

## Estudo comparativo de coeficientes de cultura (Kc) para o manejo de irrigação do milho obtidos experimentalmente e estimados pelo manual FAO/56

**Crisálida Alves Correia<sup>(1)</sup>; Paulo Emílio Pereira de Albuquerque<sup>(2)</sup>; Wander Lauro de Amaral<sup>(3)</sup>; Christoph Hermann Passos Tigges<sup>(3)</sup>.**

<sup>(1)</sup> Acadêmica de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João del-Rei, UFSJ, Bolsista Embrapa; Rod. MG 424, Km 45, 35.702-098, Sete Lagoas, MG, e-mail [crisalida\\_correia@hotmail.com](mailto:crisalida_correia@hotmail.com); <sup>(2)</sup> Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo, Eng. Agrícola, D.Sc., Embrapa Milho e Sorgo; <sup>(3)</sup> Acadêmico de Engenharia Agrônômica, Universidade Federal de São João Del Rei, UFSJ, Bolsista Embrapa.

**RESUMO:** A otimização na produção do milho está relacionada a diversos fatores, dentre eles a disponibilidade hídrica. Para tanto, em cultivos irrigados, é fundamental determinar as necessidades hídricas dessa cultura para ajustar as práticas de irrigação. Este trabalho teve como objetivo comparar, para algumas localidades, coeficientes de cultura (Kc) e lâmina líquida de irrigação requerida (LIR) do milho, por meio de três métodos: a) observação de dados experimentais; b) dados experimentais ajustados; e c) estimativas, segundo o manual FAO-56 (Allen et al., 1998). Em algumas regiões os valores de Kc recomendados pelo FAO-56 foram ligeiramente superiores aos obtidos experimentalmente, superestimando a lâmina líquida de irrigação requerida (LIR) para aquelas condições experimentais. Para os municípios de Piracicaba (SP), Seropédica (RJ) e Teresina (PI) os valores de LIR obtidos com os dados de Kc pelo FAO-56 foram inferiores (de 0,9 a 8,3%) aos valores experimentais e ajustados, respectivamente. No geral, os valores de Kc do manual FAO-56 levaram a uma boa estimativa da lâmina líquida de irrigação requerida (LIR) para a cultura do milho, pois a LIR variou no intervalo entre -10% e +10% ao compará-la com dados experimentais e ajustados por polinômio de terceiro grau para os valores de Kc em função dos dias após o plantio (DAP).

**Termos de indexação:** evapotranspiração da cultura (ETc), requerimento hídrico, eficiência do uso da água.

### INTRODUÇÃO

Dados do IBGE indicam que o milho está distribuído em 2801 municípios, em várias regiões do Brasil. Essa cultura já se tornou a segunda maior “commodity” no país, sendo que nos últimos cinco anos houve um aumento de 15,5% na produtividade. A otimização na produção está relacionada a diversos fatores, dentre eles a distribuição hídrica, que influencia principalmente na

fase de germinação, floração e enchimento de grãos (Sans et al., 2001).

Para tanto, em cultivos irrigados, é necessário determinar as necessidades hídricas dessa cultura para ajustar as práticas de irrigação. Isso permite a utilização da água de maneira eficiente e a expressão do máximo de potencial produtivo da cultura. Desse modo, segundo Chaves et al. (2005), uma das alternativas utilizadas no manejo de irrigação é obter a evapotranspiração da cultura (ETc), a evapotranspiração de referência (ETo) e o coeficiente de cultura (Kc) durante os estádios de desenvolvimento das plantas. Essas variáveis dependem principalmente da cultura, de elementos meteorológicos e do solo, podendo ser estimadas diretamente através de lisímetros ou indiretamente através da seguinte equação:

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

Em que:

ETc = evapotranspiração da cultura (mm dia<sup>-1</sup>);

Kc = coeficiente de cultura;

ETo = evapotranspiração de referência (mm dia<sup>-1</sup>).

O coeficiente da cultura ou de cultivo está ligado a fatores ambientais e fisiológicos das plantas, nas quais deve ser determinado, de preferência nas condições do local que será utilizado (Medeiros et al., 2004).

Neste sentido, objetivou-se realizar um comparativo, para algumas localidades, entre coeficientes de cultura (Kc) do milho, por meio de três métodos: a) observação de dados experimentais; b) dados experimentais ajustados; e c) estimativas, segundo o manual FAO-56 (Allen et al., 1998). Deste modo, observou-se, então, a influência que esses três métodos têm no manejo de irrigação.

### MATERIAL E MÉTODOS

Primeiramente, realizou-se um levantamento bibliográfico de vários trabalhos técnicos e técnico-

científicos acerca dos coeficientes de cultura (Kc) do milho obtidos nas condições brasileiras.

Posteriormente, elaborou-se uma base de dados, utilizando planilhas eletrônicas, seguindo o critério de localidade e da época de plantio encontrados na literatura para cada região. Para a análise dos dados, o ciclo da cultura foi dividido em quatro fases (estádios) de acordo com Doorenbos & Pruitt (1977) e com o manual FAO-56 (Allen et al., 1998), segundo Albuquerque (2007), além do trabalho de pesquisa original.

A equação mais adequada para descrever e ajustar a curva de coeficiente de cultivo (Kc) foi a polinomial de terceiro grau. Os dias após o plantio (DAP) e Kc foram as duas variáveis analisadas conjuntamente. A determinação dos valores mínimos e máximos dos valores de Kc, em função do DAP, foi obtida pela primeira derivada da função polinomial encontrada.

O ajustamento do Kc recomendado pelo FAO-56, para a fase inicial (Kc-ini), média (Kc-med) e final (Kc-fin) foi obtido, respectivamente, pelas equações 2 (Albuquerque et al., 2001) e 3 (Allen et al., 1998):

$$Kc_{ini} = 1,41704 - 0,092412 * ETo - 0,11001 * F + 0,0042672 * ETo^2 + 0,0033743 * F^2 + 0,00028724 * Eto * F \quad (2)$$

$$Kc_{med} ou Kc_{fin} = Kc_{med} (tab) ou Kc_{fin} (tab) + [0,04 * (u2 - 2) - 0,004 * (UR_{min} - 45)] * \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (3)$$

A primeira equação apresenta valores de frequência de irrigação ou de chuva (F, em dias) e evapotranspiração de referência (ETo, em mm dia<sup>-1</sup>). E, para o Kc médio e final, utilizaram-se valores decendiais de umidade relativa mínima do ar (URmin, em %) e velocidade do vento a 2 m de altura (u2, em m s<sup>-1</sup>), correspondente a cada município.

O manejo de irrigação para os dados experimentais, ajustados e recomendados pelo FAO-56 foram simulados em planilha eletrônica, segundo Albuquerque (2007), sob condições de umidade inicial do solo equivalente a 50%, aspersão convencional com precipitação de 10 mm hora<sup>-1</sup> e turno de irrigação médio previsto para a fase 1 de 3 dias. A ETo necessária para uso na planilha de manejo de irrigação foi obtida observando-se a época de desenvolvimento do milho, de acordo com a localidade.

As lâminas de irrigação requeridas (LIR), para todos os três métodos, foram obtidas da planilha de manejo de irrigação. Os valores de LIR obtidos dos dados experimentais e ajustados foram comparados aos de LIR do FAO-56 com a seguinte equação:

$$Desvio = 100 * \frac{LIR_{exp/ajust} - LIR_{FAO}}{LIR_{FAO}} \quad (4)$$

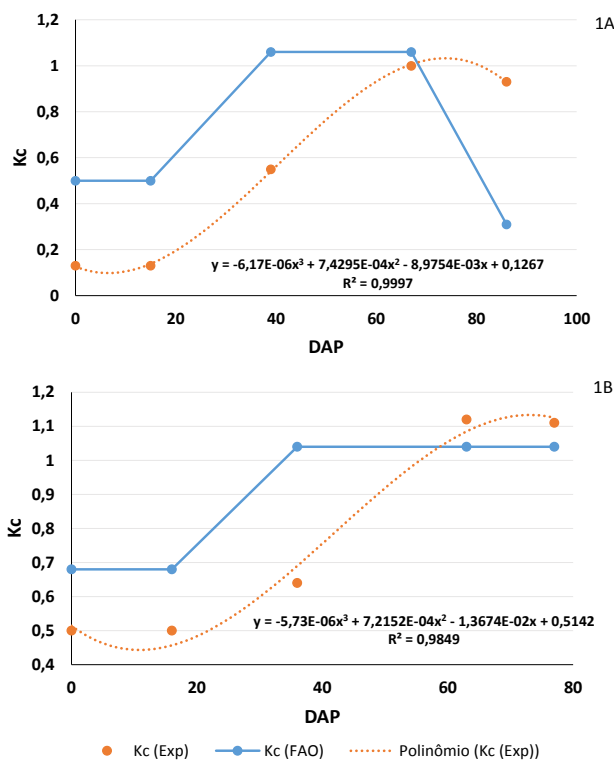
$LIR_{exp/ajust}$  = Lâmina Líquida de Irrigação Requerida para dados experimentais ou ajustados, respectivamente;

$LIR_{FAO}$  = Lâmina Líquida de Irrigação Requerida para dados do FAO-56.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, pode-se analisar a correlação entre coeficiente de cultura (Kc) recomendado pelo FAO e o obtido por Almeida et al. (2013) e Santos et al. (2014), para a região de Mossoró – RN. Nesses trabalhos utilizaram a cultivar AG 1051, com semeadura em maio de 2010 e em novembro de 2011, respectivamente.

Na Figura 1A e na Tabela 1 observam-se que os dados do FAO-56 refletiram em um aumento na lâmina de irrigação requerida (LIR) de 9,56 e 8,59% em relação aos dados experimentais e aos ajustados, respectivamente (Tabela 1). Verifica-se que os valores de Kc experimentais variaram pouco em relação aos valores ajustados, o que é demonstrado pelo alto coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). O Kc experimental da fase 3 apresentou valor aproximado ao recomendado pelo FAO (Figura 1A). Neste caso, a LIR pelo método do FAO-56 está superestimada, o que significa que o Kc recomendado pelo FAO-56 não seria o mais adequado para aquelas condições experimentais.



**Figura 1:** Coeficiente de cultura (Kc) obtidos do manual FAO-56, de dados experimentais e ajustados, em relação aos dias após plantio (DAP), segundo Almeida et al. (2013) (1A) e Santos et al. (2014) (1B).

No trabalho descrito por Santos et al. (2014) para o milho verde, verifica-se que os valores de Kc experimentais não concordaram com os recomendados pelo FAO durante todo o ciclo da cultura (Figura 1B). Porém, no total do ciclo, não houve diferenças consideráveis na LIR, o que resultou numa proximidade entre a quantidade de irrigações (Tabela 1). Dessa forma, os valores de Kc, para o milho verde, recomendados pelo FAO-56 podem ser utilizados quando cultivados sob as condições edafoclimáticas do município de estudo. Nota-se que na fase 3 o Kc ajustado do FAO ficou subestimado em relação ao Kc experimental. Essa fase é a que apresenta os maiores valores de Kc, visto que corresponde ao estágio de florescimento até o início de enchimento de grãos (Albuquerque & Guimarães, 2004) e coincide com o período crítico da cultura, em que acontecem os maiores impactos causados pelo déficit hídrico, refletindo na redução da produção de grãos (Bergamaschi et al., 2004).

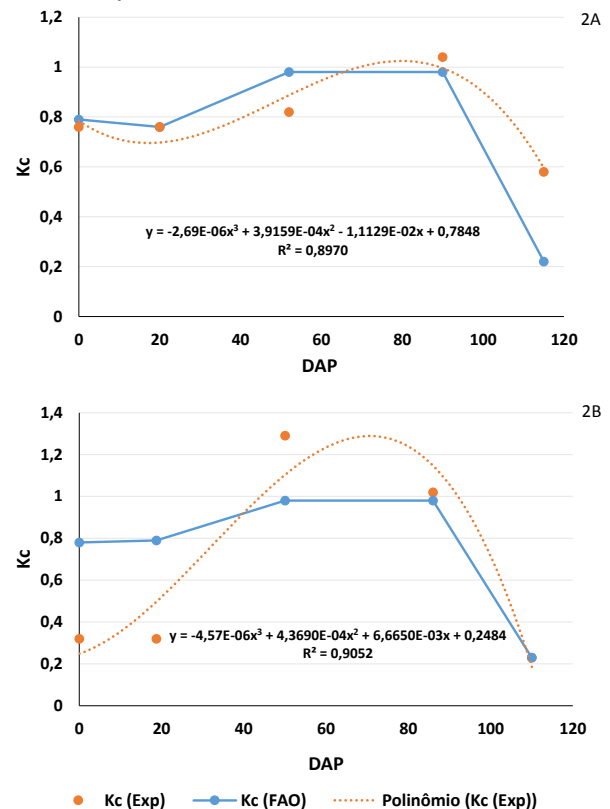
Souza et al. (2012) e Detomini et al. (2009) desenvolveram um trabalho para o milho grão nas cidades de Seropédica – RJ (Figura 2A) e Piracicaba – SP (Figura 2B), respectivamente. Nesta ordem, utilizaram a cultivar Eldorado, com semeadura realizada em dezembro de 2006, e o híbrido DKB 390, semeado em 24 de novembro de 2005.

Analisando os dados apresentados na Figura 2A, nota-se que o Kc inicial para todos os métodos não variou consideravelmente. Condição contrária à verificada da Figura 2B, em que o Kc inicial recomendado pelo FAO-56 se mostrou relativamente maior ao Kc experimental e ajustado. Com isso, o número de irrigações aplicadas, com base no método do FAO, teve maior expressão comparada aos outros métodos.

A metodologia utilizada pelo manual FAO-56, para a estimativa do Kc, também considera fatores climáticos diários, como a umidade relativa do ar e a velocidade do vento. Possivelmente, as variáveis climáticas nas condições experimentais, durante a fase inicial, estão bem próximas das consideradas pelo FAO (Figura 2A). O período inicial de desenvolvimento da cultura está compreendido entre os meses de maiores precipitações pluviométricas, interferindo no teor de umidade do solo que, por sua vez, afeta o requerimento hídrico das culturas (Mendonça et al., 2007), diminuindo a diferença entre os métodos.

A LIR obtida pelo Kc do FAO-56 não atende a demanda hídrica do milho na região de Seropédica – RJ, sendo que a LIR resultante do Kc

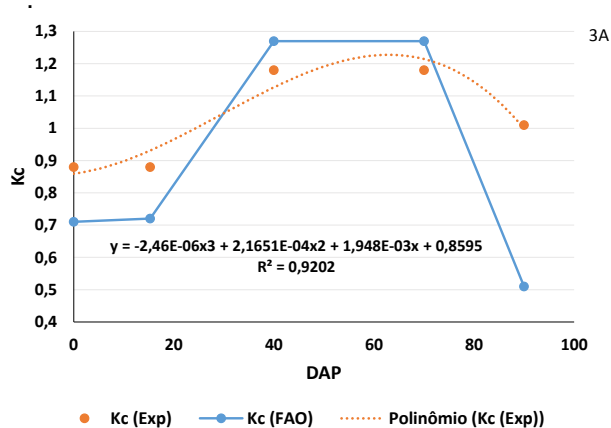
experimental e ajustado se mostrou de 8,29 a 4,78% maiores que a recomendação do FAO-56, respectivamente. No entanto, para a cidade de Piracicaba, somente a LIR calculada pelo Kc experimental que se mostrou significativamente maior em relação ao Kc do FAO-56. O Kc polinomial não refletiu expressivamente em maior LIR, praticamente se igualando aos valores do FAO-56 (Tabela 1). Para tanto, o manejo de irrigação nos dois casos permanece o mesmo.



**Figura 2:** Coeficiente de cultura (Kc) obtidos do manual FAO-56, de dados experimentais e ajustados, em relação aos dias após plantio (DAP), segundo Souza et al. (2012) (2A) e Detomini et al. (2009) (2B).

Na cidade de Teresina – PI, Ferreira et al. (2007) determinaram valores médios de coeficiente de cultura para o milho CMS 47, semeado em agosto de 2006 (Figura 3). Nota-se que o Kc inicial dos dados experimentais e ajustados diferiu em relação ao FAO-56. Neste trabalho, maiores LIR foram determinadas para valores ajustados, refletindo em maiores quantidades de irrigações (Tabela 1). Muitos produtores de milho têm utilizado o Kc do FAO-56, uma vez que é um processo muito trabalhoso obtê-lo experimentalmente (Souza et al., 2012). No entanto, em muitas localidades, como em Teresina – PI, diferenças no manejo de irrigação podem ocorrer devido às condições de solo e comportamento das condições climáticas, o que influenciam nas necessidades hídricas da cultura

com consequentes reduções de produtividade. Levar em consideração o Kc experimental é importante para utilização da água de maneira eficiente, otimizando a produção da cultura.



**Figura 3:** Coeficiente de cultura (Kc) obtidos do manual FAO-56, de dados experimentais e ajustados, em relação aos dias após plantio (DAP), segundo Ferreira et al. (2007).

### CONCLUSÕES

As estimativas dos valores de Kc pelo manual FAO-56 propiciaram boas estimativa da lâmina líquida de irrigação requerida (LIR) para a cultura do milho em diferentes regiões brasileiras, pois a LIR variou no intervalo entre -10% e +10% ao compará-la com dados experimentais e ajustados por polinômio de terceiro grau para os valores de Kc em função dos dias após o plantio (DAP).

### AGRADECIMENTOS

À Agência Nacional de Águas (ANA) e à Embrapa, agradecemos pelo apoio financeiro.

### REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, P.E.P. de. Planilha eletrônica para programação da irrigação em sistemas de aspersão convencional, pivô central e sulcos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2007. 18p. (Embrapa Milho e Sorgo. Circular Técnica, 97).

ALBUQUERQUE, P.E.P.; ANDRADE JÚNIOR, A.S.; SOUSA, F.; SEDIYAMA, G.C.; BEZERRA, J.R.C.; STONE, L.F.; SILVEIRA, P.M. Coeficientes de cultivo das principais culturas anuais. *Revista ITEM - Irrigação e Tecnologia Moderna*, n.52/53, p.49-57, 2001.

ALBUQUERQUE, P. E. P.; GUIMARÃES, D. P.; Estimativa de coeficientes de cultura (Kc) da fase de florescimento para milho e sorgo no Estado de Minas Gerais. In: XXV Congresso Nacional de Milho e Sorgo. Cuiabá – MT.

ALLEN, R.G., PEREIRA, L.S., RAES, D., SMITH, M. *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop*

*water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300p. (FAO. Irrigation and drainage paper, 56).

ALMEIDA, B. M. ; CAVALCANTE JUNIOR, E. G. ; MEDEIROS, J. F. ; ESPÍNOLA SOBRINHO, J. . Coeficientes de cultivo para a cultura do milho (zea mays L.) usando 'mulch' como cobertura do solo. In: I Simpósio Brasileiro de Recursos Naturais do Semiárido -, 2013, Iguatu. Pesquisa e transferência de tecnologia contextualizada ao semiárido, 2013.

BERGAMASCHI, H.; DALMAGO, G. A.; BERGONCI, J. I.; BIANCHI, C. A. M.; MULLER, A. G.; COMIRAN, F.; HECKLER, B. M. M. Distribuição hídrica no período crítico do milho e produção de grãos. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília, v. 39, n. 9, p. 831-839, set. 2004.

CHAVES, S. W. P.; AZEVEDO, B. M.; MEDEIROS, J. F.; BEZERRA, F. M. L.; MORAIS, N. B. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo da pimenteira em lisímetro de drenagem. *Revista Ciência Agronômica*, v.36, n.3, p. 262-267, 2005.

DETOMINI, E. R.; MASSIGNAN, L. F. D.; LIBARDI, P. L.; NETO, D. D. Consumo hídrico e coeficiente de cultura para o híbrido DKB 390. *Acta Scientiarum. Agronomy*. Maringá , 31(3), 445-452, Set. 2009 .

DOORENBOS, J., PRUITT, W.O. *Crop water requirements*. Rome: FAO, 1977. 144p. (Irrigation and drainage paper, 24).

FERREIRA, V. M.; ANDRADE, A. S.; MASCHIO, R.; CARDOSO, M. J.; SILVA, C. R.; MORAIS, E. L. C. Coeficientes de cultivo do milho em sistemas monocultivo e consorciado com feijão caupi. In: XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Aracaju – SE, 2007.

MEDEIROS, G. D.; ARRUDA, F. B.; SAKAI, E.; FUJIWARA, M.; BONI, N. R. Crescimento vegetativo e coeficiente de cultura do feijoeiro relacionados a graus-dia acumulados. *Pesq. Agropec. Bras.*, Brasília , v. 35, n. 9, p. 1733-1742, Sept. 2000 .

MENDONÇA, J. C., SOUSA, E. F., BERNARDO, S., SUGAWARA, M. T., PEÇANHA, A. L., GOTTARDO, R. D. Determinação do coeficiente cultural (Kc) do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.), em Campos dos Goytacazes, RJ. *Rev. bras. eng. agríc. ambient.*, Campina Grande , v. 11, n. 5, p. 471-475, Oct. 2007 .

SANS, L.M.A.; ASSAD, E.D.; GUIMARÃES, D.P.; AVELLAR, G. Zoneamento de riscos climáticos para a cultura do milho na região Centro-Oeste do Brasil e para o estado de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.9, n.3, p.527-535, 2001.

SANTOS, W. O.; SOBRINHO, J. E.; MEDEIROS, J. S.; De MOURA, M. S. B.; NUNES, R. L. C. Coeficientes de cultivo e necessidades hídricas da cultura do milho verde nas condições do semiárido brasileiro. *Revista Irriga*, Botucatu, v. 19, n.4, p. 559-572, outubro-dezembro, 2014.

SOUZA, A. P; Lima, M.E.; Carvalho, D.F. . Evapotranspiração e coeficientes de cultura do milho em monocultivo e em consórcio com a mucuna-cinza,



## XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

"Milho e Sorgo: inovações,  
mercados e segurança alimentar"

---

usando lisímetros de pesagem. **Revista Agrária** (Recife. Online) , v. 7, p. 142-149, 2012

**Tabela 1:** Lâmina Líquida de Irrigação Requerida (LIR); número de irrigações e desvio encontrado entre dados experimentais/ajustados e pelo manual FAO-56, durante o ciclo da cultura do milho.

Autores	LIR (mm)			Nº DE IRRIGAÇÕES			DESVIO (%)*	
	FAO <sup>1</sup>	EXP <sup>2</sup>	POLI <sup>3</sup>	FAO	EXP	POLI	EXP	POLI
Almeida et al. (2013)	361,7	327,2	330,7	22	17	17	-9,56	-8,59
Santos et al. (2014)	492,9	493,2	487,4	29	27	27	0,08	-1,10
Souza et al. (2012)	465,7	504,3	487,9	30	31	30	8,29	4,78
Detomini et al. (2009)	403,3	419,5	406,8	27	23	22	4,03	0,87
Ferreira et al. (2007)	587,7	617,7	630,8	32	36	36	5,11	7,34

\*Conforme equação 4; <sup>1</sup> Dados do manual FAO-56; <sup>2</sup> Dados experimentais; <sup>3</sup> Dados experimentais ajustados por polinômio de terceiro grau



## XXXI CONGRESSO NACIONAL DE MILHO E SORGO

“Milho e Sorgo: inovações,  
mercados e segurança alimentar”

---