

Recursos Hídricos

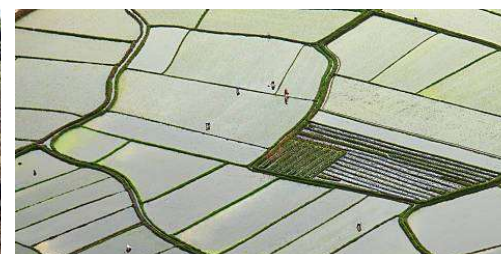
MÓDULO 2 NECESSIDADES DE REGA DAS CULTURAS

Aulas 2 a 4

Necessidades hídricas:

Construção da curva dos K_c ;

Evapotranspiração cultural para condições não padrão:
stress hídrico, salinidade e densidade



EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL PARA CONDIÇÕES NÃO PADRÃO: EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL AJUSTADA, $ET_{C \text{ adj}}$

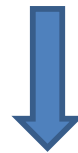
Salinidade

Efeitos dos sais

- ➔ Alguns sais são tóxicos para as plantas → menor metabolismo → menor desenvolvimento
- ➔ Em solo salino, o potencial hídrico total é constituído, para além do potencial de pressão e gravítico, pelo potencial osmótico → as plantas precisam exercer maior força para extrair água do solo



menor transpiração



é preciso ajustar ET_c

- A salinidade do solo é avaliada pela EC_e - condutividade eléctrica do extracto saturado do solo (dS / m)
- Em condições óptimas de cultivo, as produções mantêm-se ao nível potencial (máximo) até se atingir um valor limite específico ($EC_{e\ threshold}$). Se o valor de EC_e na zona radicular aumentar para lá deste valor crítico a produção decresce linearmente com o aumento da salinidade:

$$\frac{Y_a}{Y_m} = 1 - (EC_e - EC_{e\ threshold}) \frac{b}{100}$$

Y_a	produção real	[kg/ha]
Y_m	produção máxima, quando $EC_e < EC_{e\ threshold}$	[kg/ha]
Y_a/Y_m	produção relativa	
EC_e	condutividade eléctrica do extracto saturado na zona radicular	[dS m ⁻¹]
$EC_{e\ threshold}$	valor limiar da condutividade eléctrica do extrato saturado do solo na zona radicular a partir do qual a produção decresce abaixo de Y_m	[dS m ⁻¹]
b	declive da recta (taxa de redução da produção por unidade de acréscimo de EC_e)	[%/(dS m ⁻¹)]

Crop	EC _e treshold (dS m ⁻¹)	b (%/dS m ⁻¹)	Rating
a. Small vegetables			
Broccoli	2.8	9.2	MS
Brussels sprouts	1.8	9.7	MS
Cabbage	1.0-1.8	9.8-14.0	MS
Carrots	1.0	14.0	S
Cauliflower	1.8	6.2	MS
Celery	1.8-2.5	6.2-13.0	MS
Lettuce	1.3-1.7	12.0	MS
Onions	1.2	16.0	S
Spinach	2.0-3.2	7.7-16.0	MS
Radishes	1.2-2.0	7.6-13.0	MS
b. Vegetables - Solanum Family (<i>Solanaceae</i>)			
Egg Plant	-	-	MS
Peppers	1.5-1.7	12.0-14.0	MS
Tomato	0.9-2.5	9.0	MS
c. Vegetables Cucumber Family (<i>Cucurbitaceae</i>)			
Cucumber	1.1-2.5	7.0-13.0	MS
Melons		-	MS
Pumpkin, winter squash	1:2	13.0	MS
Squash, Zucchini	4.7	10.0	MT
Squash (scallop)	3.2	16.0	MS
Watermelon	-	-	MS
d. Roots and Tubers			
Beets, red	4.0	9.0	MT
Parsnip	-	-	S
Potato	1.7	12.0	MS
Sweet potato	1.5-2.5	10.0	MS
Turnip	0.9	9.0	MS
Sugar beet	7.0	5.9	T

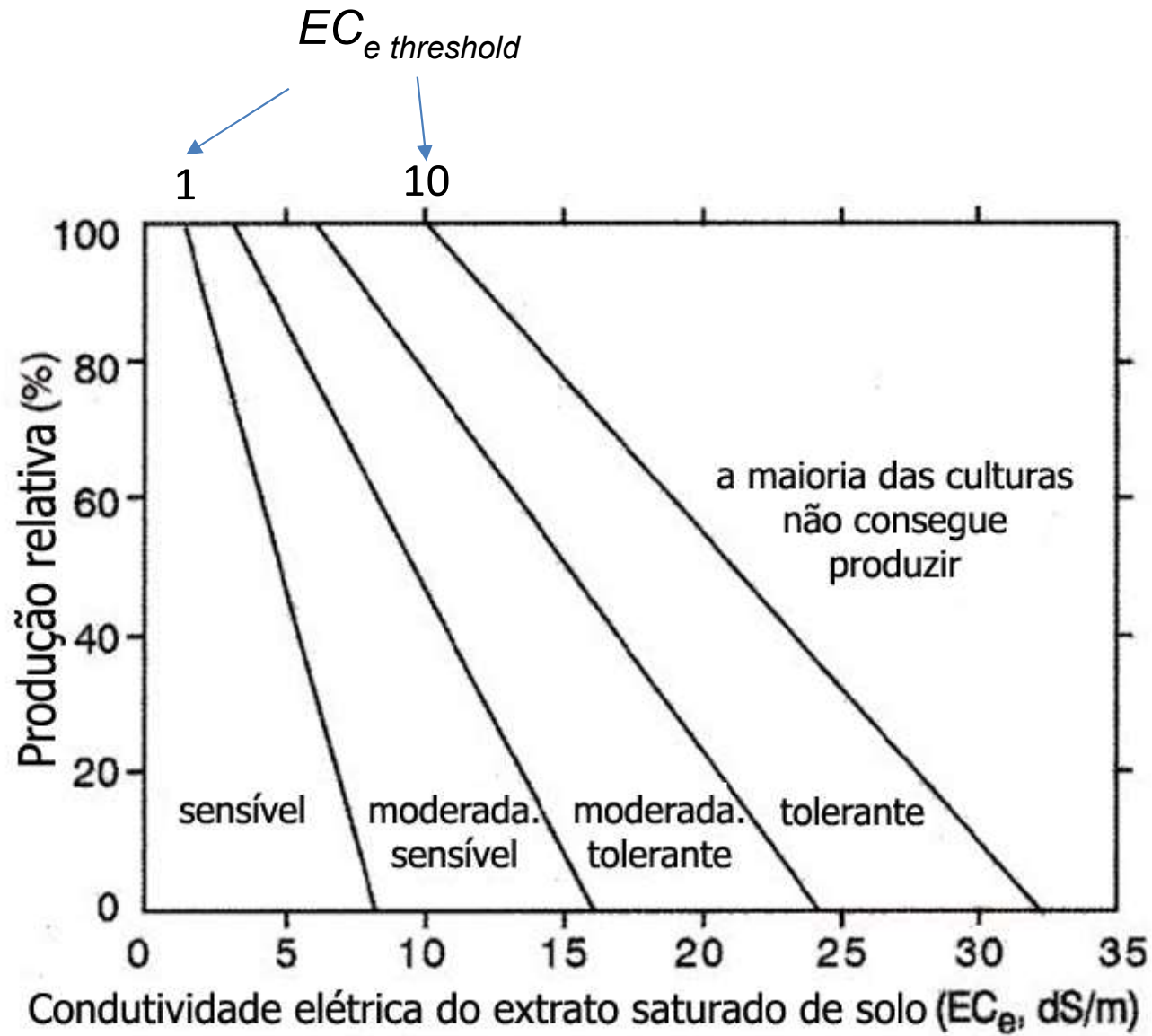
S – sensível

MS – moderadamente sensível

MT – moderadamente tolerante

T – tolerante

Crop	EC _e treshold (dS m ⁻¹)	b (%/dS m ⁻¹)	Rating
e. Legumes (<i>Leguminosae</i>)			
Beans	1.0	19.0	S
Broadbean (faba bean)	1.5-1.6	9.6	MS
Cowpea	4.9	12.0	MT
Groundnut (Peanut)	3.2	29.0	MS
Peas	1.5	14.0	S
Soybeans	5.0	20.0	MT
f. Perennial Vegetables (with winter dormancy and initially bare or mulched soil)			
Artichokes	-	-	MT
Asparagus	4.1	2.0	T
Mint	-	-	-
Strawberries	1.0-1.5	11.0-33.0	S
g. Fibre crops			
Cotton	7.7	5.2	T
Flax	1.7	12.0	MS
h. Oil crops			
Casterbean	-	-	MS
Safflower	-	-	MT
Sunflower	-	-	MS
i. Cereals			
Barley	8.0	5.0	T
Oats	-	-	MT
Maize	1.7	12.0	MS
Maize, sweet (sweet corn)	1.7	12.0	MS
Millet	-	-	MS
Sorghum	6.8	16.0	MT
Rice ⁶	3.0	12.0	S
Wheat (<i>Triticum aestivum</i>)	6.0	7.1	MT
Wheat, semidwarf (<i>T. aestivum</i>)	8.6	3.0	T
Wheat, durum (<i>Triticum turgidum</i>)	5.7-5.9	3.8-5.5	T



Efeito combinado da salinidade e do stress hídrico

➡
$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = (EC_e - EC_{e\ threshold}) \frac{b}{100}$$

Efeito da salinidade

➡
$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = K_y \left[1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c} \right]$$

Efeito do stress hídrico



$$1 - \frac{Y_a}{Y_m} = \left[(EC_e - EC_{e\ threshold}) \frac{b}{100} \right] \left[K_y \left(1 - \frac{ET_{adj}}{ET_c} \right) \right]$$

Efeito da salinidade

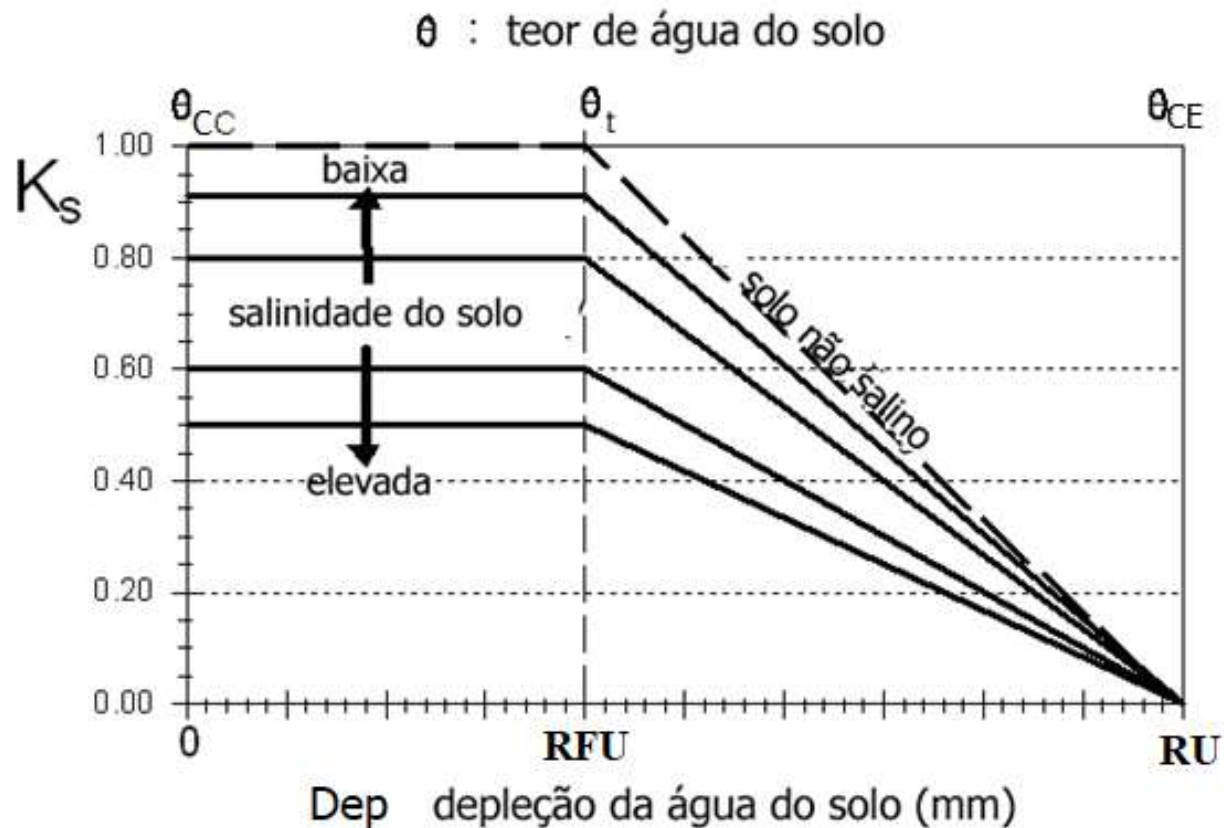
$$K_s = \left(1 - \frac{b}{K_y 100} (EC_e - EC_e \text{ threshold}) \right)$$

Efeito do stress hídrico

$$K_s = \frac{RU - Dep}{LRFU}$$

Efeito combinado da salinidade e do stress hídrico

$$K_s = \left(1 - \frac{b}{K_y 100} (EC_e - EC_e \text{ threshold}) \right) \left(\frac{RU - Dep}{LRFU} \right)$$



Exercício

Considere uma cultura de feijão num solo limoso com $EC_e = 1.5$ dS/m. O valor de $EC_{e\ threshold}$ e o declive b são 1.0 dS/m e $19\%/(dS\ m^{-1})$, respectivamente. O valor de K_y é 1.15. Calcule o K_s em condições salinas e não salinas para níveis de depleção de água no solo de 30 e 60 mm. A RU e a RFU são 110 e 44 mm ($p=0.4$)

- Só stress salino:

$$K_s = \left(1 - \frac{b}{K_y 100} (EC_e - EC_{e\ threshold}) \right) = \left(1 - \frac{19}{1.15 \cdot 100} (1.5 - 1.0) \right) = 0.92$$

- Só stress hídrico

$$K_s = \frac{RU - Dep}{LRFU} = \frac{110 - Dep}{110 - 44}$$

- Stress hídrico + stress salino

$$K_s = 0.92 \frac{110 - Dep}{110 - 44}$$

Dep (mm)	Ks (sal)	Ks (hid)	Ks (sal + hid)
30	0.92	1	0.92
60	0.92	0.76	0.70

Outra aproximação é ajustar os parâmetros da água no solo

$$\rightarrow \theta_{CE\ sal} = \theta_{CE} + \frac{b}{100} (EC_e - EC_{e\ threshold}) (\theta_{CC} - \theta_{CE})$$

$$\rightarrow RU_{sal} = (\theta_{CC} - \theta_{CE\ sal}) z_r$$

$$\rightarrow p_{cor} = p - \frac{b}{100} (EC_e - EC_{e\ threshold}) p$$

Exercício

Considere uma cultura de feijão num solo limoso com $EC_e = 1.5$ dS/m. O valor de $EC_{e\ threshold}$ e o declive b são 1.0 dS/m e 19%/(dS m⁻¹), respectivamente. O valor de $\theta_{CC} = 45\%$, $\theta_{CE} = 23\%$, $p = 0.4$ e $z_r = 0.5$ m. Calcule o K_s para níveis de depleção de água no solo de 30 e 60 mm.

- $$\theta_{CE\ sal} = \theta_{CE} + \frac{b}{100} (EC_e - EC_{e\ threshold}) (\theta_{CC} - \theta_{CE}) =$$

$$0.23 + \frac{19}{100} (1.5 - 1.0)(0.45 - 0.23) = 0.25$$
- $$p_{cor} = p - \frac{b}{100} (EC_e - EC_{e\ threshold}) p = 0.36$$
- $$RU_{sal} = (\theta_{CC} - \theta_{CE\ sal}) z_r = (0.45 - 0.25) * 500 = 100 \text{ mm}$$
- $$LRFU = 100 \times (1 - 0.36) = 64 \text{ mm}$$

Dep (mm)	Ks (sal + hid)
30	1
60	0.63

EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL PARA CONDIÇÕES NÃO PADRÃO: EVAPOTRANSPIRAÇÃO CULTURAL AJUSTADA, $ET_{C \text{ adj}}$

Densidade



Quando a cobertura do solo não é completa ($LAI < 3$), o $K_{c\ mid}$ deve ser substituído por:

$$K_c = K_{soil} + K_d \left(K_{c\ full} - K_{soil} \right)$$

- K_d coeficiente de densidade
- K_{soil} valor de K_c para solo nu [em média: 0.15; solo seco: 0]
- $K_{c\ full}$ K_c para a cultura em condições de cobertura completa ($LAI > 3$) e corrigido para o clima

Kd coeficiente de densidade

Descreve a redução no K_c devido a uma redução da densidade

- **Com base na área foliar**

$$K_d = 1 - e^{-0.7 LAI}$$

0.7 é o valor habitual para o coeficiente de extinção da radiação dentro do coberto (substituir se houver valor adaptado à cultura em questão)

- **Com base na % cobertura**

$$K_d = \min \left(1, M_L f_{c\text{eff}}, f_{c\text{eff}}^{1/(1+h)} \right)$$

- $f_{c\text{eff}}$ fracção efectiva de solo coberto ou ensombrado ao meio dia solar
- M_L descreve o efeito da densidade do coberto no ensombramento e na ET máxima por fracção de solo coberto [1.5 - 2.0]

O parâmetro M_L depende da densidade e estrutura da vegetação

Valores mais pequenos em culturas

- com desenvolvimento vertical
- menor densidade foliar
- folhas de menores dimensões



menor absorção da radiação

$M_L = 1.5$

- vinha
- oliveira
- pomóideas

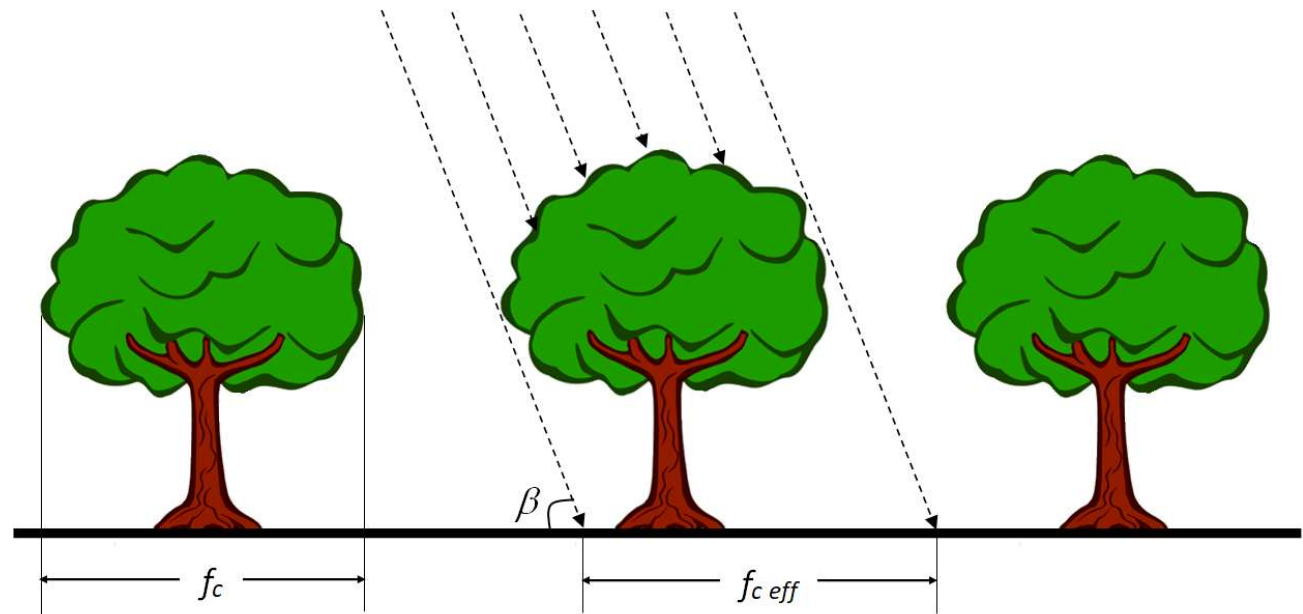
$M_L = 2.0$

- culturas herbáceas

Fracção efectiva de solo coberto

- Árvores e vegetação com distribuição aleatória

$$f_{c\text{eff}} = \frac{f_c}{\sin \beta} \leq 1$$



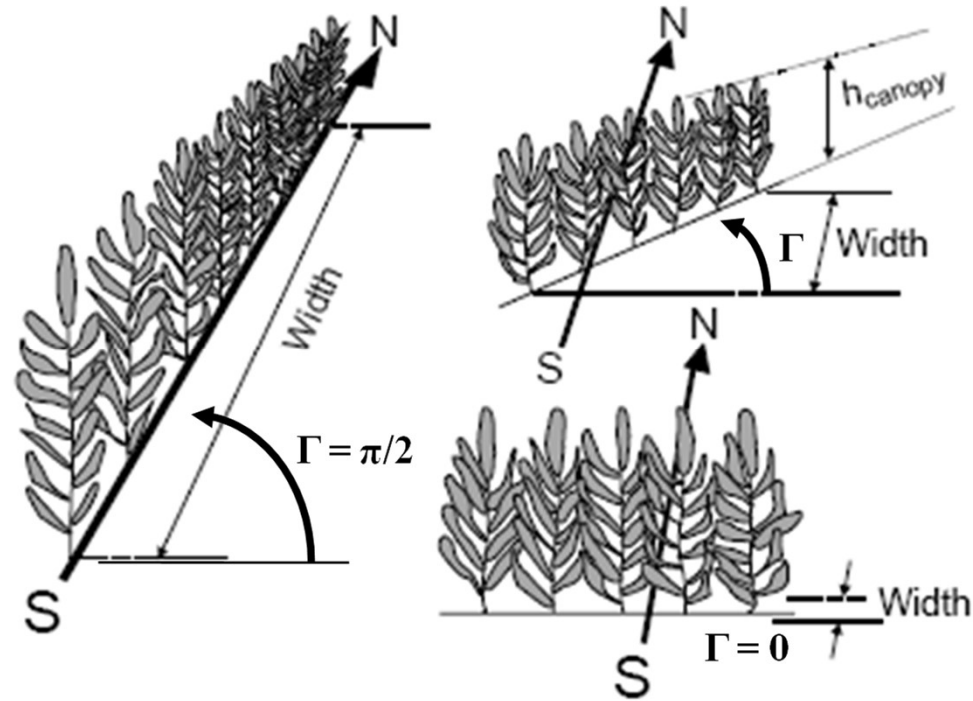
$$\sin \beta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega$$

- φ latitude
 - δ declinação solar
 - ω ângulo solar (= 0 ao meio dia)
- (rad)

- Culturas em linha

$$f_{c\text{eff}} = f_c \left[\frac{HWR}{\tan \beta} + 1 \right]$$

$$HWR = \frac{h \cos \Gamma}{\text{width}}$$



Exercício

Determinar o $K_{c\ mid}$ de uma cultura de tomate com 50% de cobertura de solo e 0.6 m de altura, cultivado em linhas com orientação E-W e comprimento de 100 m, espaçadas de 1.50 m, para uma latitude de $38^\circ\ 30'$ e para o dia 20 Julho ($J = 201$)

$K_{c\ mid}$ corrigido = 1.08

$$\varphi = 38.5^\circ = 0.67 \text{ rad}$$

$$\delta = 0.36 \text{ rad}$$

$$\omega = 0$$

$$\sin \beta = \sin \varphi \sin \delta + \cos \varphi \cos \delta \cos \omega = 0.95$$

$$\longrightarrow \beta = 1.26 \text{ rad}$$

$$HWR = \frac{0.6 \cos 0}{0.5 \times 1.50} = 0.8$$

$$f_{c\ eff} = f_c \left[\frac{HWR}{\text{tg } \beta} + 1 \right] = 0.5 \times \left(\frac{0.8}{\text{tg } 1.26} + 1 \right) = 0.63$$

$$K_d = [\min (1, 2 \times 0.63, 0.63^{1/(1+0.6)})] = 0.75$$

$$K_{c\ mid\ adj} = 0 + (1.08 - 0) \times 0.75 = 0.81$$



Exercício

Determinar o $K_{c\ mid}$ de um pomar de pessegueiros com 20% de cobertura de solo e árvores com 2 m de altura, para uma latitude de $38^{\circ} 30'$ e para o dia 20 Julho ($J = 201$)

$K_{c\ mid}$ corrigido = 1.12

$$\varphi = 38.5^{\circ} = 0.67 \text{ rad}$$

$$\delta = 0.36 \text{ rad}$$

$$\omega = 0$$

$$\beta = 1.26 \text{ rad}$$

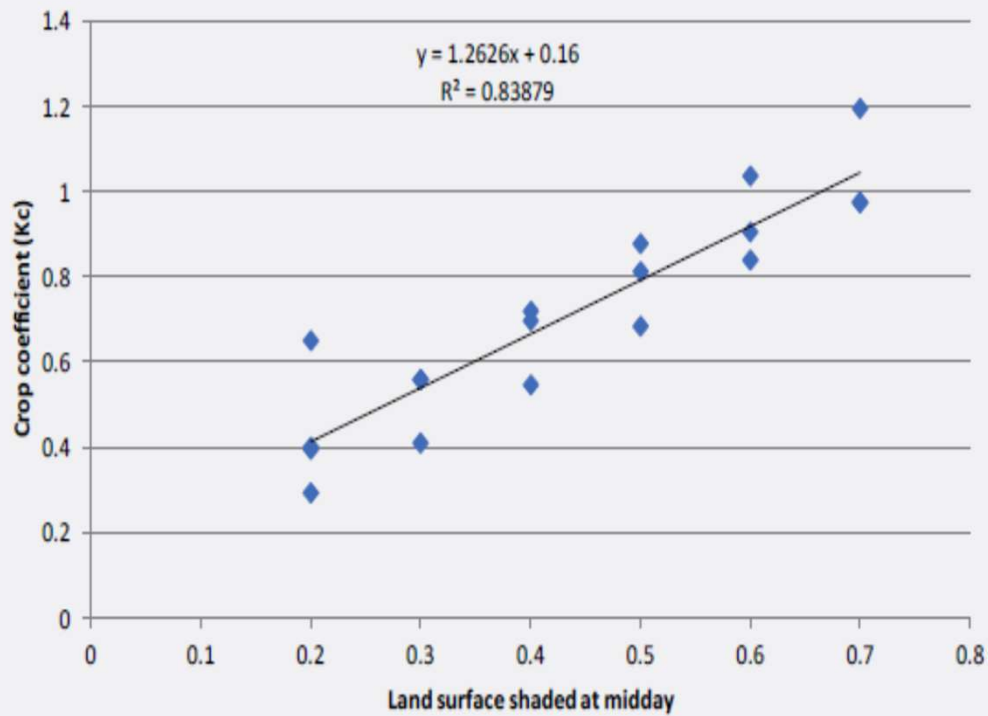
$$f_{c\ eff} = \frac{f_c}{\sin \beta} = \frac{0.20}{\sin 1.26} = 0.21$$

$$K_d = [\min (1, 2 \times 0.21), 0.21^{1/(1+2)}] = 0.42$$

$$K_{c\ mid\ adj} = 0 + (1.12 - 0) 0.42 = 0.47$$

Crop		Kc ini	Kc mid	Kc end
Citrus				
• Young	($f_c < 0.25$)	0.55	0.40	0.60
• Low density	($f_c = 0.25-0.40$)	0.70	0.55	0.65
• Medium density, short	($f_c = 0.40-0.65$)	0.80	0.60	0.70
• Medium density, tall	($f_c = 0.40-0.65$)	0.95	0.65	0.75
• High density, short	($f_c \geq 0.65$)	0.95	0.70	0.80
• High density, tall	($f_c > 0.65$)	0.95	0.90	0.95
Olives				
• Young	($f_c = 0.15-0.30$)	0.80	0.25	0.60
• Traditional, low density	($f_c = 0.15-0.20$)	0.80	0.30	0.60
• Traditional, medium density	($f_c = 0.20-0.30$)	0.85	0.45	0.65
• Intensive (hedge prune)	($f_c = 0.30-0.40$)	0.80	0.45	0.70
• Super intensive, medium density	($f_c = 0.25-0.35$)	0.85	0.50	0.70
• Super intensive high density	($f_c = 0.35-0.45$)	0.85	0.55	0.75

Crop Coefficients as a Function of Shaded Area



amendoeira

% Shaded area	Crop Coefficient
20	41
30	54
40	67
55	79
60	92
70	100

Table 2. Growers can use this table to determine from the percent of midday ground shading in their orchard to estimate the crop coefficient of less than full canopy orchards.

Figure 7. Relationship between the percentage of ground shading and crop coefficient (Kc).

Pomares


Nos pomares é usual manter o solo coberto com vegetação natural ou erva para promover a infiltração da água e reduzir a erosão → é necessário tomar em conta a influência desta vegetação no K_c



Pomares

$$K_c = K_{c \text{ cover}} + K_d \left(\max \left[K_{c \text{ full}} - K_{c \text{ cover}}, \frac{K_{c \text{ full}} - K_{c \text{ cover}}}{2} \right] \right)$$

$K_{c \text{ cover}}$ K_c da vegetação na ausência das árvores. Deve reflectir a densidade e vigor da vegetação existente nas zonas expostas à luz solar



Para considerar o efeito do ensombramento causado pelas árvores quando esta diferença é negativa