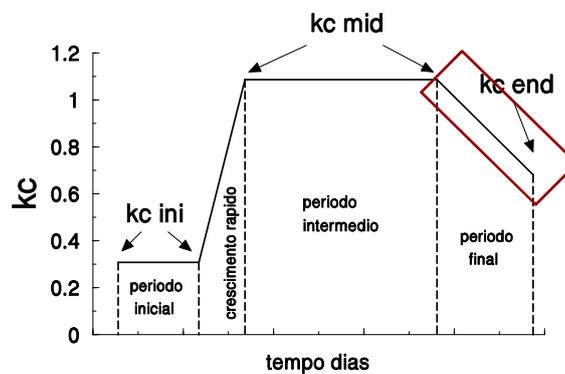
Área disciplinar de Eng.º Rural

33

### 3. Período final, $K_{c\text{end}}$ : desde o início da senescência até à senescência completa, ou colheita

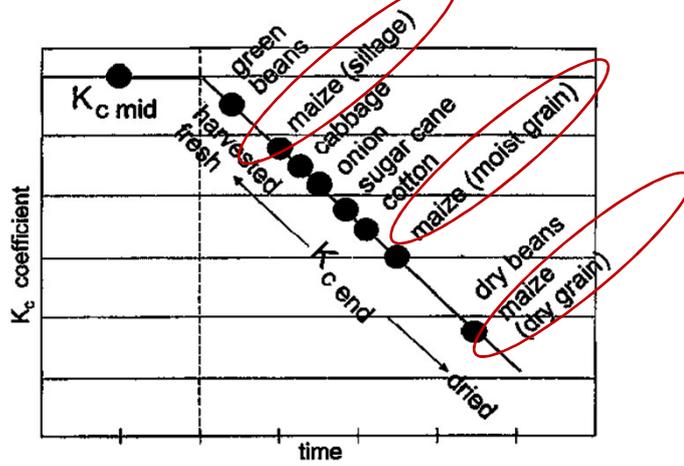
O valor de  $K_{c\text{end}}$  reflete as práticas de gestão das culturas

- cultura regada com frequência e colheita em fresco  $\Rightarrow K_{c\text{end}}$  alto
- colheita após senescência  $\Rightarrow K_{c\text{end}}$  baixo



34

Variação do Kc com a data de colheita



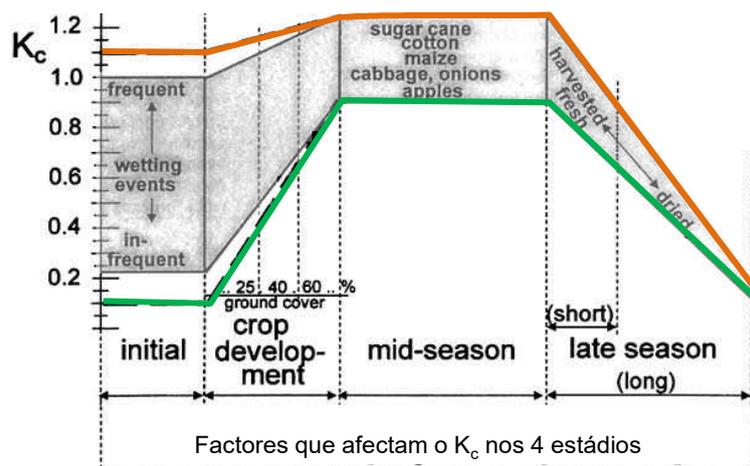
Correção para o clima

$$K_{c\ end} = K_{c\ end\ tab} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

Área disciplinar de Engª Rural

Em resumo :

Variação de Kc para diferentes culturas influenciada pelos diversos fatores



Fatores que afectam o Kc nos 4 estádios

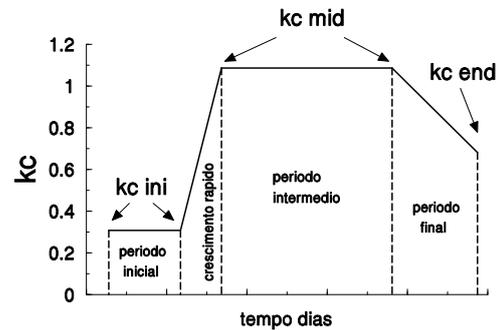
Fatores	Evaporação do solo	Cobertura do solo e desenvolvimento da cultura	Tipo de cultura Humidade do ar Velocidade do vento	Tipo de cultura Data de colheita Humidade do ar Velocidade do vento
---------	--------------------	--	--	--

### 2.4.3 Construção da curva dos $K_c$

#### Culturas anuais

#### A. Dividir o ciclo cultural em quatro períodos:

- inicial,
- de rápido desenvolvimento vegetativo,
- intermédio e
- final.



#### B. Determinar os comprimentos de cada período e identificar, a partir das tabelas, os $K_c$

correspondentes a  $K_{c\ ini}$ ,  $K_{c\ mid}$  e  $K_{c\ end}$ ;

#### C. Ajustar os valores de $K_{c\ ini}$ , $K_{c\ mid}$ e $K_{c\ end}$ às condições climáticas e ao

padrão de humedecimento do solo;

#### D. Construir a curva. Desenhar linhas horizontais nos estádios correspondentes ao $K_{c\ ini}$ e ao

$K_{c\ mid}$  e desenhar diagonais ligando  $K_{c\ ini}$  a  $K_{c\ mid}$  e  $K_{c\ mid}$  a  $K_{c\ end}$ .

Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

37

#### Determinação do $K_c$ para qualquer dia do desenvolvimento da cultura

$$K_c(i) = K_{c\ prev} + \left[ \frac{i - L_{prev}}{L_{stage} + 1} \right] (K_{c\ seg} - K_{c\ prev})$$

Onde

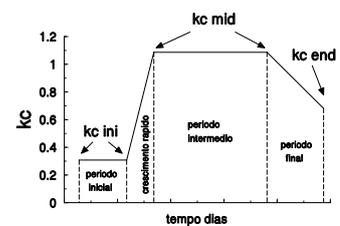
$K_{c\ i}$  é o coeficiente no dia  $i$

$K_{c\ prev}$  é o coeficiente do estágio antecedente

$K_{c\ seg}$  é o coeficiente do estágio seguinte

$L_{prev}$  é o comprimento em dias do estágio antecedente

$L_{stage}$  é o comprimento em dias do estágio a que pertence o dia  $i$



Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

38

### Exercício 3:

Considere uma cultura de beterraba em solo franco-limoso em Beja, cuja sementeira ocorre no dia 23 de Maio. Durante o desenvolvimento inicial a  $ET_0$  vale  $5.5 \text{ mm dia}^{-1}$  e são realizadas regas intervaladas em 14 dias e dotação de 10 mm. Durante o desenvolvimento intermédio a  $HR$  mínima do ar é de 30 % e a velocidade média de vento é  $2.2 \text{ m s}^{-1}$ . No período final a  $HR_{\min} = 45 \%$  e velocidade do vento =  $2 \text{ m s}^{-1}$ . Não há rega nos dias que antecedem a colheita.

- Construa a curva dos coeficientes culturais;
- Calcule os  $K_c$  médio do mês de julho;
- Determine o  $K_c$  do dia 183 (DDA) (2 de Julho)
- Determine a evapotranspiração cultural acumulada por mês e para toda a época cultural da beterraba.



Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

39

- Divisão do ciclo cultural em períodos e determinação do comprimento de cada um

Crop	Init. (L <sub>ini</sub> )	Dev. (L <sub>dev</sub> )	Mid (L <sub>mid</sub> )	Late (L <sub>late</sub> )	Total	Plant Date	FAO 56 Tabela 11
<b>d. Roots and Tubers</b>							
Beets, table	15	25	20	10	70	Apr/May	Mediterranean
	25	30	25	10	90	Feb/Mar	Mediterranean & Arid
Cassava: year 1	20	40	90	60	210	Rainy	Tropical regions
year 2	150	40	110	60	360	season	
Potato	25	30	30/45	30	115/130	Jan/Nov	(Semi) Arid Climate
	25	30	45	30	130	May	Continental Climate
	30	35	50	30	145	April	Europe
	45	30	70	20	165	Apr/May	Idaho, USA
Sweet potato	30	35	50	25	140	Dec	Calif. Desert, USA
	20	30	60	40	150	April	Mediterranean
Sugarbeet	15	30	50	30	125	Rainy seas	Tropical regions
	30	45	90	15	180	March	Calif., USA
	25	30	90	10	155	June	Calif., USA
	25	65	100	65	255	Sept	Calif. Desert, USA
	50	40	50	40	180	April	Idaho, USA
	25	35	50	50	160	May	Mediterranean
45	75	80	30	230	November	Mediterranean	
35	60	70	40	205	November	Arid Regions	

#### Tabela

Sementeira em maio

- $L_{ini} = 25$  dias
- $L_{dev} = 35$  dias
- $L_{mid} = 50$  dias
- $L_{late} = 50$  dias
- $L_{total} = 160$  dias

#### Dados da região

Sementeira 23/05

- $L_{ini} = 20$  dias
- $L_{dev} = 30$  dias
- $L_{mid} = 40$  dias
- $L_{late} = 20$  dias
- $L_{total} = 110$  dias

Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

40

✓ Identificar os  $K_c$  correspondentes

FAO 56  
Tabela 12

d. Roots and Tubers	0.5	1.10	0.95	
Beets, table		1.05	0.95	0.4
Cassava				
- year 1	0.3	0.80 <sup>3</sup>	0.30	1.0
- year 2	0.3	1.10	0.50	1.5
Parsnip	0.5	1.05	0.95	0.4
Potato		1.15	0.75 <sup>4</sup>	0.6
Sweet Potato		1.15	0.65	0.4
Turnip (and Rutabaga)		1.10	0.95	0.6
Sugar Beet	0.35	1.20	0.70 <sup>5</sup>	0.5

<sup>5</sup> This  $K_{c\ end}$  value is for no irrigation during the last month of the growing season.  
The  $K_{c\ end}$  value for sugar beets is higher, up to 1.0, when irrigation or significant rain occurs during the last month.

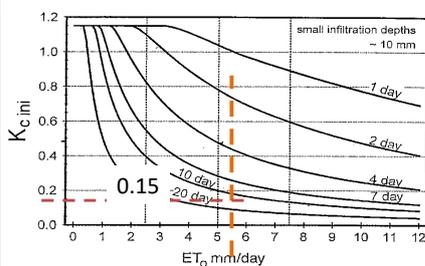
Tabela

- $K_{c\ ini} = 0.35$
- $K_{c\ mid} = 1.2$
- $K_{c\ end} = 0.7$
- Altura da cultura 0.5 m

a)  
✓ Correção dos  $K_c$  para as condições da região

Estádio inicial

$ET_o$  vale 5.5 mm dia<sup>-1</sup> e são realizadas regas com intervalos de 14 dias e dotação de 10 mm.



$K_{c\ ini} = 0.15$

Estádio intermédio

HR mínima do ar é de 30 %;  
velocidade média de vento é 2.2 m s<sup>-1</sup>.

$$= K_{c\ mid\ tab} + \left[ 0.04(U_2 - 2) - 0.004(HR_{\min} - 45) \left( \frac{h}{3} \right)^{0.37} \right]$$

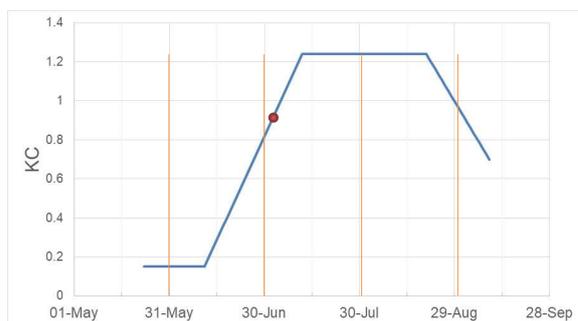
$K_{c\ mid} = 1.24$

Estádio Final

Nos dias que antecedem a colheita não há rega;  
HR mínima do ar é de 45 %;  
velocidade média de vento é 2 m s<sup>-1</sup>.

Não é necessária correção

$K_{c\ end} = 0.7$



b)  $K_c$  médios para o mês de julho;

Julho tem:

20 dias com  $K_c = 1.24$

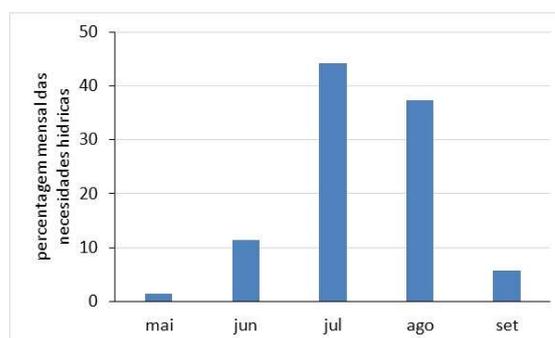
11 dias com  $K_c$  entre 0.85 e 1.2 (média = 1.025)

$$K_{c_{julho}} = \frac{11 \times 1.025 + 1.24 \times 20}{31} = 1.17$$

c)  $K_c(41) = 0.15 + \left[ \frac{41-20}{30} \right] (1.24 - 0.15) = 0.913$

d)

Mês	ETc (mm)
mai	7.8
jun	61.7
jul	240.2
ago	202.4
set	31.1
<b>Total</b>	<b>543.2</b>



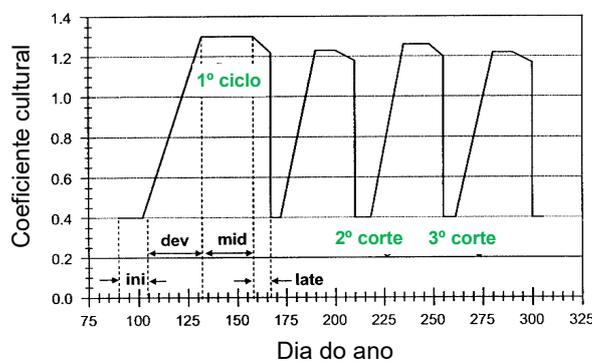
Área disciplinar de Engº Rural

43

### Algumas culturas forrageiras

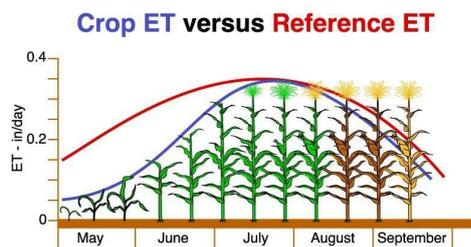
- São colhidas várias vezes durante o seu ciclo cultural;
- Cada colheita termina um “sub ciclo cultural” e portanto uma curva de  $K_c$ , iniciando um novo “sub ciclo cultural” e uma nova curva de  $K_c$ ;
- A curva de  $K_c$  resultante é a agregação da série de curvas associadas com cada sub ciclo.

Curva de  $K_c$  para culturas com colheitas múltiplas durante o ciclo cultural



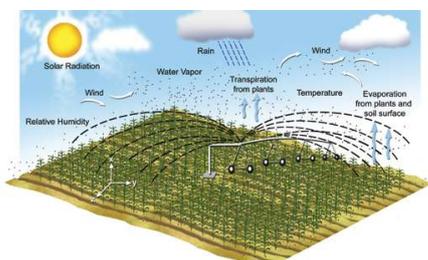
Área disciplinar de Engº Rural

44

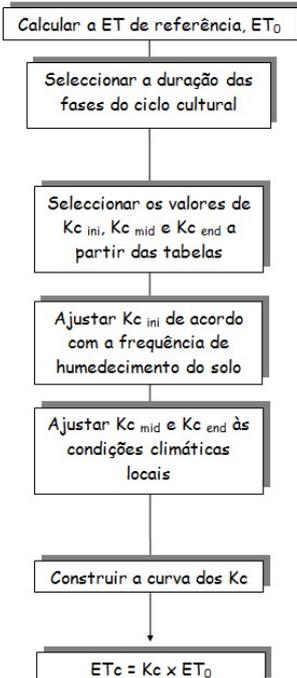


Resumo da metodologia para o cálculo de  $ET_c$

Necessidades hídricas das culturas em condições padrão



Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural



45

### Bibliografia:

- Pereira, L.S., 2004. *Necessidades de água e métodos de rega*. Publicações Europa-América
- Oliveira, I., 1993. *Técnicas de regadio*. Edição do Autor.
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D. and Smith, M., 1998. Crop evapotranspiration-Guidelines for computing crop water requirements-FAO Irrigation and drainage paper 56. *FAO, Rome, 300(9)*, p.D05109.

[Link para FAO 56](#)

### Kc actualizados

- Pereira, L.S., Paredes, P., Lopez-Urrea, R., Hunsaker, D.J., Mota, M., Mohammadi Shad, Z. (2021a). Standard single and basal crop coefficients for vegetable crops, an update of FAO56 crop water requirements approach. *Agricultural Water Management* **243**, 106196.
- Pereira, L.S., Paredes, P., Hunsaker, D.J., López-Urrea, R., Mohammadi Shad, Z. (2021b). Standard single and basal crop coefficients for field crops. Updates and advances to the FAO56 crop water requirements method. *Agricultural Water Management* **243**, 106466.
- Rallo, G., Paço, T.A., Puig, A., Paredes, P., Massai, R., Provenzano, G., Pereira, L.S. (2021). Updated single and dual crop coefficients for tree and vine fruit crops. *Agricultural Water Management* **250**, 106645.

Área disciplinar de Eng<sup>o</sup> Rural

46