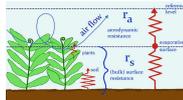


UC Necessidades Hídricas e Sistemas de Rega / 1º ciclo de Eng. Agronómica
M.ª Rosário Cameira / Instituto Superior de Agronomia



INSTITUTO SUPERIOR DE AGRONOMIA
Universidade de Lisboa

Departamento de Ciências e Engenharia de Biosistemas

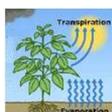





UC Necessidades hídricas e sistemas de rega

Aula 2 (TP)

2. Necessidades hídricas das culturas (continuação)







1

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^a Rural

2

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

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



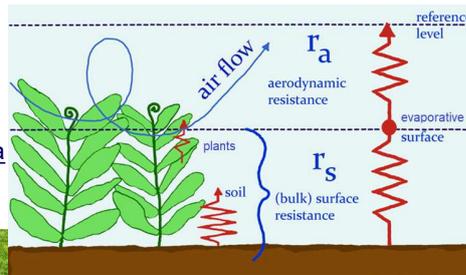
cultura que estamos a estudar ≠ cultura de referência usada para o cálculo da ET_o (relvado hipotético)

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)

3

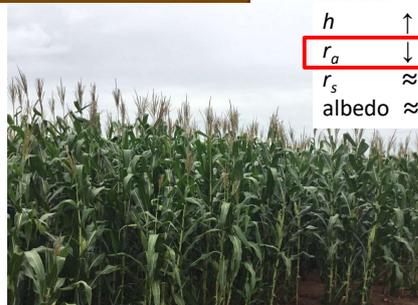
(1) **Altura da cultura (h):** influencia o termo de resistência aerodinâmica, r_a , da equação de Penman-Monteith e portanto a transferência de vapor da cultura para a atmosfera.



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



Cultura de referência: $h = 12 \text{ cm}$
 $r_s = 70 \text{ s m}^{-1}$
 albedo = 0.23



h ↑
 r_a ↓
 $r_s \approx$
 albedo \approx

r_a tanto mais pequena quanto maior

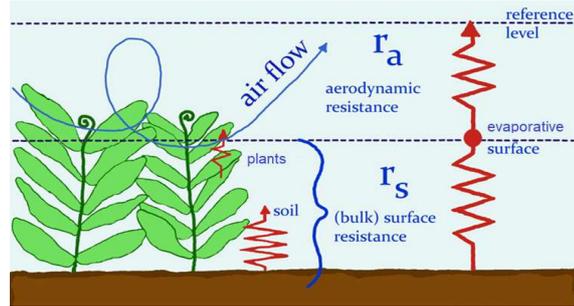
- a altura da cultura
- a velocidade do vento

4

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

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

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



Área disciplinar de Engº Rural

5

(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

- Cultura;
- Evaporação do solo;
- Estado de desenvolvimento da cultura.

Área disciplinar de Engº Rural

8

8

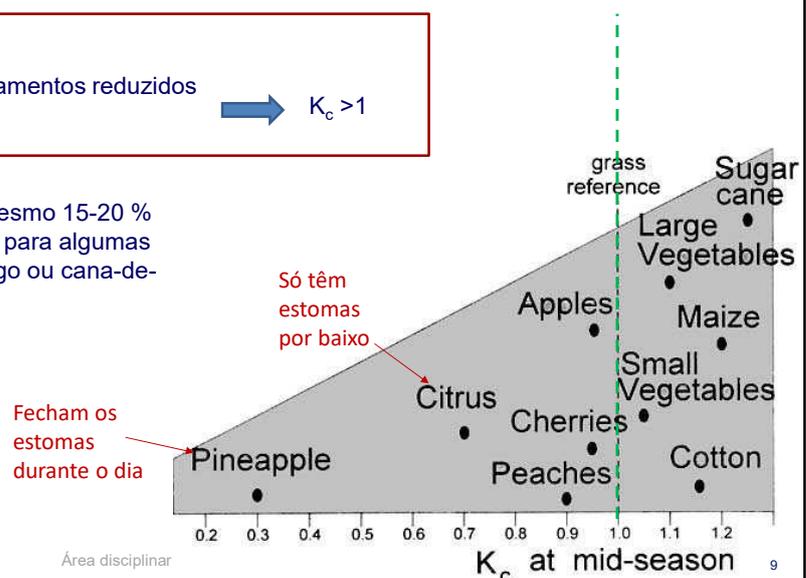
a) Tipo de cultura

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.



9

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.

10

c) Estádio de desenvolvimento da cultura

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

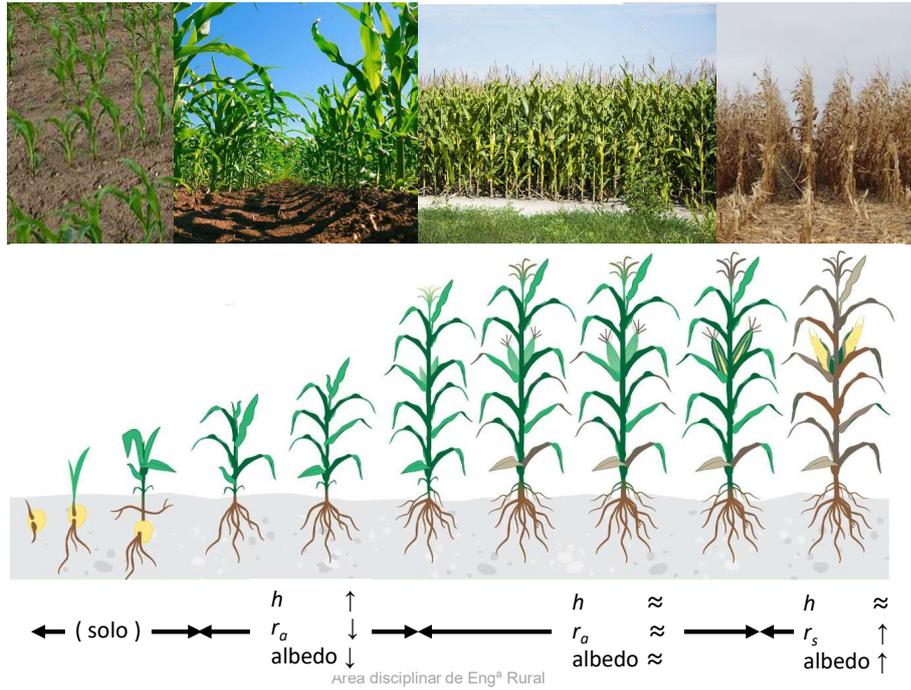
Porquê?

- 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.

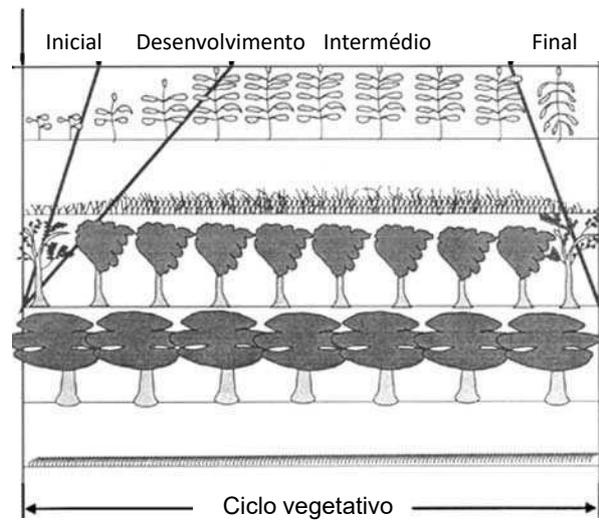
13



14

Tipo de cultura

- Anual
- Perene
- Pastos
- Árvores e arbustos de folha caduca
- Árvores e arbustos de folha persistente
- “Relva hipotética” de referência



Estádios de crescimento das culturas para diferentes tipos de culturas

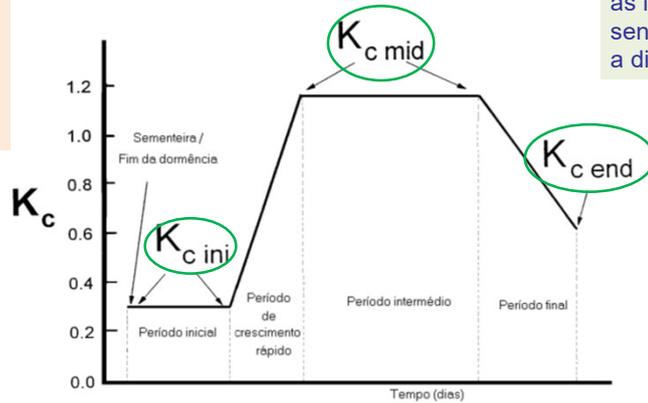
15

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 K_c ($K_{c\ ini}$) é pequeno

O valor de K_c começa a aumentar no início do desenvolvimento rápido atingindo um valor máximo ($K_{c\ mid}$) no desenvolvimento máximo da planta

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



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

16

Valores indicativos da duração dos estádios de desenvolvimento para diferentes regiões climáticas (FAO 56)

Crop	Init. (L-ini)	Dev. (L-dev)	Mid (L-mid)	Late (L-late)	Total	Plant Date	Region
a. Small Vegetables							
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
	25	40	95	20	180	Oct	(Semi) Arid
	25	40	45	15	125	April	Mediterranean
Celery	30	55	105	20	210	Jan	(Semi) Arid
	20	30	20	10	80	April	Mediterranean
	25	35	25	10	95	February	Mediterranean
Crucifers†	30	35	90	40	195	Oct/Nov	Mediterranean
	20	30	15	10	75	April	Mediterranean
	30	40	25	10	105	Nov/Jan	Mediterranean
Lettuce	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 plantas devem ser usadas, sempre que possível, para incorporar os efeitos da variedade vegetal, do clima e das práticas culturais.

17

Coeficientes culturais para culturas em condições padrão (FAO 56rev)

Crop	$K_{c\text{ ini}}$	$K_{c\text{ mid}}$	$K_{c\text{ end}}$	Maximum crop height (h, m)	Maximum root depths (Z_r , m)
a. Roots, tubers, bulbs, and stem vegetable crops					
Asparagus (<i>Asparagus officinalis</i>)	0.50	1.00	0.30	0.80	1.20 – 1.80
Carrots (<i>Daucus carota</i>)	0.70	1.00	0.85	0.30	0.30 – 0.50
Cassava (<i>Manihot esculenta</i>)	Year 1	0.30	1.00	1.00	0.50 – 0.80
	Year 2	0.60	1.10	0.60	0.70 – 1.00
Celeriac, celery root (<i>Apium graveolens</i> group <i>rapaceum</i>)	0.60	1.05	1.00	0.60 – 0.90	0.20 – 0.50
Chufa, tigernut (<i>Cyperus esculentus</i>)	0.50	1.10	0.60	0.60	0.30 – 0.50
Garlic (<i>Allium sativum</i>)	0.70	1.05	0.70	0.50	0.30 – 0.50
Leek (<i>Allium porrum</i>)	0.70	1.00	0.90	0.50	0.30 – 0.90
Mashua (<i>Tropaeolum tuberosum</i>)	0.50	1.05	0.75	0.60	0.30 – 0.60
Onions (<i>Allium cepa</i>)	Dry	0.70	1.05	0.70	0.45
	Green	0.70	1.00	0.90	0.45
	Seed	0.70	1.00	0.50	0.45
Parsnip (<i>Pastinaca sativa</i>)	0.50	1.05	1.00	0.40	0.50 – 1.00
Potato (<i>Solanum tuberosum</i>)	Long season	0.50	1.10	0.40	0.60
	Short season	0.50	1.10	0.60	0.60
Radish (<i>Raphanus sativus</i>)	0.70	0.95	0.85	0.30	0.30 – 0.50
Rutabaga (<i>Brassica napobrassica</i>)	0.50	1.10	1.00	0.60	0.50 – 1.00
Sweet potato (<i>Ipomoea batatas</i>)	0.50	1.10	0.65	0.50	1.00 – 1.20
Table beets (<i>Beta vulgaris</i>)	0.50	1.05	1.00	0.40	0.45 – 1.00

18

18

2.4.2 Variação do coeficiente cultural simples com as fases fenológicas

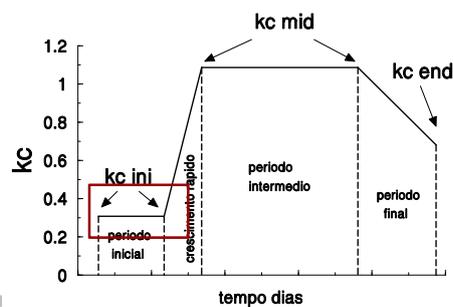
 A. Fase inicial ($K_{c\text{ ini}}$) : Desde sementeira até cobertura do solo de 10%

 Fatores de que depende o $K_{c\text{ ini}}$:

- Período de tempo entre eventos de humedecimento do solo:** quanto menor for o período de tempo entre eventos de humedecimento maior será o $K_{c\text{ ini}}$;
- Poder de evaporação da atmosfera**, ou seja, ET_o . Quanto maior o poder de evaporação da atmosfera, mais rapidamente o solo vai secar entre aplicações de água e tanto menor será o $K_{c\text{ ini}}$;
- Magnitude do evento:** $K_{c\text{ ini}}$ será menor para eventos ligeiros do que para grandes eventos de humedecimento;

Dependendo dos fatores acima referidos, o $K_{c\text{ ini}}$ pode variar entre:

0.1 e 1.15.

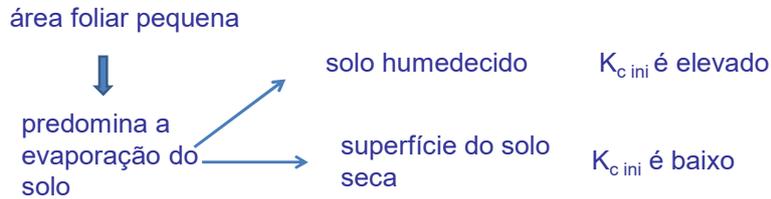


Área discipli

19

19

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

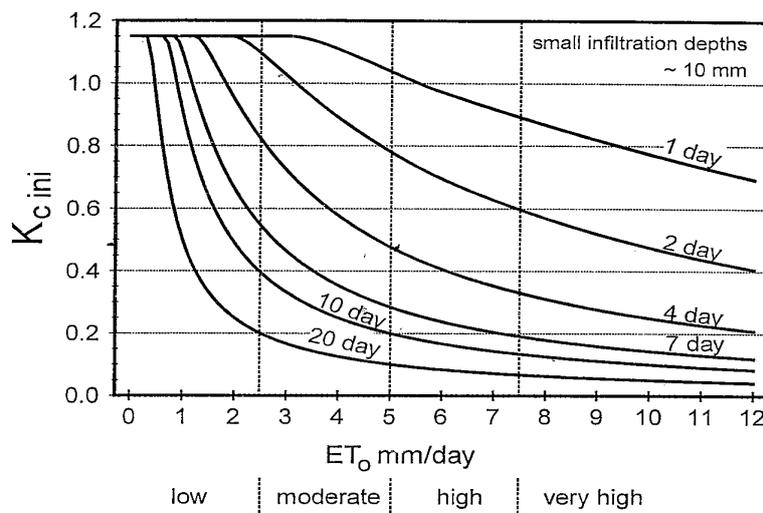


Estimativas gerais para $K_{c\ ini}$ em função da frequência de humedecimento, da ET_o e da magnitude do evento para um solo de textura média

Intervalo entre eventos de humedecimento	Poder evaporativo (ET_o)			
	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. Rural

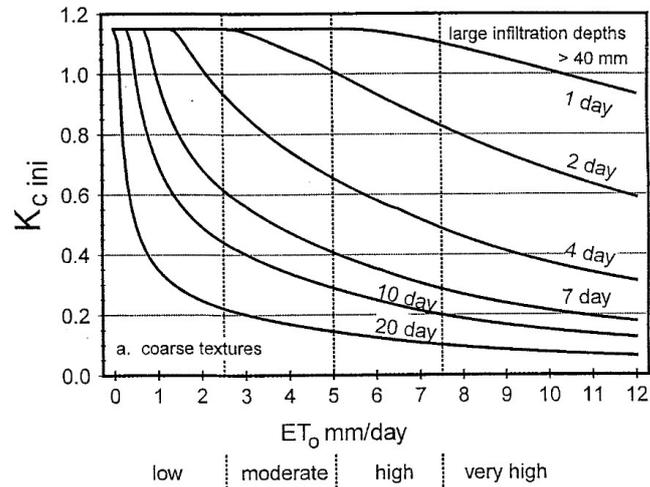
1) Eventos ligeiros de humedecimento:
precipitação e rega de alta frequência



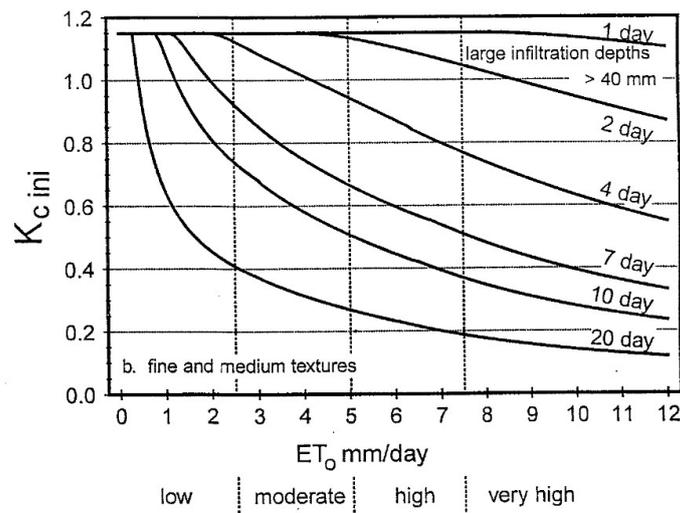
Área disciplinar de Eng. Rural

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

a) Em solos arenosos



b) Em solos limosos e argilosos



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)

24

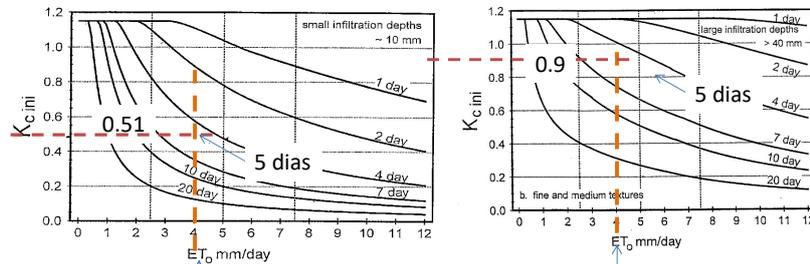
Exercício 1:

Determine o valor de $K_{c\ ini}$ 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/regas ocorridas: 18 mm
- Textura do solo: limosa

$$(K_{c\ ini} = 0.614)$$

Resolução : interpolação linear entre os $K_{c\ ini}$ de 10 mm e 40 mm



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

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

25

$K_{c\ ini}$ para árvores e arbustos

O $K_{c\ ini}$ depende da:

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



Para um pomar o $K_{c\ ini}$ 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

26

Degree of ground cover or field system, training, and plant density	Fraction of ground cover (f _g)	Maximum crop height (h, m)	$K_{c\ ini}$	$K_{c\ mid}$	$K_{c\ end}$
a. Mediterranean and warm temperate climates fruit trees and vines					
a.1. Olive (<i>Olea europaea</i>)					
Young (< 7 years traditional, < 4 years intensive)	0.15 – 0.30	1.5 – 2.0	0.40	0.35	0.40
Traditional, non-irrigated; low density; 100 – 200 pl ha ⁻¹	0.15 – 0.30	2.5 – 3.5	0.45	0.45	0.45
Traditional, non-irrigated; medium density; 200 – 300 pl ha ⁻¹	0.20 – 0.40	3.0 – 4.5	0.50	0.50	0.50
Intensive, hedge-prune; low to medium density; 300 – 800 pl ha ⁻¹	0.30 – 0.40	3.0 – 3.5	0.50	0.60	0.60
Super-intensive; medium density, hedgerow; 800 – 1500 pl ha ⁻¹	0.35 – 0.45	3.0 – 3.5	0.55	0.65	0.65
Super-intensive; high density, hedgerow; 1 500 – 2 000 pl ha ⁻¹	0.45 – 0.55	3.0 – 4.0	0.60	0.70	0.70
a.2. Table grapes (<i>Vitis vinifera</i>)					
Low (Young); diverse trellis and training	< 0.40	< 1.5	0.35	0.65	0.55
Medium; T-trellis, Y-trellis and vertical shoot positioned (VSP); 1 200 – 1 700 pl ha ⁻¹	0.40 – 0.60	1.5 – 2.2	0.35	0.95	0.70
High; Y-trellis and overhead system; 1 200 – 1 700 pl ha ⁻¹	0.60 – 0.95	2.0 – 2.5	0.45	1.10	0.80
a.3. Wine grapes (<i>Vitis vinifera</i>)					
Very low (Young < 5 years); diverse trellis and trainings; 2 000 – 3 300 pl ha ⁻¹	< 0.15	< 1.5	0.30	0.35	0.30
Low; diverse trellis and training; 2 000 – 3 300 pl ha ⁻¹	0.15 – 0.35	1.5 – 2.0	0.35	0.60	0.40
Medium; VSP, single & double Guyot, GDC, single & bilateral cordon, Lyre, Y-trellis; 2 000 – 3 300 pl ha ⁻¹	0.35 – 0.50	1.5 – 2.0	0.40	0.80	0.55
High ; VSP, GDC, Lyre, Y-trellis, T-trellis, QCT, Pergola; 2 000 – 4 300 pl ha ⁻¹	0.50 – 0.60	1.5 – 2.5	0.40	0.95	0.65
Very high; Y-trellis, GDC and overhead system; 2 000 – 4 300 pl ha ⁻¹	> 0.60	1.8 – 2.5	0.45	1.05	0.70

(FAO 56rev)

Área disciplinar de Engª Rural

27

27

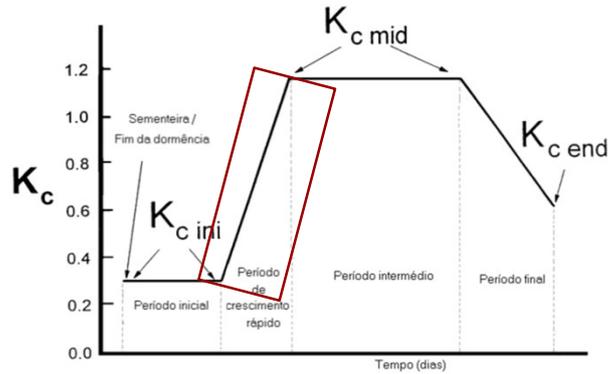
B. Fase de desenvolvimento das culturas

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 planta



Area disciplinar de Engº Rural

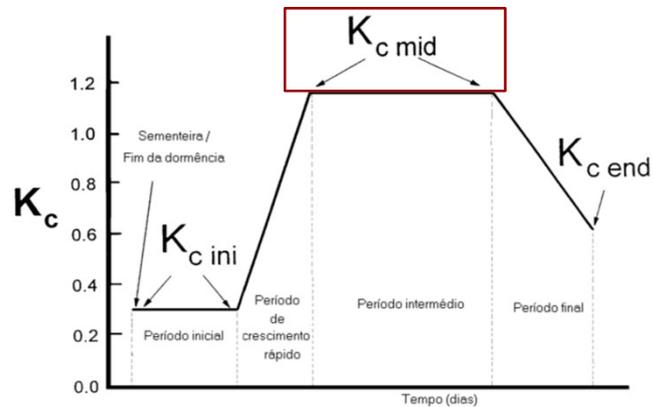
29

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;



Area disciplinar de Engº Rural

30

30

Correcção do K_c devido ao clima

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

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

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

31

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

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

sendo:

$K_{c \text{ mid(tab)}}$ o valor de $K_{c \text{ mid}}$ 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).

32

Crop	$K_{c, in}$	$K_{c, end}$	$K_{c, end}$	Maximum crop height (h, m)	Maximum root depths (Z_r , m)
c. Oil Crops					
Camelina (<i>Camelina sativa</i>)	0.20	1.10	0.45	0.80	1.00 – 1.50
Canola (<i>Brassica napus</i>)	0.50	1.10	0.35	1.00 – 1.50	0.80 – 1.30
Castorbean (<i>Ricinus communis</i>)	0.35	1.05	0.40	1.00 – 1.50	0.80 – 1.30
Linseed (Flax) (<i>Linum usitatissimum</i>)	0.35	0.95	0.25	0.90	1.00 – 1.50
Mustard (<i>Brassica juncea</i>)	0.35	1.10	0.40	1.50 – 2.00	0.50 – 1.10
Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i>)	0.35	1.05	0.25	1.10	1.00 – 2.00
Sesame (<i>Sesamum indicum</i>)	0.35	1.05	0.25	1.30	1.00 – 1.50
Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>)	0.35	1.15	0.30	2.00	0.80 – 2.00
d. Sugar crops					
Sugar beet (<i>Beta vulgaris</i>)	0.35	1.10	0.75	0.50	0.70 – 1.20
Sugar cane (<i>Saccharum officinarum</i>)	0.40	1.20	0.80	3.00 – 4.00	1.00 – 1.50
e. Bioenergy non-edible crops					
Cattail (<i>Typha latifolia</i>)	0.70	1.15	0.85	1.50 – 2.00	1.00 – 1.50
Cordgrass (<i>Spartina foliosa</i> , <i>S. alterniflora</i>)	1.00	1.15	1.15	2.00 – 2.50	1.00 – 1.50
Giant miscanthus (<i>Miscanthus x giganteus</i>)	1.00	1.25	1.25	2.00 – 3.00	1.00 – 2.00
Giant reed (<i>Arundo donax</i>)	1.00	1.20	0.90	2.00 – 3.00	1.00 – 1.50
Reed canary grass (<i>Phalaris arundinacea</i>)	1.00	1.15	0.90	1.50 – 2.00	1.00 – 2.00
Sedge (<i>Carex riparia</i> , <i>C. acutiformis</i>)	0.85	1.15	0.85	1.00 – 2.00	1.00 – 1.50
Switch grass (<i>Panicum virgatum</i>)	0.90	0.95	0.95	2.00 – 2.50	1.50 – 3.00
f. Cereals and pseudocereals					
Amaranth grain (<i>Amaranthus</i> sp.)	0.30	1.10	0.25	2.00	0.50 – 1.50
Barley (<i>Hordeum vulgare</i>)	0.30	1.10	0.25	0.70 – 0.90	0.60 – 1.20
Buckwheat (<i>Fagopyrum esculentum</i>)	0.30	1.05	0.25	1.00 – 1.20	0.60 – 1.20
Malte (Zea mays)					
Grain, low grain moisture at harvest	0.30	1.20	0.30	2.50 – 3.50	0.60 – 1.50
Grain, high grain moisture at harvest	0.30	1.20	0.65	2.50 – 3.50	0.60 – 1.50
Silage	0.30	1.15	0.95	2.50 – 3.20	0.60 – 1.50
Sweet	0.30	1.15	1.05	1.50 – 2.50	0.60 – 1.50

33

33

Exercício 2:

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

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

(Solução: $K_{c, mid} = 1.06$; $K_{c, mid} = 1.30$)

Resolução:

Quadro 6.2 FAO 56  $K_{c, mid} = 1.2$

Clima húmido $K_{c, mid} = 1.2 + [0.04(1.3 - 2) - 0.004(75 - 45)] \left(\frac{2.5}{3}\right)^{0.3} = 1.06$

Clima sub-árido $K_{c, mid} = 1.2 + [0.04(4.6 - 2) - 0.004(44 - 45)] \left(\frac{2.5}{3}\right)^{0.3} = 1.3$

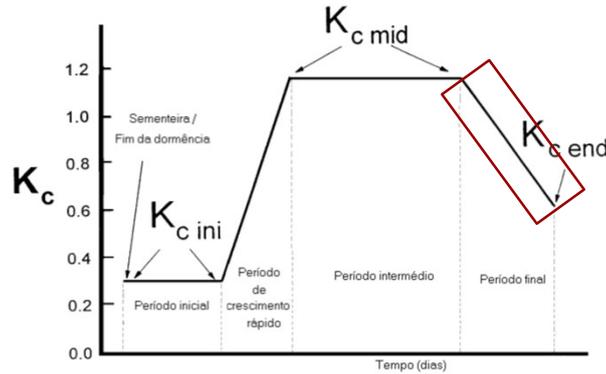
34

34

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

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

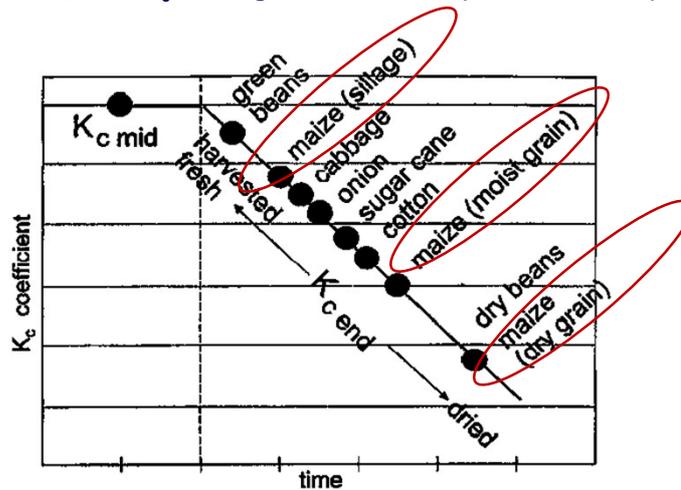
- cultura regada com frequência e colhida em fresco => $K_{c\ end}$ alto
- colheita após senescência => $K_{c\ end}$ baixo



Área disciplinar de Engª Rural

35

Variação do K_c com a gestão da cultura (data de colheita)



Correção para o clima (se $K_{c\ end} > 0.45$)

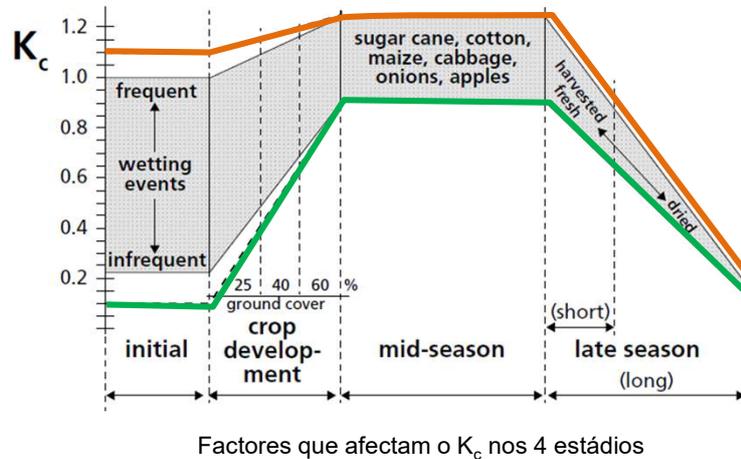
$$K_{c\ end} = K_{c\ end\ tab} + [0.04(U_2 - 2) - 0.004(HR_{min} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0.3}$$

Área disciplinar de Engª Rural

36

Em resumo :

Variação de K_c para diferentes culturas influenciada pelos diversos fatores



Factores que afectam o K_c 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
---------	--------------------	--	--	--

37

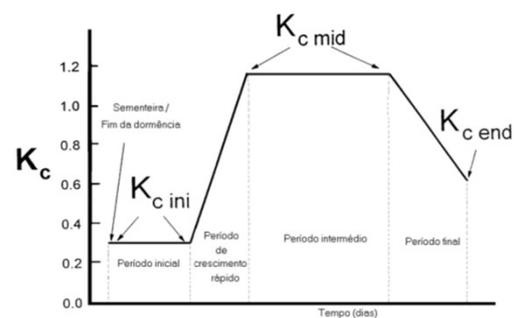
37

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

C. Ajustar os valores de $K_{c\text{ ini}}$, $K_{c\text{ mid}}$ e $K_{c\text{ end}}$ às condições climáticas e ao padrão de humedecimento do solo;

D. Construir a curva. Desenhar linhas horizontais nos estádios correspondentes ao $K_{c\text{ ini}}$ e ao $K_{c\text{ mid}}$ e desenhar diagonais ligando $K_{c\text{ ini}}$ a $K_{c\text{ mid}}$ e $K_{c\text{ mid}}$ a $K_{c\text{ end}}$.

Área disciplinar de Engª Rural

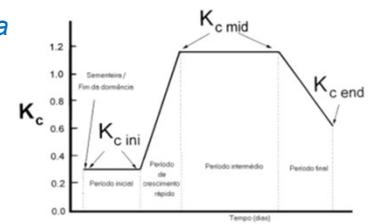
38

38

Determinação do K_c para qualquer dia do desenvolvimento da cultura

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

Onde

 $K_{c\text{ i}}$ é o coeficiente no dia i $K_{c\text{ prev}}$ é o coeficiente do estágio antecedente $K_{c\text{ seg}}$ 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 Engª Rural

39

39

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 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 m s^{-1} . No período final a $HR_{\text{min}} = 45 \%$ e velocidade do vento = 2 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 Engª Rural

40

40

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

FAO 56
Tabela 11

Crop	Init. (L _{ini})	Dev. (L _{dev})	Mid (L _{mid})	Late (L _{late})	Total	Plant Date	
d. Roots and Tubers							
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
	30	35	50	25	140	Dec	Calif. Desert, USA
Sweet potato	20	30	60	40	150	April	Mediterranean
	15	30	50	30	125	Rainy seas	Tropical regions
Sugarbeet	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_{mid} = 50 dias
 - L_{ini} = 25 dias
 - L_{dev} = 35 dias
 - L_{late} = 50 dias
 - L_{total} = 160 dias

Dados da região

- Sementeira 23/05
- L_{mid} = 40 dias
 - L_{ini} = 20 dias
 - L_{dev} = 30 dias
 - L_{late} = 20 dias
 - L_{total} = 110 dias

Área disciplinar de Eng^o Rural

✓ Identificar os K_c correspondentes

FAO 56rev
Tabela 6.2

Crop	K _{c ini}	K _{c mid}	K _{c end}	Maximum crop height (h, m)	Maximum root depths (Z _r , m)
c. Oil Crops					
Camelina (<i>Camelina sativa</i>)	0.20	1.10	0.45	0.80	1.00 – 1.50
Canola (<i>Brassica napus</i>)	0.50	1.10	0.35	1.00 – 1.50	0.80 – 1.30
Castorbean (<i>Ricinus communis</i>)	0.35	1.05	0.40	1.00 – 1.50	0.80 – 1.30
Linseed (Flax) (<i>Linum usitatissimum</i>)	0.35	0.95	0.25	0.90	1.00 – 1.50
Mustard (<i>Brassica juncea</i>)	0.35	1.10	0.40	1.50 – 2.00	0.50 – 1.10
Safflower (<i>Carthamus tinctorius</i>)	0.35	1.05	0.25	1.10	1.00 – 2.00
Sesame (<i>Sesamum indicum</i>)	0.35	1.05	0.25	1.30	1.00 – 1.50
Sunflower (<i>Helianthus annuus</i>)	0.35	1.15	0.30	2.00	0.80 – 2.00
d. Sugar crops					
Sugar beet (<i>Beta vulgaris</i>)	0.35	1.10	0.75	0.50	0.70 – 1.20
Sugar cane (<i>Saccharum officinarum</i>)	0.40	1.20	0.80	3.00 – 4.00	1.00 – 1.50

⁵ 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} = 1.10
- K_{c end} = 0.75
- Altura da cultura 0.5 m

Área disciplinar de Eng^o Rural

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

a) ✓ Correção dos K_c para as condições da região

Estádio inicial

ET_o vale 5.5 mm dia^{-1} e são realizadas regas com intervalos de 14 dias e dotação de 10 mm.

$K_{c \text{ ini}} = 0.15$

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

↓

$K_{c \text{ mid}} = 1.14$

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^{-1} .

Não é necessária correção

$K_{c \text{ end}} = 0.75$

Área disciplinar de Engª Rural

43

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

b) K_c médios para o mês de julho;

Julho tem:
20 dias com $K_c = 1.14$
11 dias com K_c entre 0.85 e 1.10 (média = 0.95)

$$K_{c \text{ julho}} = \frac{11 \times 0.95 + 1.14 \times 20}{31} = 1.07$$

c) $K_c(41) = 0.15 + \left[\frac{41 - 20}{31} \right] (1.14 - 0.15) = 0.82$

d)

Mês	ETc (mm)
mai	7.8
jun	58.4
jul	221.0
ago	187.8
set	31.8
Total	506.8

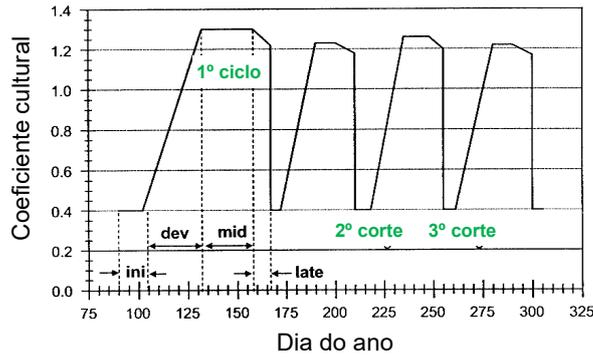
Área disciplinar de Engª Rural

44

Algumas culturas forrageiras

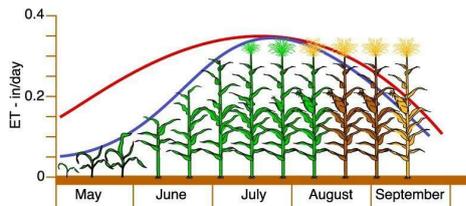
- São colhidas várias vezes durante o seu ciclo cultural;
- Cada colheita termina um “sub ciclo cultural” e portanto uma curva de K_c , iniciando um novo “sub ciclo cultural” e uma nova curva de K_c ;
- A curva de K_c resultante é a agregação da série de curvas associadas com cada sub ciclo.

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



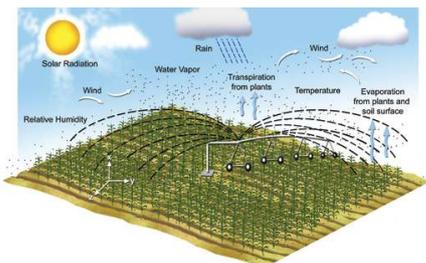
Área disciplinar de Engº Rural

Crop ET versus Reference ET

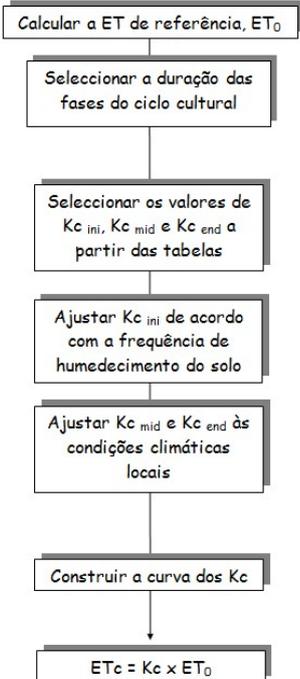


Resumo da metodologia para o cálculo de ET_c

Necessidades hídricas das culturas em condições padrão



Área disciplinar de Engº Rural



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.
- Pereira, L.S., Allen, R., Paredes, P., López-Urrea, R., Raes, D., Smith, M., Kilic, A., Salman, M., 2025. Crop Evapotranspiration. Guidelines for Computing Crop Water Requirements; FAO Irrig. Drain. Pap. 56rev; FAO: Rome, Italy, 401p.

[Link para FAO 56](#)

K_c 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.