A stylized, colorful illustration of a landscape. In the foreground, there are rolling green hills with a dark brown path winding through them. On the left, there is a green tree, a purple flower, and some orange foliage. A small red bird is flying in the sky above the tree. The background features a white sky with blue wavy lines representing clouds or water.

Aula 4

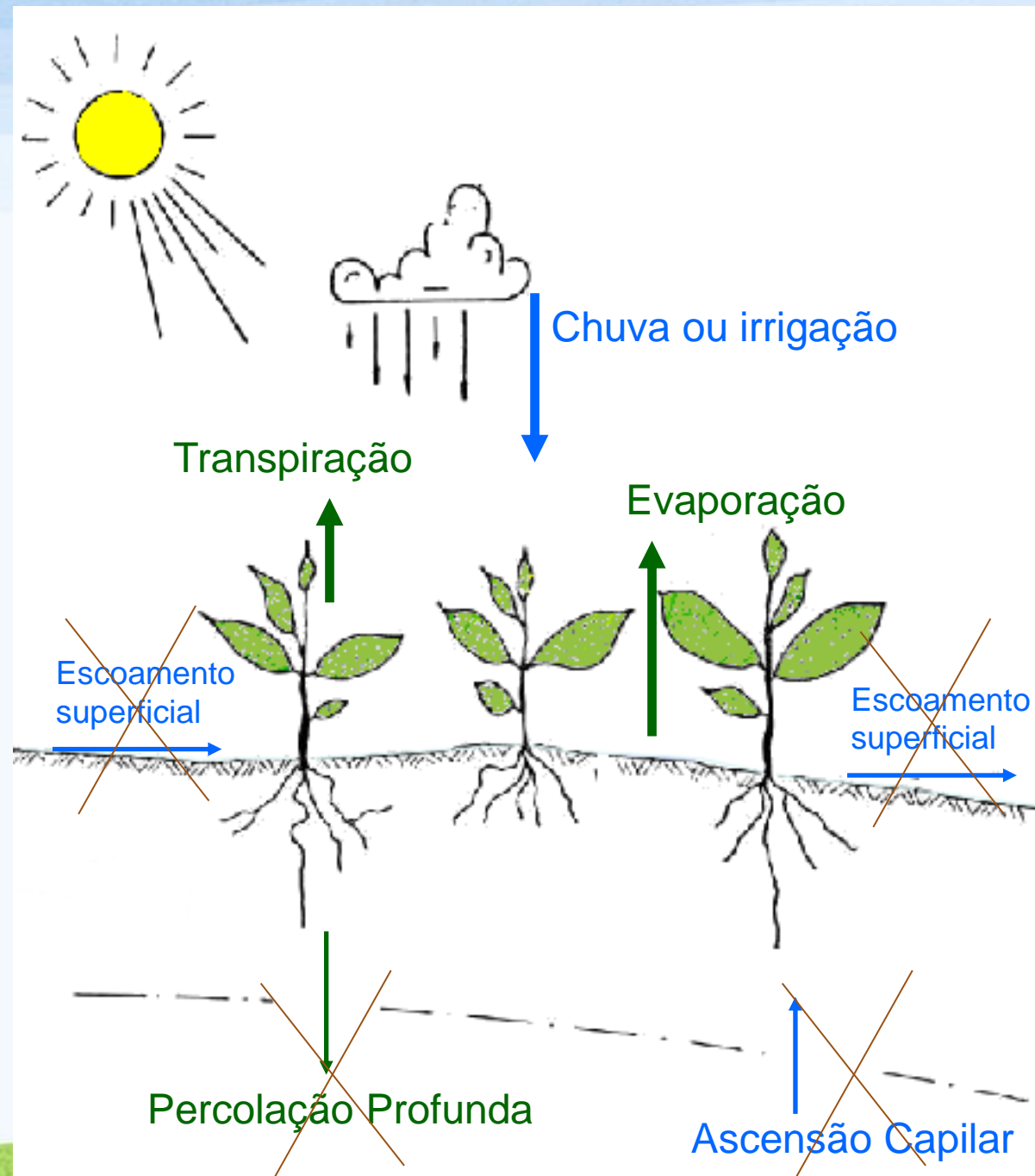
Balanço Hídrico e lâmina de irrigação

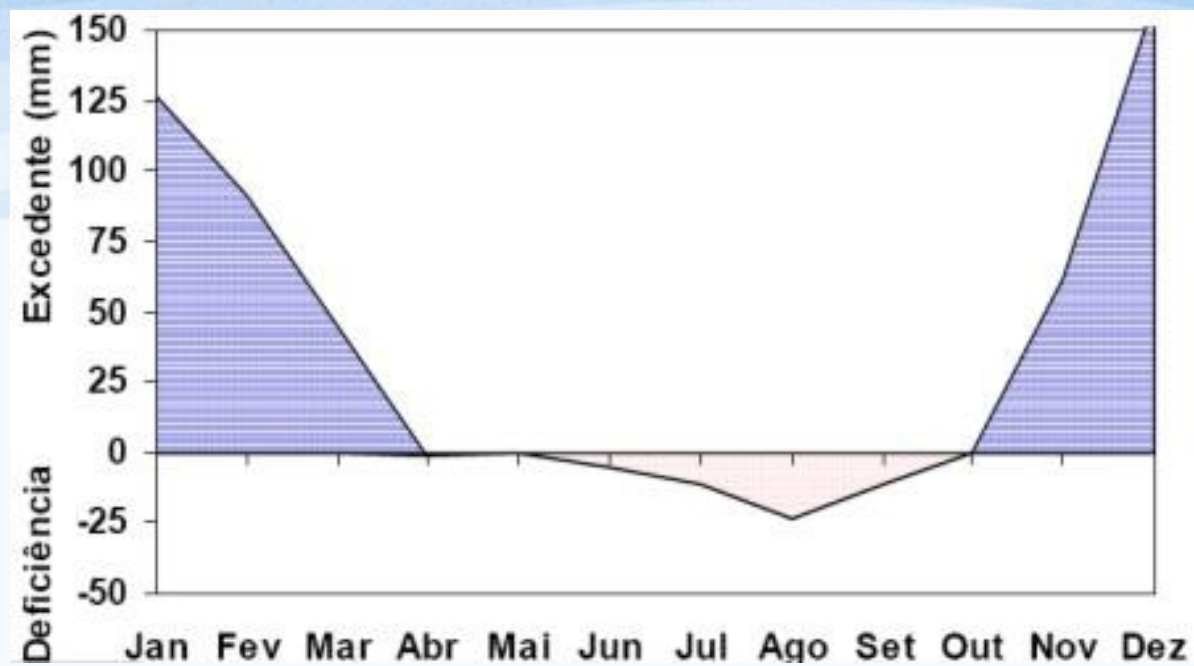
LEB 1571 Irrigação ESALQ/USP

Prof. Patricia A A Marques

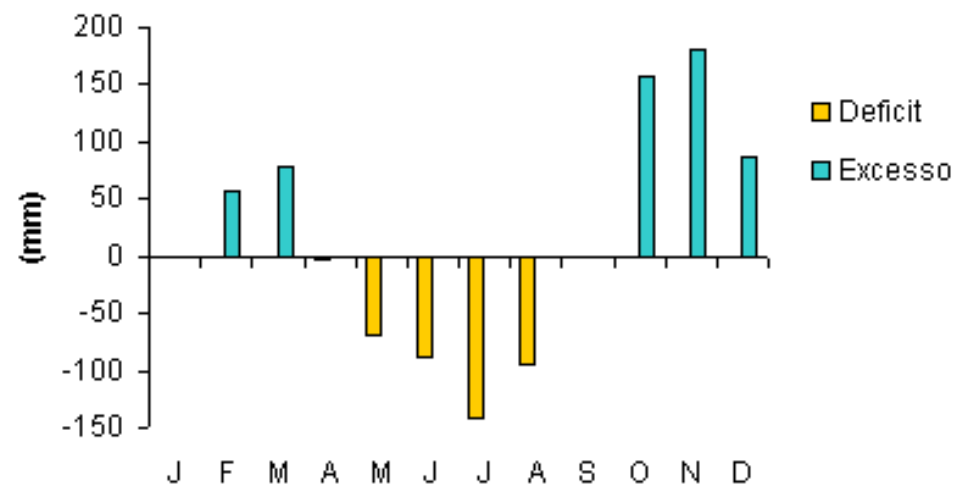
BALANÇO HÍDRICO

- O que é ?
- O balanço hídrico é um sistema contábil de monitoramento da água do solo.
- Entradas: Chuva e/ou irrigação
- Saídas: Evaporação + Transpiração
= Evapotranspiração (ET_o)





**Excesso e déficit de água no solo
2006**



Prof. Patricia A A Marques LEB 1571 Irrigação ESALQ/USP

Balanço hídrico para irrigação

- Diário
- Quando e Quanto irrigar
- Intervalo entre irrigações = turno de rega

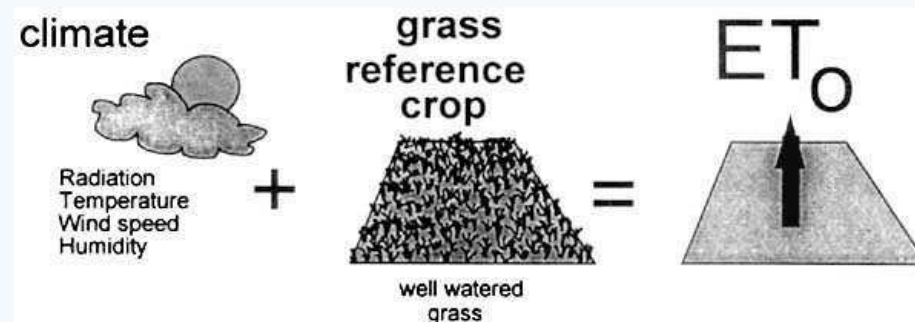
fixo ou variável

Repõe ao solo a água perdida por evapotranspiração.

ETP ou ETo

Evapotranspiração Potencial (ETP) ou de referência (ETo)

É a evapotranspiração de uma extensa superfície vegetada com vegetação rasteira (normalmente gramado), em crescimento ativo, cobrindo totalmente o solo, com altura entre 8 e 15 cm, sem restrição hídrica e com ampla área de bordadura. Nesse caso a ET depende apenas das **variáveis meteorológicas**, sendo portanto ETP uma variável meteorológica, que expressa o potencial de evapotranspiração para as condições meteorológicas vigentes.

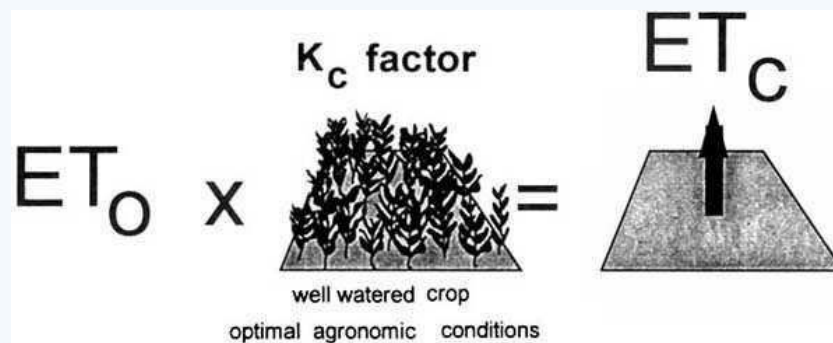


Fonte: Sentelhas / Angelocci (LCE 360)

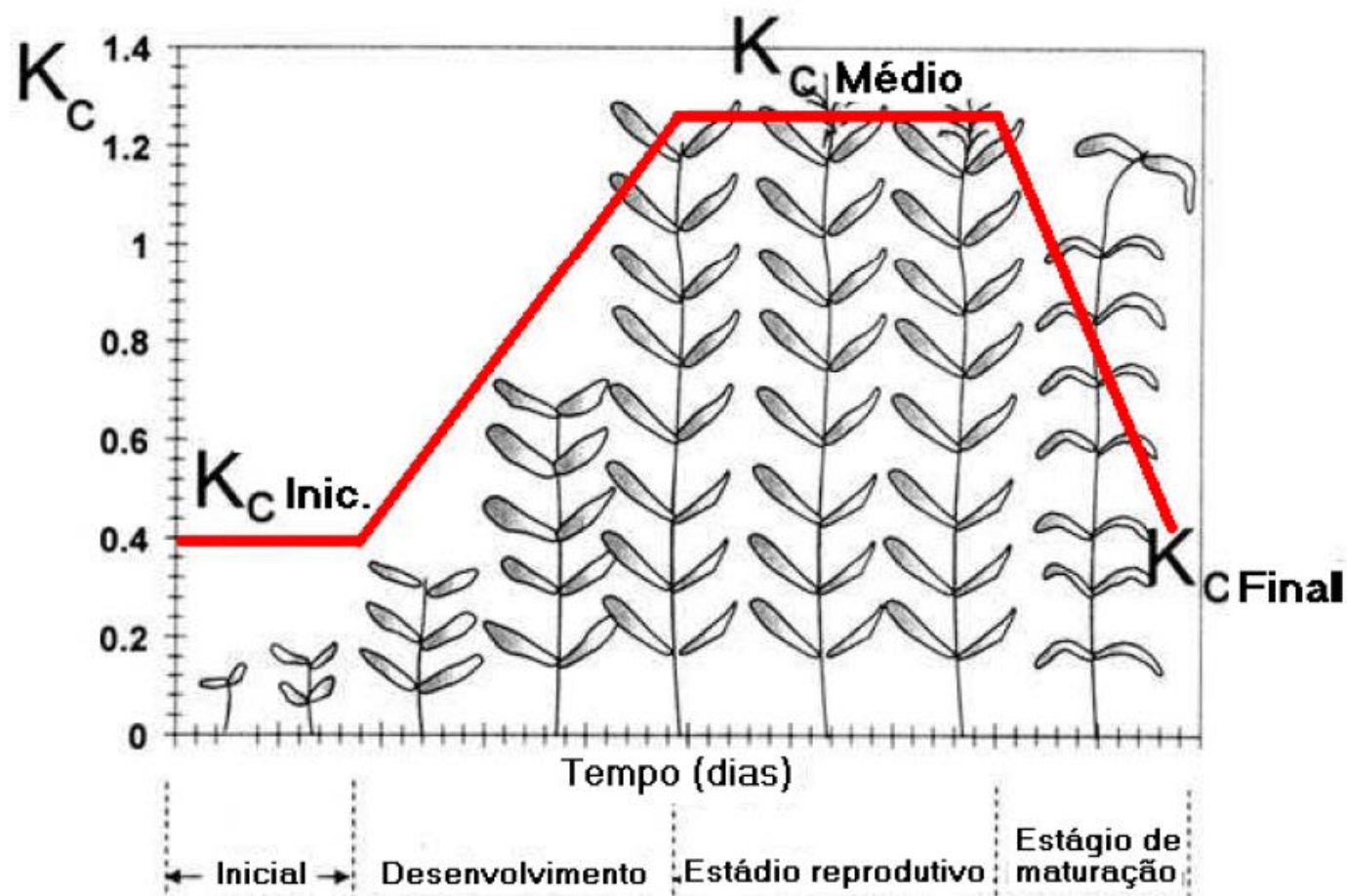
ET_c

Evapotranspiração de cultura (ET_c)

- é a evapotranspiração de uma cultura em dada fase de seu desenvolvimento sem restrição hídrica. Assim ET_c depende das **condições meteorológicas**, expressas por meio da ETP (ou ET_o) e do **tipo de cultura (K_c)**. O K_c varia de acordo com a cultura e seu período de desenvolvimento.
- $ET_c = K_c * ETP$

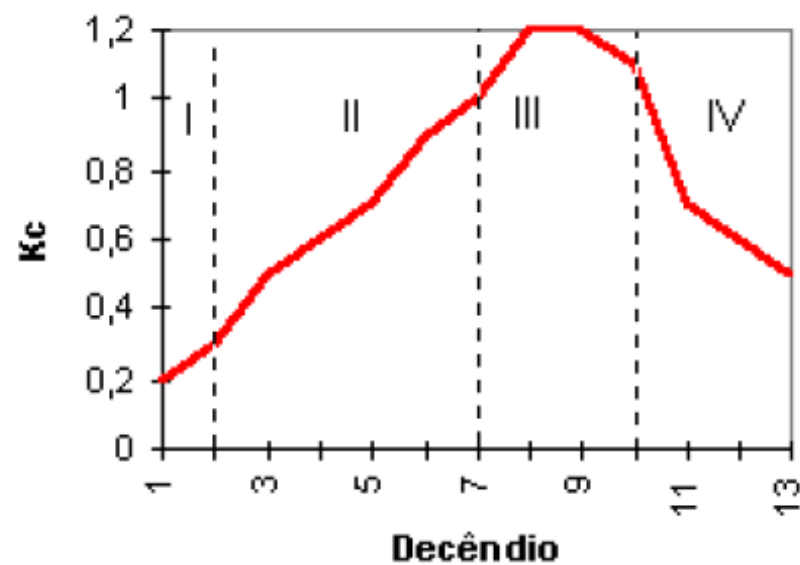


COEFICIENTE DE CULTIVO (K_c)

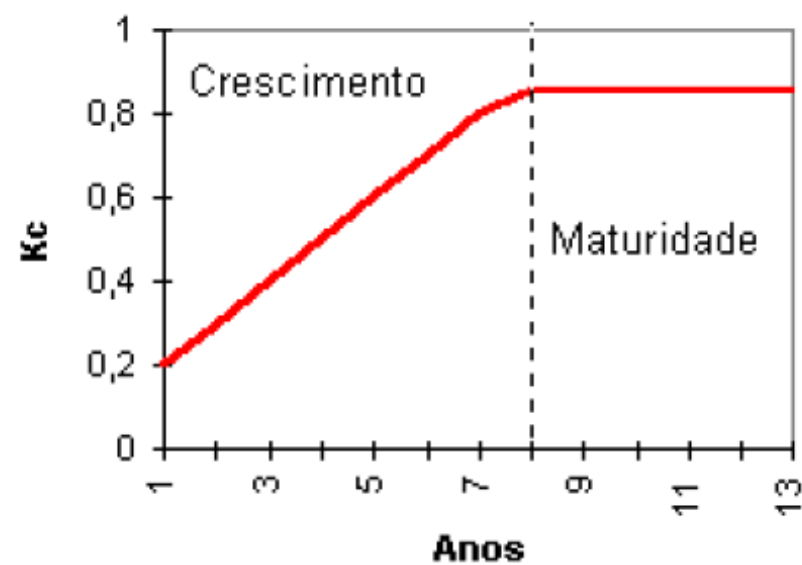


Adaptado FAO Boletim 56 (1998); Pereira et al. (2002).

Valores de K_c para uma cultura anual



Valores de K_c para uma cultura perene



Fonte: Pereira et al. 2002

Coeficientes de cultura (Kc) em função do estágio de desenvolvimento

CULTURA	ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO DA CULTURA CICLO					
	I	II	III	IV	V	Total
Algodão	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,80-0,90	0,65-0,70	0,80-0,90
Arroz	1,10-1,15	1,10-1,50	1,10-1,30	0,95-1,05	0,95-1,05	1,05-1,2
Banana	0,40-0,50	0,70-0,85	1,00-1,10	0,90-1,00	0,75-0,85	0,70-0,80
Batata	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,20	0,85-0,95	0,70-0,75	0,75-0,90
Cana-de-açúcar	0,40-0,50	0,70-1,00	1,00-1,30	0,75-0,80	0,50-0,60	0,85-1,05
Citros						0,65-0,75
Feijão*	0,30-0,40	0,70-0,80	1,05-1,20	0,65-0,75	0,25-0,30	0,70-0,80
Melancia	0,40-0,50	0,70-0,80	0,95-1,05	0,80-0,90	0,65-0,75	0,75-0,85
Milho	0,30-0,50	0,80-0,85	1,05-1,20	0,80-0,95	0,55-0,60	0,75-0,90
Soja	0,30-0,40	0,70-0,80	1,00-1,15	0,70-0,80	0,40-0,50	0,75-0,90
Tomate	0,40-0,50	0,70-0,80	1,05-1,25	0,80-0,95	0,60-0,65	0,75-0,90

ESTÁDIO DE DESENVOLVIMENTO	TERMINA QUANDO HÁ	Kc
I	10 % do desenvolvimento vegetativo	0,3 a 0,4
II	80 % do desenvolvimento vegetativo	0,3-1,2
III	Florescimento	1,05-1,20
IV	Ponto de maturidade fisiológica	0,65-0,75
V	Colheita	0,25-0,30

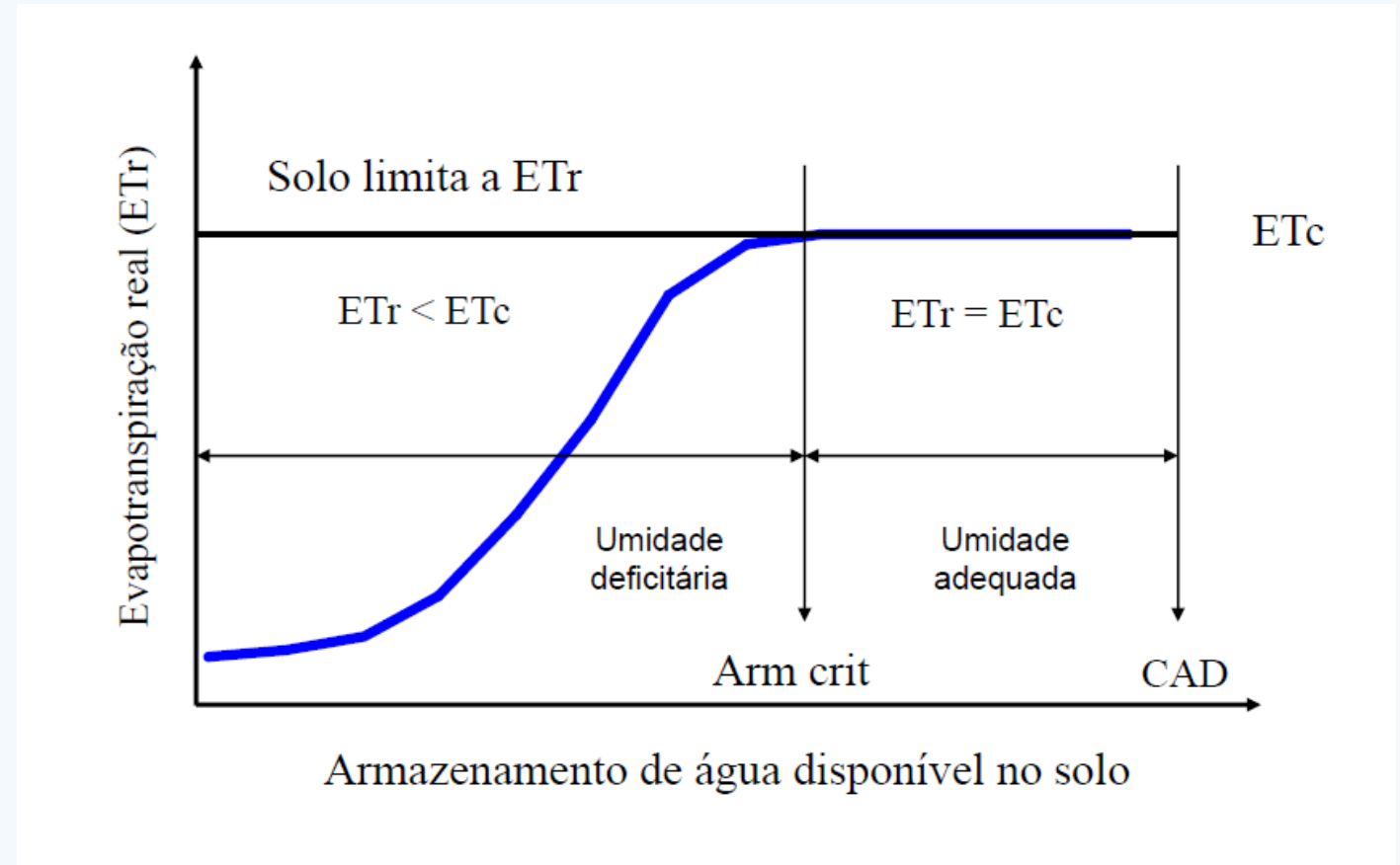
Kc - Coeficiente de cultura

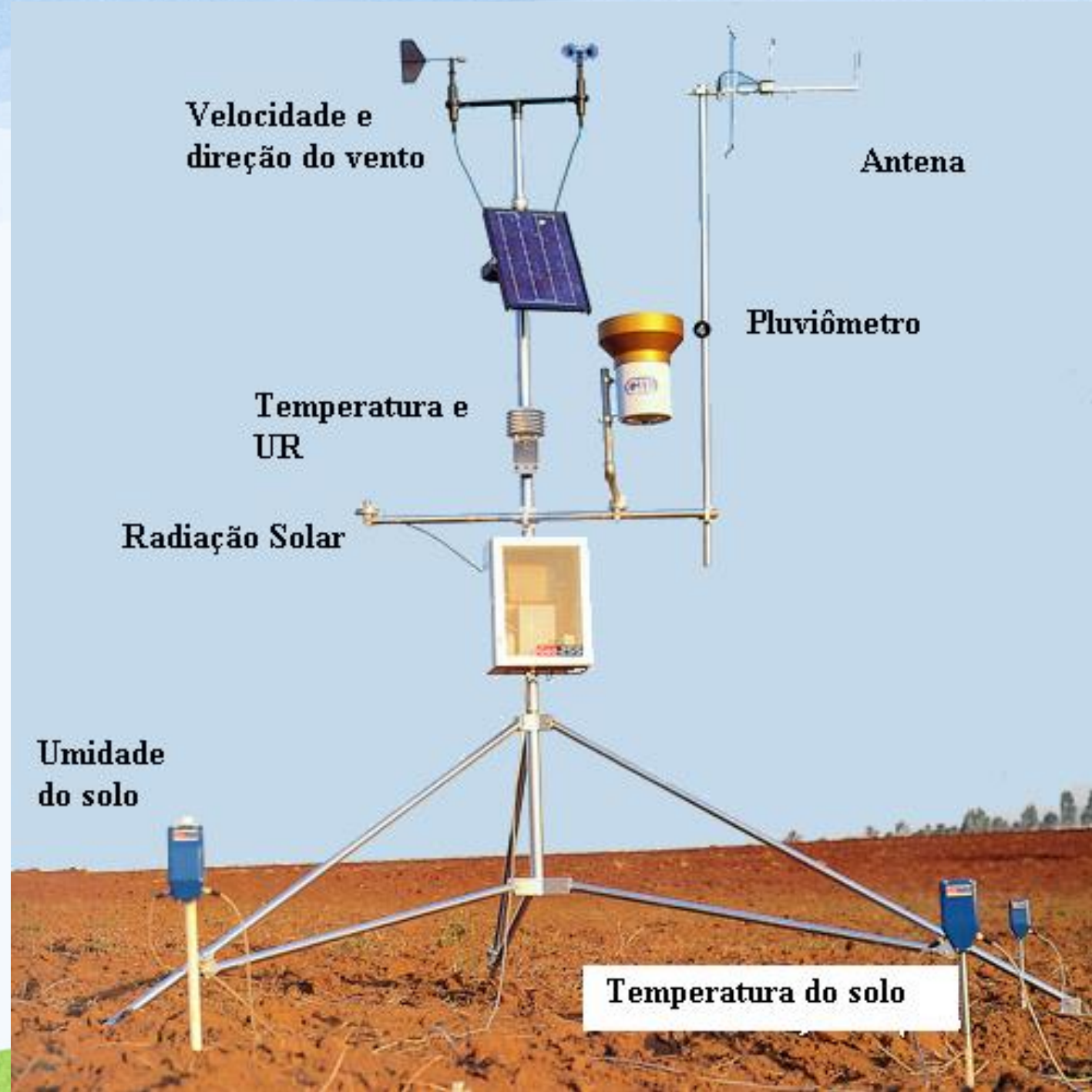
Quadro 1. Valores de Kc segundo DOORENBOS e KASSAN (1979).

Cana Planta	Cana-soca	Fases de Cultura	Kc
Meses			
0 - 2	0 - 1	Plantio até 25% do fechamento	0,40
2 - 3	1 - 2	25 a 50% do fechamento	0,75
3 - 4	2 - 2,5	50 a 75% do fechamento	0,95
4 - 7	2,5 - 4	75% até o fechamento	1,10
7 - 14	4 - 10	Desenvolvimento máximo	1,25
14 - 16	10 - 11	Início da maturação	0,95
16 - 18	11 - 12	Maturação	0,70

ETR

- *Evapotranspiração Real (ETR)*
- *é a quantidade de água efetivamente utilizada.*
- *Nesse caso: $ETR \leq ETP$*





TANQUE CLASSE A



Prof. Patricia A A Marques LEB 1571 Irrigação ESALQ/USP

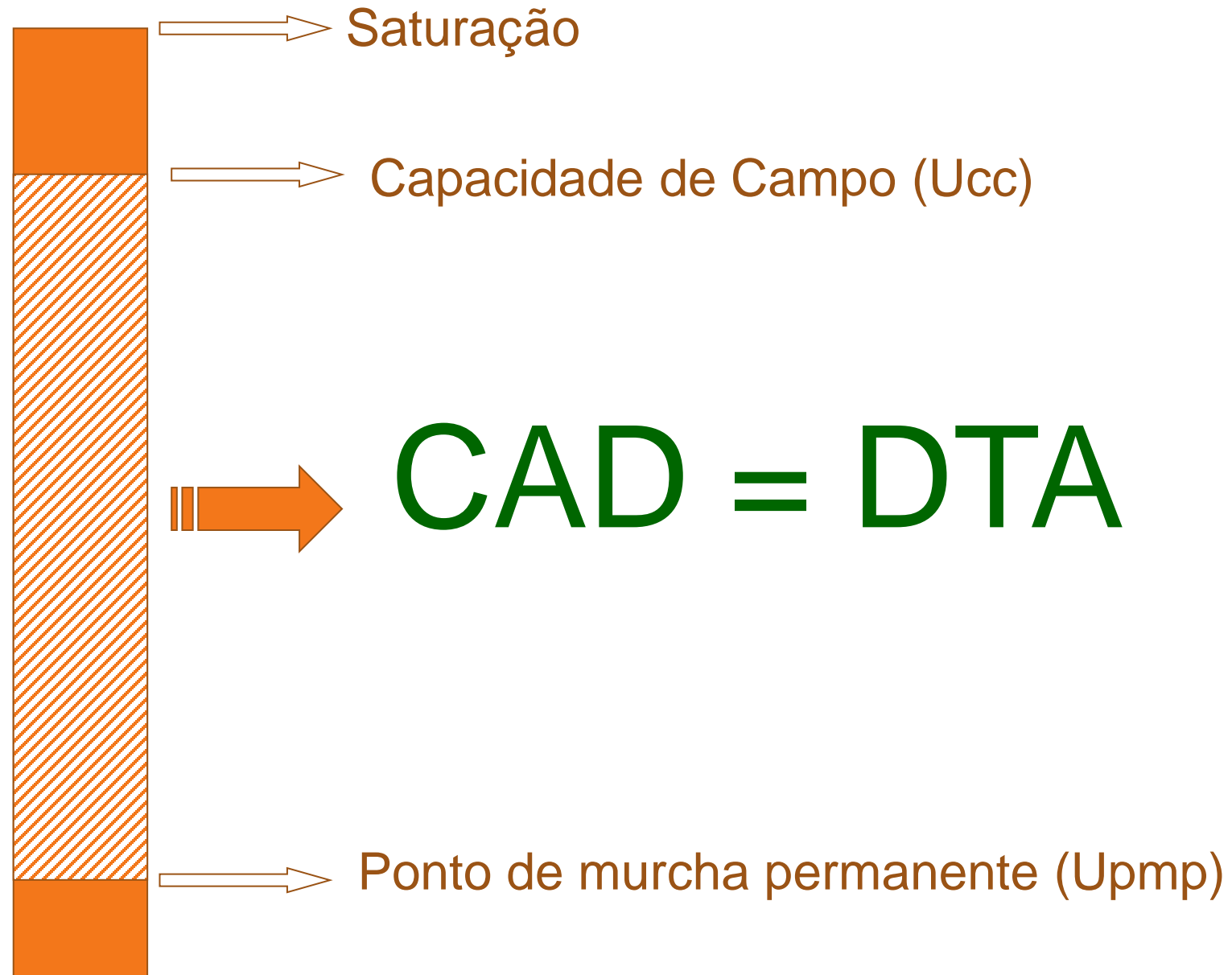
ARMAZENAMENTO DE ÁGUA NO SOLO

- Capacidade de armazenamento de água no solo (CAD)

É a água compreendida entre a capacidade de campo (CC - limite superior) e o ponto de murcha permanente (PMP - limite inferior) do solo

- *Capacidade de campo (CC)* – é a quantidade de água retida pelo solo após a drenagem ter ocorrido ou cessado em um solo previamente saturado por chuva ou irrigação;
- para fins de irrigação, capacidade de campo é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água de -10 a -30 kPa ($-0,1$ a $-0,3$ bar).

- **Ponto de murcha permanente (PMP)** – é o conteúdo de água no solo retido a um componente matricial do potencial de água tão elevado, em valor absoluto, tal que a maioria das plantas não consegue extrair água do solo e entra em murcha permanente;
- para fins de irrigação, é o conteúdo volumétrico de água em equilíbrio com o componente matricial do potencial de água no solo de -1500 kPa (-15 bar).



EXEMPLO

- Cana-de-açúcar: $f = 0,5$ $z = 50\text{cm}$
- Solo: $\begin{cases} U_{cc} = 28\% \\ U_{pmp} = 15\% \\ ds = 1,20 \text{ g/cm}^3 \end{cases}$

$$CAD = \frac{(U_{cc} - U_{pmp})}{10} \cdot ds \cdot z = \frac{(28 - 15)}{10} \cdot 1,20 \cdot 50 = 78 \text{ mm}$$

$$DRA = CAD \cdot f = 78 \cdot 0,5 = 39 \text{ mm}$$



Inicia-se o Balanço hídrico com o solo em capacidade de campo. No exemplo em DRA máximo de 39mm.



Com a leitura da ETc das últimas 24 h (5 mm) calcula-se a DRA ao final do dia.

$$\rightarrow 39 - 5 = 34 \text{ mm}$$



Essa DRA será a inicial do dia seguinte.

[illegible]

[illegible]

[illegible]



Repete-se o procedimento nos dias subsequentes.



A DRA ao final do dia será a inicial do dia seguinte.

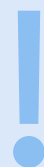


Observar que não houve chuva.

[illegible]



Quando a DRA final estiver próxima da ETc do dia, significa que a DRA do próximo dia poderá não ser suficiente.



Se a DRA está se aproximando de zero, a umidade do solo está se aproximando da umidade crítica.



Realizar a irrigação para repor até a DRA.

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	39,0	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	= 39	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5
5,5	0	30,5	39	Cuidado!

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	39,0	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5
5,5	0	= 39 - 8,5 =	39	Cuidado!

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	39,0	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5
5,5	0	30,5	39	33,5



Quando ocorre chuva deve-se corrigir DRA inicial.



Lembrar que o máximo armazenamento é a DRA de 39 mm



Tudo que passar da DRA será perdido por percolação ou escoamento superficial.

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	39,0	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5
5,5	0	30,5	39	33,5
5,5	0	0	33,5	28,0
5,5	45	0		

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	39,0	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5
5,5	0	30,5	39	33,5
5,5	0		34,5	28,0
5,5	45			

Quando ocorre
chuva, tem que
corrigir a DRA

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final	
5,0	0	0	39,0	34,0	
6,0	0	0	34,0	28,0	
5,0	0	0	28,0	23,0	
4,0	0	0	23,0	19,0	
4,5	0	0	19,0	14,5	
6,0	0	0	14,5	8,5	
5,5	0	30,5	39	33,5	
5,5	0	0	33,5	28,0	
5,5	45	0	= 28 + 45 = 73 > 39		33,5
6,0	0	0	33,5	27,5	

ETc mm	Chuva mm	Irrigação mm	DRA início	DRA final
5,0	0	0	39,0	34,0
6,0	0	0	34,0	28,0
5,0	0	0	28,0	23,0
4,0	0	0	23,0	19,0
4,5	0	0	19,0	14,5
6,0	0	0	14,5	8,5
5,5	0	30,5	39	33,5
5,5	0	0	33,5	28,0
5,5	45	0	39,0	33,5
6,0	0	0	33,5	27,5

Balanço hídrico para irrigação

- Diário
- Quando e Quanto irrigar
 - Contabilizar a evapotranspiração, chuvas, irrigação, armazenamento da água no solo e drenagem.
- Procede-se a irrigação quando o armazenamento de água no solo atingir nível crítico.
- Pode ser:
 - Turno de rega fixo
 - Turno de rega variável
- EXEMPLOS

Exemplo TR variável: Cana de açúcar: $U_{cc} = 25\%$; $U_{pmp} = 19\%$, $d_s = 1,32\text{g/cm}^3$; $z = 50\text{ cm}$ e $f = 0,75$.

Dia	Eto	Kc	Etc	Chuva	Irrig	DRA	DRA
	mm		mm	mm	mm	início	final
1	4,1	1,1	4,5	0		29,7	25,2
2	3,9	1,1	4,3	0		25,2	20,9
3	4,2	1,1	4,6	30,0		29,7	25,1
4	4,1	1,1	4,5	0		25,1	20,6
5	4,3	1,1	4,7	0		20,6	15,9
6	4,4	1,1	4,8	0		15,9	11,0
7	4,2	1,1	4,6	0		11,0	6,4
8	4,1	1,1	4,5	0	23,3	29,7	25,2
9	4,2	1,1	4,6	7,0		29,7	25,1
10	4,4	1,1	4,8	0		25,1	20,3
11	4,1	1,1	4,5	0		20,3	15,8
12	4,1	1,1	4,5	0		15,8	11,3

Exemplo TR fixo 5 dias: Cana de açúcar: $U_{cc} = 25\%$; $U_{pmp} = 19\%$,
 $d_s = 1,32\text{g/cm}^3$; $z = 50\text{ cm}$ e $f = 0,75$

Dia	Eto	Kc	Etc	Chuva	Irrig	DRA	DRA
	mm		mm	mm	mm	início	final
1	4,1	1,1	4,5	0		29,7	25,2
2	3,9	1,1	4,3	0		25,2	20,9
3	4,2	1,1	4,6	30,0		29,7	25,1
4	4,1	1,1	4,5	0		25,1	20,6
5	4,3	1,1	4,7	0	9,1	29,7	25,0
6	4,4	1,1	4,8	0		25,0	20,1
7	4,2	1,1	4,6	0		20,1	15,5
8	4,1	1,1	4,5	0		15,5	11,0
9	4,2	1,1	4,6	7,0		18,0	13,4
10	4,4	1,1	4,8	0	16,3	29,7	24,9
11	4,1	1,1	4,5	0		24,9	20,4
12	4,1	1,1	4,5	0		20,4	15,9



Bom estudo e boa semana!

*Prof. Patricia A A Marques LEB 1571
Irrigação ESALQ/USP*