

132

Circular  
Técnica*Bento Gonçalves, RS  
Dezembro, 2016***Autor****Marco Antônio Fonseca Conceição**  
Eng. Civil., Dr., Pesquisador  
Embrapa Uva e Vinho  
Bento Gonçalves, RS  
marco.conceicao@embrapa.br

## Modelos para estimativa dos coeficientes de cultivo (Kc) de videiras irrigadas

### Introdução

A produção de uvas nas regiões tropicais do Brasil tem sido realizada, normalmente, com o emprego de sistemas de irrigação. O uso dessa técnica também tem sido incrementado em algumas áreas vitícolas de clima temperado do país, visando reduzir a queda de produtividade devido a estiagens ocasionais, ou o abastecimento hídrico de vinhedos sob cultivo protegido com cobertura plástica impermeável.

Na viticultura irrigada, o manejo da água deve ser feito de forma eficiente, evitando-se o desperdício dos recursos hídricos regionais, que são cada vez mais escassos. Para que haja uma alta eficiência de irrigação, as aplicações deverão ter por base os valores da evapotranspiração diária da cultura (ETc). Esses valores são estimados, normalmente, multiplicando-se a evapotranspiração de referência (ETo) pelo coeficiente de cultivo (Kc):

$$ETc = ETo \cdot Kc \quad (1)$$

sendo que as unidades de ETc e ETo são em mm dia<sup>-1</sup> e o Kc é adimensional.

A ETo representa a demanda hídrica da atmosfera, sendo uma função da radiação solar (Rs), da temperatura do ar (T), da velocidade do vento (V) e da umidade relativa do ar (UR) (ALLEN et al., 2006). Já o Kc representa o estágio fenológico da cultura e as condições de cultivo. Na presença de deficit hídrico, esses valores devem ser multiplicados por um fator de estresse (Ks), que varia entre 0 e 1,0 (ALLEN et al., 2006; ALLEN; PEREIRA, 2009).

Vários trabalhos foram realizados, em diversas regiões do país, buscando-se determinar os valores de Kc para videiras em condições irrigadas (TEIXEIRA et al., 1999; ÁVILA NETTO et al., 2000; CONCEIÇÃO et al., 2012). Entretanto, a variabilidade dos resultados obtidos não permite o seu uso em condições diferentes daquelas em que foram determinados. Para que isso ocorra, é necessário o ajuste local desses valores por meio de modelos que empregam variáveis meteorológicas e culturais.

O objetivo do presente trabalho é apresentar, assim, os principais modelos de estimativa de Kc para a cultura da videira em condições irrigadas. Esses modelos permitem, por sua vez, o emprego de programas computacionais em sistemas de apoio à irrigação de áreas vitícolas.

## Modelos para estimativa dos valores de $K_c$ para videiras

### 1. Modelo da FAO (ALLEN et al., 2006)

A FAO recomenda três valores de  $K_c$  para cada cultura, conforme o período de desenvolvimento das plantas:

- 1) um valor inicial ( $K_{c\text{ ini}}$ ), que representa o período que vai do plantio (ou da poda, no caso de videiras) até o momento em que o cultivo alcança, aproximadamente, 10% da cobertura do solo;
- 2) um valor intermediário ( $K_{c\text{ med}}$ ), para o período de pleno desenvolvimento foliar até o início da maturação;

3) e um valor final ( $K_{c\text{ fin}}$ ), que engloba o período de maturação até a colheita ou a completa senescência. No intervalo entre esses três períodos, os valores de  $K_c$  apresentam variação linear (Figura 1).

No período inicial ( $K_{c\text{ ini}}$ ), a principal demanda hídrica da cultura corresponde, normalmente, à evaporação da água do solo. Essa, por sua vez, sofre a influência da evapotranspiração de referência ( $ETo$ ), do tipo de solo, da lâmina infiltrada e da frequência de irrigação ou chuva, entre outros. Em fruteiras caducifólias, como a videira, esse período tem uma duração proporcional menor do que em culturas anuais ou pastagens (Figura 2).

Durante o período intermediário ( $K_{c\text{ med}}$ ), o  $K_c$  atinge seu valor máximo devido ao pleno desenvolvimento

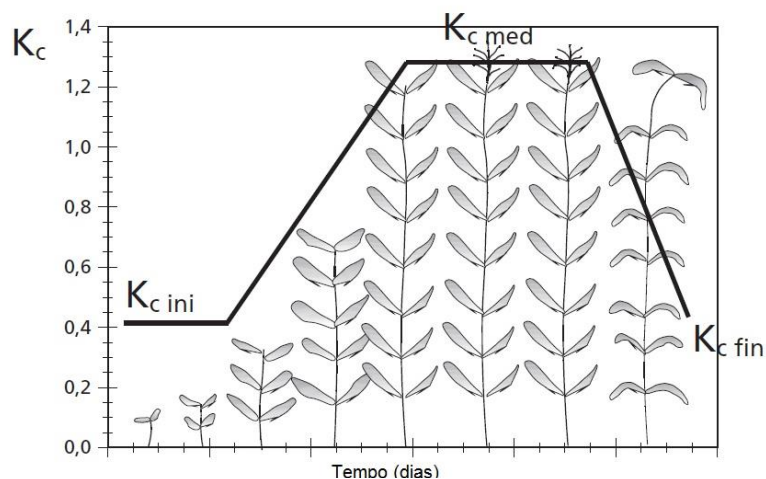


Fig. 1. Representação esquemática do comportamento dos valores de  $K_c$  durante o desenvolvimento das culturas (Fonte: ALLEN et al., 2006).

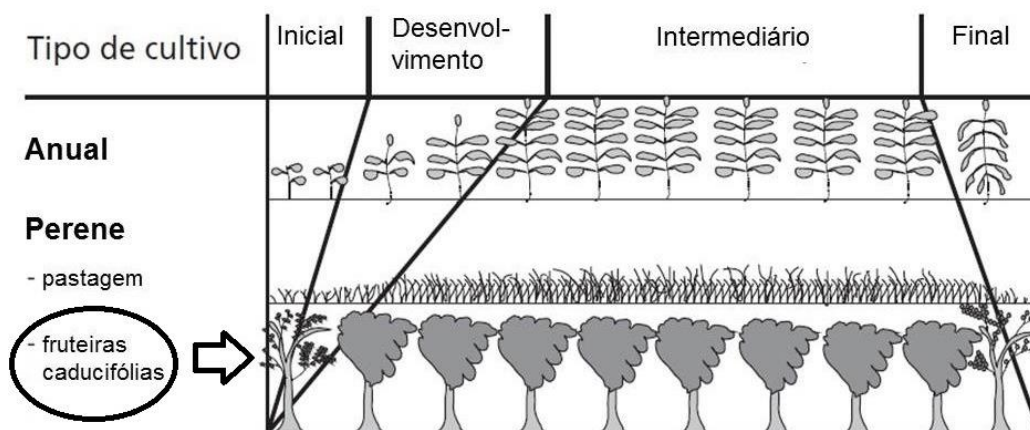


Fig. 2. Duração relativa dos diferentes períodos fenológicos para culturas anuais, pastagens e, em destaque, as fruteiras caducifólias (Fonte: ALLEN et al., 2006).

foliar das plantas. O seu valor dependerá de fatores característicos das plantas, como altura, resistência do dossel à transpiração, índice de área foliar e percentual de interceptação da radiação solar pela copa, entre outros.

No período final ( $Kc_{fin}$ ), decresce o efeito da transpiração sobre o Kc devido ao envelhecimento e, eventual, queda das folhas. Isso faz com que ele dependa mais da frequência de umedecimento do solo, além das condições da cultura durante e após a colheita. Esse período também apresenta uma duração relativamente curta, quando comparado ao período intermediário (Figura 2).

Os valores de Kc para videiras, recomendados pela FAO, estão apresentados na Tabela 1.

- $Kc_{ini}$

O valor de  $Kc_{ini}$  apresentado na Tabela 1 (0,30) é apenas uma primeira aproximação. No caso das videiras, ele irá refletir as condições do solo antes da brotação e dependerá da existência ou

não de cobertura vegetal ativa, da frequência de umedecimento do solo e, no caso de cobertura morta, da densidade da palhada. Por isso, o valor de  $Kc_{ini}$  poderá alcançar valores superiores a 0,80, na presença de vegetação de cobertura ativa.

Conceição et al. (2012) verificaram que o Kcini médio, para a cultivar Niágara Rosada na região noroeste de São Paulo, apresentou um valor igual a 0,86 para o solo com vegetação espontânea, enquanto que o solo nu apresentou um valor médio igual a 0,32, resultado semelhante ao recomendado pela FAO.

Na área com cobertura morta (mulch), o Kcini apresentará uma redução de valor, que pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$Kc_{ini(cm)} = Kc_{ini} (1 - 0,50 \cdot f_{cm}) \quad (2)$$

em que  $Kc_{ini(cm)}$  é o valor de  $Kc_{ini}$  com cobertura morta e  $f_{cm}$  é a fração da área com cobertura morta (Exemplo 1).

**Tabela 1.** Valores de Kc inicial (Kcini), intermediário (Kcmed) e final (Kcfin) para videiras, recomendados pela FAO (ALLEN et al., 2006).

Tipo	$Kc_{ini}$	$Kc_{med}$	$Kc_{fin}$
Uvas de mesa	0,30	0,85	0,45
Uvas para vinho fino	0,30	0,70*	0,45

\* O valor de Kcmed para uvas destinadas à elaboração de vinhos finos inclui, normalmente, um fator de estresse hídrico controlado, que visa a melhoria da qualidade final dos produtos.

### Exemplo 1 - Estimativa de $Kc_{ini(cm)}$

Dados:

- $Kc_{ini} = 0,30$
- Fração da área com cobertura morta ( $f_{cm}$ ) = 0,40 (40%)

Estimativa de  $Kc_{ini(cm)}$  empregando-se a eq. 2:

- $Kc_{ini(cm)} = 0,30 \cdot (1 - 0,50 \cdot 0,40) = 0,30 \cdot (1 - 0,20) = 0,30 \cdot 0,80$
- **$Kc_{ini(cm)} = 0,24$**

### Observação

- O uso de mulch reduz o valor de  $Kc_{ini}$  e, conseqüentemente, o consumo de água da área cultivada.

No entanto, mesmo para solos nus, o  $Kc_{ini}$  pode apresentar grande variação em função da frequência de irrigação ou chuvas, do valor da ETo e do tipo de solo. A Tabela 2 apresenta alguns valores de  $Kc_{ini}$  para solos de textura média, em função do intervalo de umedecimento do solo e da demanda hídrica da atmosfera (ETo). Observa-se que o  $Kc_{ini}$ , nesses casos, pode variar de 0,10, para ETo muito alta e intervalo de umedecimento maior que semanal; a 1,20, para intervalo de umedecimento menor que semanal e ETo baixa. Por isso, no período inicial, as irrigações frequentes devem ser evitadas, em sistemas de irrigação que umedecem toda a superfície do solo, como na aspersão ou na microaspersão.

Por outro lado, em sistemas que umedecem parcialmente o solo, como é o caso do gotejamento, o  $Kc_{ini}$  tende a ser menor, mesmo em condições de alta frequência de aplicação. O valor reduzido de  $Kc_{ini}$  pode ser calculado multiplicando-o pela fração do solo umedecida:

$$Kc_{ini(w)} = f_w \cdot Kc_{ini} \quad (3)$$

em que  $Kc_{ini(w)}$  é o Kc no período inicial quando há um umedecimento parcial do solo e  $f_w$  é a fração do solo umedecida pelo sistema de irrigação (varia entre 0 e 1,0) (Exemplo 2).

**Tabela 2.** Valores de Kc inicial ( $Kc_{ini}$ ), recomendados pela FAO para valores moderados de umedecimento (10 mm a 40 mm) em função de diferentes valores da evapotranspiração de referência (ETo) e intervalos de chuva ou irrigação (ALLEN et al., 2006).

Intervalo de umedecimento do solo	ETo (mm/dia)			
	Baixa (1 a 3)	Moderada (3 a 5)	Alta (5 a 7)	Muito alta (> 7)
Menor que semanal	1,20 - 0,80	1,10 - 0,60	1,00 - 0,40	0,90 - 0,30
Semanal	0,80	0,60	0,40	0,30
Maior que semanal	0,70 - 0,40	0,40 - 0,20	0,30 - 0,20	0,20 - 0,10

### **Exemplo 2 - Estimativa de $Kc_{ini(w)}$**

Dados:

- Sistema de irrigação: gotejamento
- Fração do solo umedecida ( $f_w$ ) = 0,40 (40%)
- Intervalo entre irrigações = 1 dia
- ETo média no período = 3,0 mm dia<sup>-1</sup>

Estimativa de  $Kc_{ini(w)}$  empregando-se a eq. 3:

- Pela Tabela 2,  $Kc_{ini} = 1,10$ .
- $Kc_{ini(w)} = Kc_{ini} \cdot f_w = 1,10 \cdot 0,40$
- **$Kc_{ini(w)} = 0,44$**

### **Observação**

- No período inicial, o uso da irrigação por gotejamento pode representar uma redução expressiva no consumo de água do vinhedo.

### • Kcmed

Os valores de  $K_{c_{med}}$  apresentados na Tabela 2 (0,85 e 0,70) são os esperados em condições de umidade relativa mínima diária ao redor de 45% e velocidade média do vento igual a 2,0 m s<sup>-1</sup>. Para condições diferentes, esse valor deverá ser corrigido empregando-se a eq.4:

$$K_{c_{med}} = 0,85 + [0,04 \cdot (V_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot (h/3)^{0,3} \quad (4)$$

em que  $K_{c_{med}}$  é o coeficiente de cultivo no período intermediário do ciclo da cultura,  $V_2$  é o valor médio diário da velocidade do vento a 2,0 m de altura (m s<sup>-1</sup>) durante o período intermediário,  $UR_{min}$  é o valor médio diário da umidade relativa mínima do ar (%) durante o mesmo período e  $h$  é a altura média das plantas (m).

No período intermediário, a evaporação da água no solo não afeta tanto a demanda hídrica da cultura em sistemas de condução do tipo latada, que sombreia a maior parte da superfície do solo. No entanto, na condução em espaldeira, parte dessa superfície permanece exposta, fazendo com que a evaporação da água do solo continue apresentando valores significativos, principalmente quando se emprega sistemas de irrigação por aspersão ou microaspersão com aplicações frequentes.

Nas áreas cultivadas, em geral, a energia disponível no ambiente para o processo de evapotranspiração é limitada. Por isso, o  $K_{c_{med}}$  não ultrapassa, normalmente, um valor máximo ( $K_{c_{max}}$ ) que, para videiras, pode ser estimado pela expressão:

$$K_{c_{max}} = 1,20 + [0,04 \cdot (V_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot (h/3)^{0,3} \quad (5)$$

Deve-se considerar, contudo, que em certas condições, o valor de  $K_{c_{max}}$  pode ser ultrapassado, como, por exemplo, quando o cultivo ocorre em pequenas áreas irrigadas (inferiores a 2.000 m<sup>2</sup>) rodeadas por áreas com menor disponibilidade hídrica. Nesses casos, a evapotranspiração da cultura irrigada e os valores de  $K_c$  tendem a aumentar, em decorrência do fluxo de calor sensível oriundo das áreas mais secas em direção às mais úmidas. Esse fenômeno é conhecido como "feito oásis".

### • Kcfin

O valor de  $K_{c_{fin}}$  apresentado na Tabela 2 (0,45) refere-se ao final do ciclo da cultura em condições de presença de folhas nas plantas. Em locais onde há queda de folhas e em condições de solo nu, ou com cobertura morta, deve-se empregar um valor de  $K_{c_{fin}}$  igual a 0,20. Já na presença de vegetação de cobertura, o  $K_{c_{fin}}$  deverá ficar entre 0,50 e 0,80.

Deve-se ressaltar, todavia, que em regiões com chuvas frequentes, mesmo quando há queda de folhas, o  $K_{c_{fin}}$  pode atingir valores próximos a 1,0 devido à evaporação da água do solo.

Como no caso de  $K_{c_{med}}$ , o valor de  $K_{c_{fin}}$  também deverá ser ajustado de acordo com as condições climáticas locais:

$$K_{c_{max}} = 0,45 + [0,04 \cdot (V_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{min} - 45)] \cdot (h/3)^{0,3} \quad (6)$$

em que  $K_{c_{fin}}$  é o coeficiente de cultivo no período final do ciclo da cultura,  $V_2$  é o valor médio diário da velocidade do vento a 2,0 m de altura durante o período final,  $UR_{min}$  é o valor médio diário da umidade relativa mínima do ar durante o mesmo período e  $h$  é a altura média das plantas.

Em regiões que apresentem diferenças expressivas nas condições climáticas durante o ciclo da cultura, tanto o valor de  $K_{c_{fin}}$  (eq.6) como o de  $K_{c_{med}}$  (eq.4) poderão ser ajustados mensalmente.

### • Intervalos entre os períodos

O aumento nos valores de  $K_c$  entre o período inicial ( $K_{c_{ini}}$ ) e intermediário ( $K_{c_{med}}$ ), e a sua redução entre  $K_{c_{med}}$  e  $K_{c_{fin}}$ , podem ser calculados diariamente por meio de gráficos ou de interpolações lineares. Esses intervalos variam de acordo com a cultivar, a região e as condições de cultivo.

### • Uso de cobertura plástica no solo

O uso de cobertura plástica no solo é comum em algumas áreas de videiras irrigadas por gotejamento. A principal função é reduzir a evaporação da água do solo, melhorando a eficiência de aplicação do sistema. O valor de  $K_{c_{ini}}$ , nessas condições, pode chegar a 0,10, enquanto que os valores de  $K_{c_{med}}$  e  $K_{c_{fin}}$  podem apresentar reduções entre 10% e 30%.

**Exemplo 3 - Estimativa de  $K_{c_{med}}$  e  $K_{c_{fin}}$** 

Dados:

- Altura das plantas ( $h$ ) = 1,80 m
- Velocidade média do vento a 2,0 m de altura ( $V_2$ ) = 1,0 m s<sup>-1</sup>
- Valor médio no período da umidade relativa mínima do ar ( $UR_{min}$ ) = 60%

Estimativa de  $K_{c_{med}}$ :

- Pela eq.4:  $K_{c_{med}} = 0,85 + [0,04 \cdot (1 - 2) - 0,004 \cdot (60 - 45)] \cdot (1,80/3)^{0,3}$
- **$K_{c_{med}} = 0,76$**

Estimativa de  $K_{c_{fin}}$ :

- Pela eq.5:  $K_{c_{fin}} = 0,45 + [0,04 \cdot (1 - 2) - 0,004 \cdot (60 - 45)] \cdot (1,80/3)^{0,3}$
- **$K_{c_{fin}} = 0,36$**

**Exemplo 4 - Estimativa de  $K_{c_{med}}$  e  $K_{c_{fin}}$** 

Dados:

- Altura das plantas ( $h$ ) = 1,80 m
- Velocidade média do vento a 2,0 m de altura ( $V_2$ ) = 3,0 m s<sup>-1</sup>
- Valor médio no período da umidade relativa mínima do ar ( $UR_{min}$ ) = 30%

Estimativa de  $K_{c_{med}}$ :

- Pela eq.3:  $K_{c_{med}} = 0,85 + [0,04 \cdot (3 - 2) - 0,004 \cdot (30 - 45)] \cdot (1,80/3)^{0,3}$
- **$K_{c_{med}} = 0,94$**

Estimativa de  $K_{c_{fin}}$ :

- Pela eq.5:  $K_{c_{fin}} = 0,45 + [0,04 \cdot (3 - 2) - 0,004 \cdot (30 - 45)] \cdot (1,80/3)^{0,3}$
- **$K_{c_{fin}} = 0,54$**

**Exemplo 5 - Estimativa de  $K_{c_{med}}$  e  $K_{c_{fin}}$** 

Dados:

- Altura das plantas ( $h$ ) = 1,00 m
- Velocidade média do vento a 2,0 m de altura ( $V_2$ ) = 3,0 m s<sup>-1</sup>
- Valor médio no período da umidade relativa mínima do ar ( $UR_{min}$ ) = 30%

Estimativa de  $K_{c_{med}}$ :

- Pela eq.3:  $K_{c_{med}} = 0,85 + [0,04 \cdot (3 - 2) - 0,004 \cdot (30 - 45)] \cdot (1,00/3)^{0,3}$
- **$K_{c_{med}} = 0,93$**

Estimativa de  $K_{c_{fin}}$ :

- Pela eq.5:  $K_{c_{fin}} = 0,45 + [0,04 \cdot (3 - 2) - 0,004 \cdot (30 - 45)] \cdot (1,00/3)^{0,3}$
- **$K_{c_{fin}} = 0,53$**

**Observações**

- No exemplo 3, em condições de baixo valor de  $V_2$  e alta  $UR_{\min}$ , os valores de  $K_{c_{\text{med}}}$  e  $K_{c_{\text{fin}}}$  são inferiores aos tabelados (Tabela 1).
- No exemplo 4, em condições de maior valor de  $V_2$  e baixa  $UR_{\min}$ , os valores de  $K_{c_{\text{med}}}$  e  $K_{c_{\text{fin}}}$  são superiores aos tabelados (Tabela 1).
- Pelas observações anteriores, verifica-se que os valores de Kc podem ser diferentes dos tabelados, de acordo com a época do ano.
- Comparando-se o exemplo 4 com o 5, observa-se que a alteração da altura das plantas afeta muito pouco os valores de  $K_{c_{\text{med}}}$  e  $K_{c_{\text{fin}}}$ .

**2. Modelo de Allen e Pereira (2009)**

Allen e Pereira (2009) apresentaram uma metodologia para a estimativa de Kc que tem por base o modelo da FAO, mas que emprega o coeficiente de densidade (Kd) que, por sua vez, é uma função da fração do solo coberta ou sombreada pela cultura ( $fc$ )<sup>2</sup>.

O valor de Kc pode ser calculado pela seguinte expressão:

$$Kc = K_{\text{solo}} + Kd \cdot (Kc_{\text{pleno}} - K_{\text{solo}}) \quad (7)$$

em que  $K_{\text{solo}}$  representa o valor médio de Kc da superfície não vegetada (exposta) do solo, refletindo a frequência de umedecimento, o tipo de solo e a ETo (Tabela 2); Kd é o coeficiente de densidade; e  $Kc_{\text{pleno}}$  é o valor de Kc da cultura para condições de máximo recobrimento do solo. O valor de  $Kc_{\text{pleno}}$  pode ser calculado pela expressão:

$$Kc_{\text{pleno}} = 0,05 + Fr \cdot \{ \min [(1,0 + 0,1 \cdot h), 1,20] + [0,04 \cdot (V_2 - 2) - 0,004 \cdot (UR_{\min} - 45) \cdot (h/3)^{0,3}] \} \quad (8)$$

em que Fr (varia de 0 a 1) é um fator de ajuste para valores de resistência foliar ( $r_f$ ) da cultura superiores a  $100 \text{ s m}^{-1}$ ; min é uma função que representa o menor valor entre duas opções;  $V_2$  é o valor médio diário da velocidade do vento a 2,0 m de altura durante o período máximo de desenvolvimento foliar,  $UR_{\min}$  é o valor médio diário da umidade relativa mínima do ar durante o mesmo período; h é a altura média das plantas. No caso de videiras sem restrições hídricas no solo, pode-se considerar Fr igual a 1,0, uma vez que os valores de  $r_f$  são, normalmente, inferiores a  $100 \text{ s m}^{-1}$  (TEIXEIRA et al., 2007). Já em videiras submetidas a um estresse hídrico controlado, esse valor poderá ser inferior a 1,0.

O valor de Kd pode ser estimado empregando-se a fração do solo coberta pela vegetação:

$$Kd = \min \{ (ML \cdot fc), fc^{1/(1+h)} \} \quad (9)$$

em que ML é um fator multiplicador que descreve o efeito da densidade da copa sobre a evapotranspiração relativa da área sombreada, podendo-se utilizar um valor igual a 1,5, para videiras; fc é a fração do solo coberta ou sombreada pela vegetação ao meio-dia (valor entre 0 e 1).

A Figura 3 apresenta os valores de Kc, calculados pela eq. 7, para diferentes frações de cobertura do solo ( $fc$ ), nas condições padrões das tabelas da FAO ( $h = 2,0 \text{ m}$ ,  $UR_{\min} = 45\%$ ,  $V_2 = 2,0 \text{ ms}^{-1}$ ). Considerou-se um  $K_{\text{solo}}$  igual a 0,30, semelhante ao  $K_{\text{cini}}$  da Tabela 1. Nessas condições, o valor de  $Kc_{\text{pleno}}$  (eq. 8) será igual a 1,25. Observa-se que até um valor de  $fc$  igual a 0,50, o crescimento de Kc é linear. A partir daí, há uma redução na taxa de crescimento de Kc em função de  $fc$ .

Verifica-se na Figura 3 que o valor de  $Kc_{\text{med}}$  recomendado pela FAO para uvas de mesa (0,85 - Tabela 1) representa uma fração de cobertura do solo ( $fc$ ) de, aproximadamente, 0,40 (Figura 3).

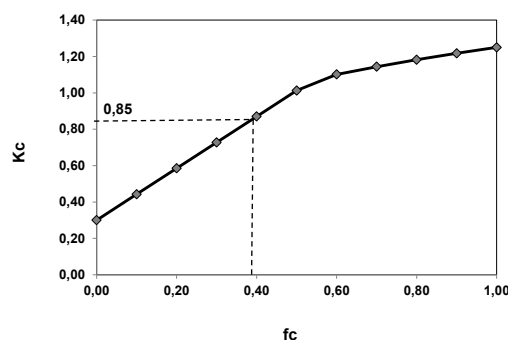


Fig. 3 Valores do coeficiente de cultivo (Kc), calculados pela eq. 7, para diferentes frações de cobertura do solo ( $fc$ ).

<sup>2</sup> A metodologia de Allen & Pereira (2009) emprega a fração efetiva do solo coberta pela cultura ( $fc_{\text{eff}}$ ) que depende do ângulo médio do sol com o horizonte ao meio-dia e que, por isso, varia durante o ano. Já a fração de cobertura do solo ( $fc$ ) considera que os raios de sol ao meio-dia estarão incidindo na vertical. No entanto, para videiras, as diferenças entre a  $fc_{\text{eff}}$  e  $fc$  ficam, geralmente, entre 2% e 4%. Por essa razão, no presente trabalho, considerou-se que  $fc_{\text{eff}} = fc$ .

**Exemplo 6 - Estimativa de  $K_c$  em função da altura e da fração coberta do solo**

Dados:

- Altura das plantas ( $h$ ) = 1,8 m
- Velocidade média do vento a 2,0 m de altura ( $V_2$ ) = 2,3 m s<sup>-1</sup>
- Valor médio no período da umidade relativa mínima do ar ( $UR_{\min}$ ) = 52%
- $K_{\text{solo}} = 0,30$
- $fc_1 = 0,40$
- $fc_2 = 0,80$

Estimativa de  $K_c$ :

- $K_{c\text{pleno}} = 0,05 + \min \{(1,0 + 0,1 \cdot 1,8), 1,20\} + [0,04 \cdot (2,3 - 2,0) - 0,004 \cdot (50 - 45) \cdot (1,8/3)^{0,3}]$   
 $K_{c\text{pleno}} = 0,05 + \min \{(1,18), 1,20\} + [0,04 \cdot (0,3) - 0,004 \cdot (7) \cdot (0,6)^{0,3}]$   
 $K_{c\text{pleno}} = 0,05 + 1,18 - 0,01 = 1,22$
- Para  $fc_1$ :  $K_{d1} = \min \{(1,5 \cdot 0,40), (0,45^{1/(1+1,8)})\} = \min \{(0,60), (0,72)\} = 0,60$
- $K_{c1} = 0,30 + 0,60 \cdot (1,22 - 0,30)$
- **$K_{c1} = 0,85$**
- Para  $fc_2$ :  $K_{d2} = \min \{(1,5 \cdot 0,80), (0,80^{1/(1+1,8)})\} = \min \{(1,20), (0,92)\} = 0,92$
- $K_{c2} = 0,30 + 0,92 \cdot (1,22 - 0,30)$
- **$K_{c2} = 1,15$**

**Exemplo 7 - Estimativa de  $K_c$  em função da altura e da fração coberta do solo**

Dados:

- Mesmos dados do Exemplo 6, mas com  $K_{\text{solo}}$  diferente
- $K_{\text{solo}} = 0,80$  (superfície do solo úmida)

Estimativa de  $K_c$ :

- $K_{c1} = 0,80 + 0,60 \cdot (1,22 - 0,80)$
- **$K_{c1} = 1,05$**
- $K_{c2} = 0,80 + 0,92 \cdot (1,22 - 0,80)$
- **$K_{c2} = 1,19$**

**Observações**

- Comparando-se os Exemplos 6 e 7, verifica-se que as condições da superfície do solo irão afetar os valores de  $K_c$  de forma mais acentuada para menores fatores de cobertura do solo ( $fc$ ).
- Se a superfície do solo apresentar cobertura vegetal ativa, o  $K_{\text{solo}}$  representará o  $K_c$  dessa vegetação, também podendo chegar a valores superiores a 1,0.



Esse valor pode ser encontrado para videiras conduzidas em espaldeira (MOYER et al., 2015), mas é inferior aos que, normalmente, são encontrados para sistemas de condução do tipo latada ou em Y (MORATIEL; MARTÍNEZ-COB, 2012; NETZER et al., 2009; VILLAGRA et al., 2014), que apresentam, normalmente, uma  $fc$  mais próxima a 1,00. Nesses casos, como se observa na Figura 3, os valores de  $K_c$  podem ser superiores a 1,20.

No modelo de Allen e Pereira (2009), também podem ser adotados o manejo da irrigação, como base nos três valores de  $K_c$  ( $K_{c_{ini}}$ ,  $K_{c_{med}}$  e  $K_{c_{fin}}$ ), conforme apresentado na Figura 1. O  $K_{c_{ini}}$  será equivalente ao  $K_{c_{solo}}$ , enquanto que o  $K_{c_{med}}$  corresponderá ao  $K_c$  sob as condições de máxima cobertura do solo na área em estudo. Se houver queda de folhas, o  $K_{c_{fin}}$  poderá ser calculado com base em  $fc$ .

### 3. Modelo de Williams e Ayars (2005) para videiras conduzidas em espaldeira

Como já mencionado, a fração coberta ( $fc$ ), ou porcentagem de área sombreada pela cultura (PAS), afeta os valores de  $K_c$  das videiras. Quanto maior essa porcentagem, maior tende a ser a transpiração das plantas, devido à maior interceptação da radiação solar pelo dossel. Alguns modelos empíricos foram, assim, desenvolvidos com base nesse princípio.

Williams e Ayars (2005), ao estudarem o consumo hídrico de videiras para mesa Thompson Seedless (*Vitis vinifera*) conduzidas em espaldeira na Califórnia, encontraram uma relação linear entre a área sombreada pela copa e o uso de água pela

cultura. A relação entre  $K_c$  e PAS obtida nesse trabalho foi:

$$K_c = -0,008 + 0,017 \cdot PAS \quad (10)$$

Observa-se que quando PAS for igual a zero, o  $K_c$  apresenta um valor negativo (-0,008). Por essa razão, na utilização da eq. 10, pode-se considerar o coeficiente linear como sendo igual a zero o que praticamente não afeta os resultados finais. Além da Califórnia, esse modelo também tem sido adotado em outras regiões dos Estados Unidos, para cultivos em espaldeira (HELLMAN, 2015; MOYER et al., 2015).

A PAS pode ser estimada empregando-se um gabarito quadriculado (Figura 4). Sabendo-se a área de cada quadrícula pode-se estimar a área sombreada (AS) e, conseqüentemente, a relação percentual entre a AS e a área total da planta.

Para esse tipo de sistema de condução, também pode ser empregada a largura da sombra projetada ao meio-dia (Figura 5), em que a PAS será estimada pela expressão:

$$PAS = 100 \cdot LS/EF \quad (11)$$

em que LS é a largura média sombreada ao meio-dia (m) e EF é o espaçamento entre fileiras (m).

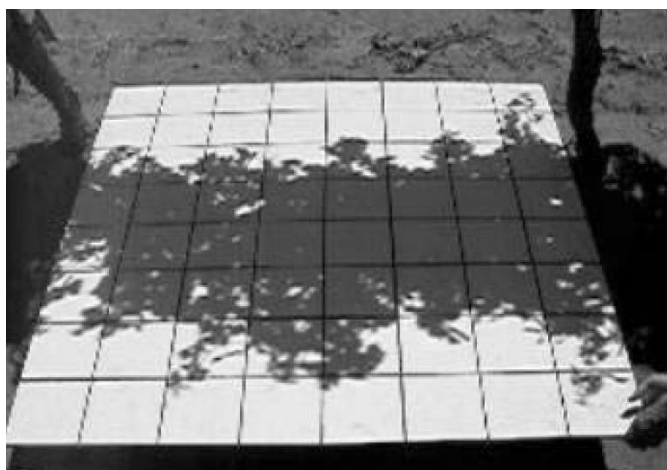


Fig. 4 Gabarito usado para estimar a área sombreada por videiras conduzidas no sistema espaldeira (Fonte: HELLMAN, 2015).

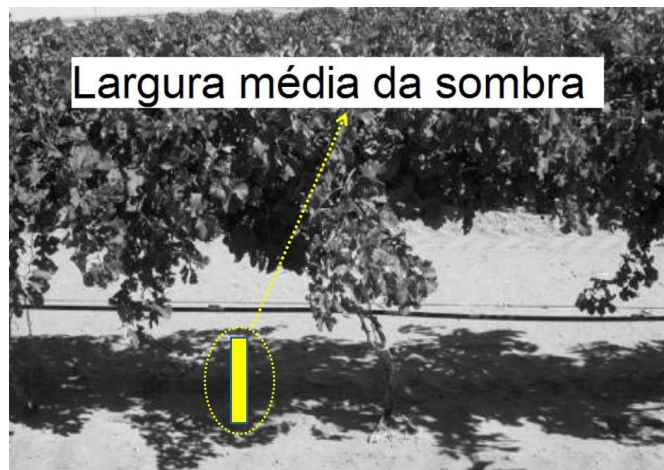


Fig. 5 Estimativa da largura média sombreada por videiras conduzidas no sistema espaldeira (Fonte: HELLMAN, 2015).

- **Modelo de Selles et al. (2012) para videiras conduzidas em latada**

Esse modelo foi desenvolvido no Chile, também para a cultivar de mesa Thompson Seedless, só que conduzida no sistema latada. Nele, o valor de  $K_c$  pode ser obtido pela expressão:

$$K_c = 0,072 + 0,012 \cdot \text{PAS} \quad (12)$$

Os menores valores de PAS empregados no desenvolvimento desse modelo foram iguais a 20%, resultando em um valor de  $K_c$  igual 0,31. Já para PAS igual a 100%, o  $K_c$  seria igual a 1,27.

Na condução em latada, a determinação da PAS pode ser realizada empregando-se gabaritos semelhantes ao apresentado na Figura 5 ou imagens digitais associadas a programas computacionais para cálculo de áreas. Valores de PAS para um parreiral conduzido em latada são apresentados na Figura 6.

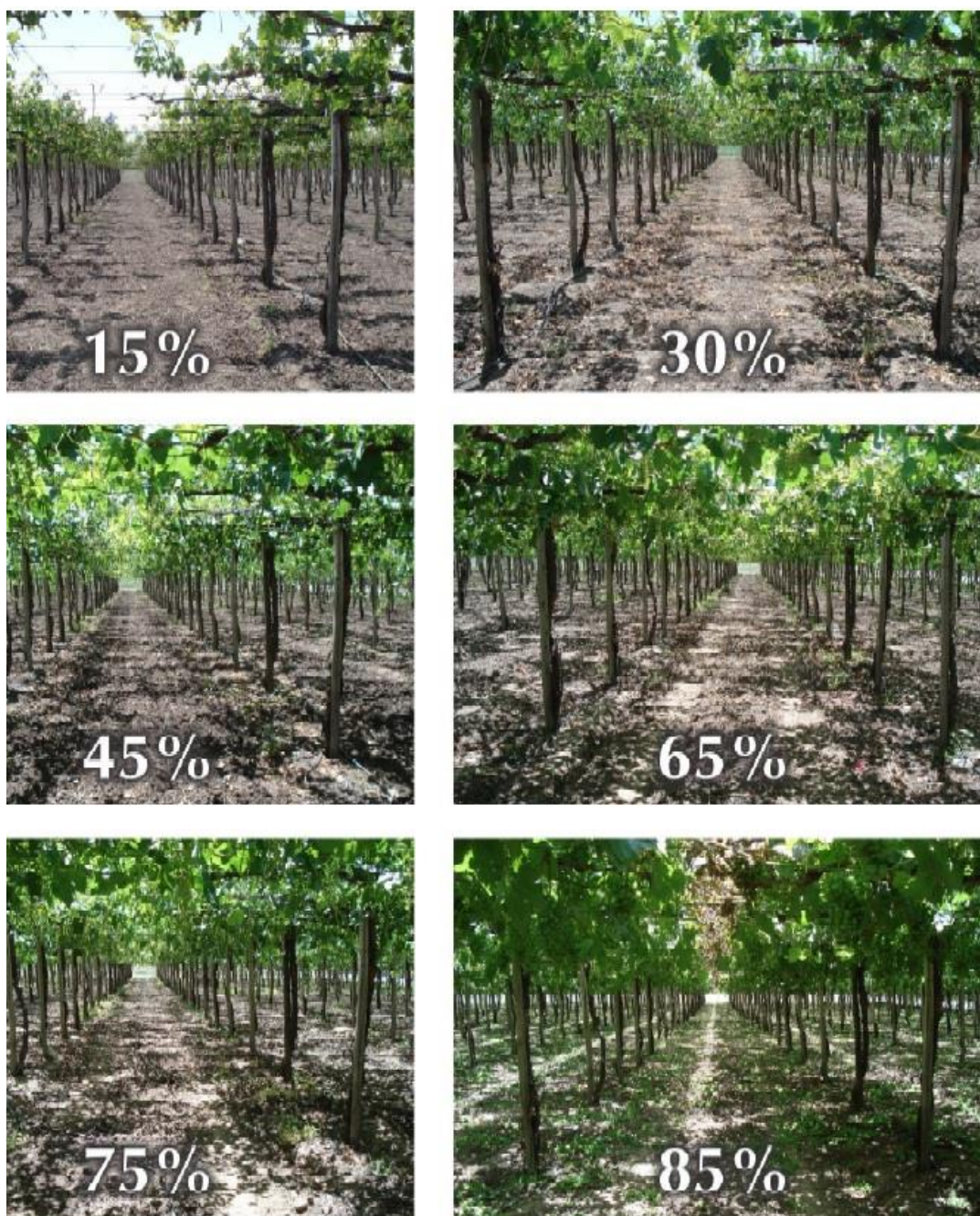


Fig. 6 Estimativa da porcentagem coberta ou sombreada por videiras conduzidas no sistema latada (Fonte: SELLES et al., 2012).

#### 4. Videiras sob cultivo protegido

O uso de cultivo protegido é uma prática comum em várias regiões. A tela plástica é usada, principalmente, para a proteção contra o ataque de pássaros e morcegos e para evitar a incidência de granizo. Já a cobertura impermeável é empregada para proteger as folhas e frutos da precipitação pluvial, visando uma melhoria nas condições fitossanitárias das videiras.

Em geral, o cultivo protegido reduz a radiação solar e a velocidade do vento dentro do parreiral, o que afeta a demanda hídrica atmosférica e o ciclo fenológico das plantas, atrasando, inclusive, a senescência foliar (CARDOSO et al., 2010). Esses fatores irão influenciar, por sua vez, os valores de Kc.

Sob cultivo protegido, os valores de Kc das videiras devem ser multiplicados por um coeficiente de redução (Kr):

$$Kc_{cob} = Kc \cdot Kr \quad (13)$$

em que  $Kc_{cob}$  é o valor de Kc da videira sob cobertura plástica.

Nessas condições, os valores de Kc podem apresentar reduções médias de, aproximadamente, 35% do valor que seria observado na ausência da cobertura plástica sobre o parreiral (CARDOSO et al., 2008; MORATIEL; MARTÍNEZ-COB, 2012; PIRKNER et al., 2014; SILVA, 2011; SUVOCAREV et al., 2013). Isso equivale a um valor de Kr igual a 0,65. No entanto, esse valor deve ser considerado uma primeira aproximação, uma vez que novas pesquisas poderão apresentar resultados diferentes (MORATIEL; MARTÍNEZ-COB, 2012).

#### Considerações gerais

Para as videiras, os valores de Kc recomendados pelo Modelo da FAO (Tabela 1) só devem ser adotados em sistemas de condução do tipo espaldeira com baixa densidade de plantio. Em espaldeiras com alta densidade e em conduções do tipo latada e em Y, devem ser empregados modelos em que o Kc seja estimado com base na fração (fc) ou porcentagem (PAS) de área de solo coberta pela cultura. Essa é uma tendência que tem sido observada, não somente

para videiras, como, também, para outras fruteiras e culturas perenes em geral (PEREIRA et al., 2015).

O modelo de Williams e Ayars (2005) tem sido empregado em algumas regiões com sistemas de condução em espaldeira. É necessário considerar, todavia, que os valores que originaram esse modelo foram obtidos em uma área irrigada por gotejamento, que apresenta uma pequena fração de solo úmido e sem vegetação de cobertura.

Essa também foi a condição em que foi desenvolvido o modelo de Selles et al. (2012), muito embora o sistema de condução adotado tenha sido a latada. Essa condição (irrigação por gotejamento e solo nu) é comum em regiões de clima árido e semiárido. Daí o uso de coeficientes lineares fixos nesses modelos. No entanto, em regiões de clima úmido e subúmido é comum a manutenção de uma vegetação de cobertura no solo. Por isso, esses modelos poderão apresentar maiores limitações de uso, nessas regiões.

O modelo de Allen e Pereira (2009) permite o cálculo de Kc sob diferentes condições de cobertura do solo. Além disso, graças ao coeficiente de densidade (Kd), os valores de Kc apresentam um comportamento linear até um valor de fc igual a, aproximadamente, 0,50, quando, então, passa a assumir um crescimento potencial, com taxas menores do que as anteriores.

Os modelos apresentados nesse trabalho devem ser utilizados como primeiras aproximações no cálculo dos valores de Kc em áreas com videiras irrigadas. Ajustes locais empregando-se, por exemplo, o monitoramento da água no solo, poderão ser realizados, adequando-se os coeficientes às diferentes condições de cultivo.

#### Referências

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S. Estimating crop coefficients from fraction of ground cover and height. *Irrigation Science*, New York, v. 28, n. 1, p.17-34, 2009. Doi: 10.1007/s00271-009-0182-z.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298p. (Estudios FAO: Riego y Drenaje, 56).

- ÁVILA NETTO, J.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SOARES, J. M.; TEIXEIRA, A. H. de C. Exigências hídricas da videira na região do Submédio São Francisco. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 35, n. 8, p.1559-1566, Aug. 2000. Doi: 10.1590/S0100-204X2000000800008.
- CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; CHAVARRIA, G.; MARODIN, G. A. B.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. dos; MANDELLI, F. Alterações micrometeorológicas em vinhedos pelo uso de coberturas de plástico. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, n. 4, p. 441-447, Apr. 2008. Doi: 10.1590/S0100-204X2008000400001.
- CARDOSO, L. S.; BERGAMASCHI, H.; COMIRAN, F.; CHAVARRIA, G.; MARODIN, G. A. B.; DALMAGO, G. A.; SANTOS, H. P. dos; MANDELLI, F. Padrões de interceptação de radiação solar em vinhedos com e sem cobertura plástica. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 32, n. 1, p. 161-171, Mar. 2010. Doi: 10.1590/S0100-204520100005000029.
- CONCEIÇÃO, M. A. F. **Crítérios para o manejo da irrigação de videiras em pequenas propriedades no noroeste paulista**. Bento Gonçalves: Embrapa Uva e Vinho, 2013. 25 p. (Embrapa Uva e Vinho. Circular Técnica, 98).
- CONCEIÇÃO, M. A. F.; SOUZA, R. T. de; ZEOLI, J. de J. S.; PAULA, M. V. B. de. Coeficiente de cultura (Kc) para videira com e sem cobertura vegetal no solo. **Irriga**, Botucatu, p. 234-249, 2012. Edição especial.
- HELLMAN, E. **Irrigation scheduling of grapevines with evapotranspiration data**. AgriLIFE Extension, Texas A&M University System. 6 p. Disponível em: <<http://winegrapes.tamu.edu/files/2015/11/irrigationscheduling.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2016.
- MORATIEL, R.; MARTÍNEZ-COB, A. Evapotranspiration of grapevine trained to a gable trellis system under netting and black plastic mulching. **Irrigation Science**, v. 30, n. 3, p. 167–178, May 2012.
- MOYER, M.; PETERS, R. T.; HAMMAN, R. **Conceptos básicos de riego para los viñedos del este de Washington**. Pullman: Washington State University, 2015. 12p.
- NETZER, Y.; YAO, C.; SHENKER, M.; BRAVDO, B. A.; SCHWARTZ, A. Water use and the development of seasonal crop coefficients for Superior Seedless grapevines trained to an open-gable trellis system. **Irrigation Science**, v. 27, n. 2, p. 109-120, Jan. 2009.
- PEREIRA, L. S.; ALLEN, R. G.; SMITH, M.; RAES, D. Crop evapotranspiration estimation with FAO56: past and future. **Agricultural Water Management**, v. 147, p. 4-20, Jan. 2015. Doi: 10.1016/j.agwat.2014.07.031.
- PIRKNER, M.; DICKEN, U.; TANNY, J. Penman-Monteith approaches for estimating crop evapotranspiration in screenhouses—a case study with table-grape. **International Journal of Biometeorology**, v. 58, n. 5, p. 725-737, Jul. 2014. Doi: 10.1007/s00484-013-0653-z.
- SELLÉS van Sch., G.; FERREYRA, R. E.; ASPILLAGA, C. N.; ZÚÑIGA, C. E. **Requerimientos de Riego en Uva de Mesa: Experiencias en el Valle de Aconcagua**. Santiago, Chile: INIA, 80 p. 2012. (Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Boletín INIA N° 242).
- SILVA, L. C. da. **Ecofisiologia de videiras “Itália” (Vitis vinifera L.) em cultivo protegido sob diferentes condições hídricas**. 2011. 171 p. Tese (Doutorado em Fitotecnica). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Faculdade de Agronomia, Porto Alegre, RS, 2011.
- SUVOCAREV, K.; BLANCO, O.; FACI, J. M.; MEDINA, E. T.; MARTÍNEZ-COB, A. Transpiration of table grape (Vitis vinifera L.) trained on an overhead trellis system under netting. **Irrigation Science**, v. 31, n. 6, p. 1289–1302, Nov. 2013. Doi: 10.1007/s00271-013-0404-2.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; AZEVEDO, P. V. de; SILVA, B. B. da; SOARES, J. M. Consumo hídrico e coeficiente de cultura da videira na região de Petrolina, PE. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 3, n. 3, p. 413–416, 1999.
- TEIXEIRA, A. H. de C.; BASTIAANSEN, W. G. M.; BASSOI, L. H. Crop water parameters of irrigated wine and table grapes to support water productivity analysis in the São Francisco river basin, Brazil.

**Agricultural Water Management**, v. 94, p. 31-42, Dec. 2007.

VILLAGRA, P.; CORTÁZAR, V. G. de; FERREYRA, R.; ASPILLAGA, C.; ZUÑIGA, C.; ORTEGA-FARIAS, S.; SELLÉS, G. Estimation of water requirements and  $K_c$  values of 'Thompson Seedless' table grapes grown in the overhead trellis system, using the Eddy

covariance method. **Chilean Journal of Agricultural Research**, v. 74, n. 2, p. 213-218, abr. 2014.

WILLIAMS, L. E.; AYARS, J. E. Grapevine water use and the crop coefficient are linear functions of the shaded area measured beneath the canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 132, n. 3-4, p. 201-211, Oct. 2005.

### Circular Técnica, 132



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:  
Embrapa Uva e Vinho  
Rua Livramento, 515 - Caixa Postal 130  
95701-008 Bento Gonçalves, RS  
Fone: (0xx) 54 3455-8000  
Fax: (0xx) 54 3451-2792  
<https://www.embrapa.br/uva-e-vinho/>

1ª edição

### Comitê de Publicações

Presidente: *César Luís Girardi*  
Secretária-Executiva: *Sandra de Souza Sebben*  
Membros: *Adeliano Cargin, Alexandre Hoffmann, Ana Beatriz da Costa Czermainski, Henrique Pessoa dos Santos, João Caetano Fioravanzo, João Henrique Ribeiro Figueredo, Jorge Tonietto, Rochelle Martins Alvorcem e Viviane Maria Zanella Bello Fialho*

### Expediente

Editoração gráfica: *Cristiane Turchet*  
Normalização: *Rochelle Martins Alvorcem*