

Estimativa do coeficiente de cultivo diário de diversas culturas em um balanço hídrico agrícola⁽¹⁾

Bruno César Gurski⁽²⁾; Jorge Luiz Moretti de Souza⁽³⁾; Robson André Armindo⁽³⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES; ⁽²⁾ Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo; Universidade Federal do Paraná; Curitiba, Paraná; brunogurski@ufpr.br; ⁽³⁾ Professor titular, Departamento de Solos e Engenharia Agrícola; Universidade Federal do Paraná.

RESUMO: Diversos estudos foram realizados comparando valores de kc da literatura com valores locais e foi verificado que para muitas culturas os valores de kc em cada estágio de desenvolvimento diferem dos utilizados. Teve-se por objetivo no presente trabalho determinar funções que relacionem valores de kc com dias após plantio (DAP), para diferentes culturas e localidades, destinadas à simulação e obtenção de valores diários de kc ao longo dos estágios de desenvolvimento das culturas para melhoria do cálculo do balanço hídrico agrícola diário. As culturas estudadas foram milho, soja e cana-de-açúcar. A partir de análises de regressão foram obtidas funções do tipo $kc(DAP)$. A evapotranspiração da cultura estimada a partir dos valores de kc foi utilizada no cálculo de um balanço hídrico agrícola diário. As funções do tipo $kc(DAP)$ obtidas por regressão quadrática e cúbica permitem estimar o kc diário para diversas culturas agrícolas. A estimativa de um valor diário de kc melhora o cálculo do balanço hídrico agrícola tornando-o mais sensível às mudanças fisiológicas da cultura.

Termos de indexação: Evapotranspiração da cultura, estágios de desenvolvimento, modelagem matemática.

INTRODUÇÃO

O coeficiente de cultivo (kc) é largamente utilizado nas relações hídricas de cultivos agrícolas para estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) no cálculo do balanço hídrico agrícola. Porém, o estabelecimento de um kc diário é muito dispendioso, por isso, convencionou-se adotar um mesmo kc para cada estágio de desenvolvimento das culturas.

Diversos estudos foram realizados comparando valores de kc utilizados da literatura (Doorenbos & Kassan, 1979; Allen et al., 1998) com valores experimentais locais, e foi verificado que para muitas culturas, os valores de kc em cada estágio de desenvolvimento diferem (Liu & Luo, 2010; Zhang et al., 2011; Arif et al., 2012).

Uma alternativa a essa problemática é estabelecer valores diários de kc por meio de uma curva de variação. Vários foram os modelos matemáticos analisados para representar essa

curva, e o polinômio de terceiro grau foi o que apresentou, em geral, menores valores de erros relativos para os estágios de desenvolvimento de algumas culturas (Leal & Sedyima, 2004).

Diante do contexto apresentado, teve-se por objetivo no presente trabalho determinar funções que relacionem valores de kc com dias após plantio (DAP), para diferentes culturas e localidades, destinadas à simulação e obtenção de valores diários de kc ao longo dos estágios de desenvolvimento das culturas para melhoria do cálculo do balanço hídrico agrícola diário.

MATERIAL E MÉTODOS

Os valores médios de kc e DAP para o estabelecimento dos estágios de desenvolvimento foram levantados na literatura para a cultura do milho, soja e cana-de-açúcar.

A partir dos valores levantados foram realizados gráficos de dispersão em que DAP era a variável independente e kc a variável dependente, posteriormente, realizou-se análises de regressões quadráticas e cúbicas. Assim, foram obtidas funções do tipo $kc(DAP)$ para os valores de kc apresentados por Doorenbos & Kassan (1979), Allen et al. (1998) e para valores obtidos experimentalmente nas condições climáticas brasileiras para as culturas estudadas. Os valores diários do kc ao longo dos estágios de desenvolvimento das culturas foram estimados a partir das funções estabelecidas.

Como o coeficiente de correlação das variáveis mede apenas o grau de associação entre elas, foi necessário verificar se os valores de kc estimados forneciam uma informação real das culturas estudadas. A partir dos valores diários de kc e da evapotranspiração de referência (ET_o) estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO, estimou-se a ET_c para o milho com a seguinte equação:

$$ET_c = ET_o \cdot kc_i$$

Sendo: ET_c – evapotranspiração da cultura no i -ésimo dia (mm dia^{-1}); ET_o – evapotranspiração de referência no i -ésimo dia ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$); kc_i – coeficiente de cultivo no i -ésimo dia (adimensional).

A ET_c diária estimada a partir de diferentes funções de kc foi empregada no cálculo de um

balanço hídrico agrícola diário para a cultura do milho em Piracicaba-SP. Os dados obtidos foram comparados com balanços hídricos agrícolas semelhantes em que se utilizaram valores fixos de kc da literatura. Calculou-se o balanço hídrico agrícola diário com as seguintes condições: em Piracicaba-SP entre os anos de 2005 e 2006; CAD – 100 mm; fração de água disponível – 0,65; armazenamento de água no solo (ARM) inicial – 25 mm; ARM estimado pela equação cossenoidal; os dados climáticos foram fornecidos pela ESALQ-SP.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os valores de kc fixos em cada estágio de desenvolvimento da literatura (Doorenbos & Kassan, 1979; Allen et al., 1998) e os obtidos localmente numa curva de kc , denominado kc modificado, para a cultura do milho (**Figura 1a**), verificou-se visualmente que os valores não são idênticos, principalmente no final do período vegetativo, em que ocorre um ápice do kc não verificado nos valores da literatura. Na fase reprodutiva da planta, o kc diminui gradualmente e não abruptamente como a literatura sugere, devido ao fato da planta deslocar suas energias para a produção de grãos.

Essas diferenças podem ser explicadas, primeiramente, porque o kc modificado não é constante em cada estágio de desenvolvimento como nas outras metodologias. Além disso, os estádios de desenvolvimento são agrupados ocasionando erros, visto que uma planta se modifica constantemente ao longo de seu ciclo biológico. Em segundo lugar, as condições edafoclimáticas do local do experimento, Piracicaba-SP, não são as mesmas em que os experimentos das outras metodologias foram estabelecidos. Em Piracicaba-SP, o tipo climático encontrado é o Cfa, ou seja, é uma região com temperaturas médias altas, o que pode diminuir a quantidade de DAP necessários para completar o ciclo da cultura. Isso ocasionou um valor máximo de kc muito acima dos encontrados na literatura, por isso, é importante o estabelecimento de kc 's locais que reflitam as condições edafoclimáticas da região em questão.

Nas **Figuras 1b, 1c e 1d** os valores de kc podem ser estimados diariamente para as diferentes culturas por meio das funções estabelecidas para as três metodologias. A diferença entre as curvas de kc para cada cultura foi a quantidade de pontos que foram utilizados para realizar as regressões quadráticas e cúbicas, o que gera um coeficiente de correlação diferente.

O kc experimental da cultura do milho (**Figura 1b**) foi obtido com oito pontos, referentes à escala fenológica de Fancelli (1986). O kc de Allen et al. (1998) foi o que teve o comportamento mais semelhante com o kc experimental, apesar de ter sido obtido por regressão quadrática. O pico da curva de kc na metodologia DK (Doorenbos & Kassan, 1979) foi por volta dos 100 DAP o que não condiz com o comportamento fisiológico do milho na região, que tem o máximo desenvolvimento vegetativo, e, portanto, o máximo kc por volta dos 70 dias (Fancelli, 1986).

Na cultura da soja as metodologias revelaram comportamento diferente (**Figura 1c**). O kc experimental não teve nenhum valor igual ao das outras metodologias, sendo superior ao longo dos DAP . O kc de Doorenbos & Kassan (1979) apresentou um comportamento semelhante ao kc experimental, sendo subestimado ao longo dos DAP . O kc de Allen et al. (1998) antecipou o pico de kc em pelo menos 25 DAP .

As metodologias apresentaram comportamento muito semelhante na cultura da cana-de-açúcar planta (**Figura 1d**). Somente o DAP variou no experimento em Juazeiro-BA. Como as metodologias de Doorenbos & Kassan (1979) e Allen et al. (1998) não diferenciam cana planta e soca, os valores de DAP para soca são parecidos com os da cana planta do experimento local, portanto, é possível utilizar os valores de kc de qualquer metodologia, conforme disponibilidade de dados, pois não houve diferença visual entre elas.

De modo geral, o problema dos valores de kc de Doorenbos & Kassan (1979) e Allen et al. (1998) é que os estádios de desenvolvimento são determinados por meio da porcentagem de cobertura da superfície do solo e não de acordo com mudanças na fisiologia e anatomia das plantas. Além disso, os valores de kc obtidos localmente correspondem melhor ao comportamento das plantas na região. Os valores de kc da literatura apresentam um valor elevado, principalmente da emergência ao segundo estágio de desenvolvimento e no último estágio, nestes estádios, a planta apresenta baixa transpiração, devido ao fato de não possuir muitas folhas, e, portanto, não apresenta substancial kc como as metodologias sugeriram.

A ETc teve um comportamento diferenciado entre as metodologias de kc ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura do milho (**Figura 2**). A ETc média do milho utilizando as diferentes metodologias de estimativa do kc (**Figura 1b**) foram as seguintes: kc experimental – 3,1715 mm; kc de Doorenbos & Kassan (1979) – 2,3595 mm, cerca de

25,60% inferior a experimental, e; kc de Allen et al. (1998) – 3,9106 mm, cerca de 23,30% superior a experimental. Houve um comportamento semelhante entre a ET_c experimental e a ET_c obtida com o kc de Doorenbos & Kassan (1979) até cerca de 80 DAP , posteriormente, até o final do ciclo da cultura, a ET_c experimental teve comportamento semelhante à ET_c de Allen et al. (1998). Nenhuma das duas metodologias da literatura estimou de forma adequada a ET_c , principalmente no final do ciclo da cultura em que esta diminui por um processo fisiológico de maturação da planta.

O comportamento do ARM foi muito semelhante quando se utilizou as diferentes metodologias de estimativa do kc até os 45 DAP (**Figura 3**), posteriormente, houve uma superestimação do ARM nas duas metodologias da literatura (Doorenbos & Kassan, 1979; Allen et al., 1998), porém, acompanhou o comportamento da metodologia experimental local.

De modo geral a cultura do milho, neste período, apresentou boa produtividade ($10.161,23 \text{ kg ha}^{-1}$) em média, isto pode ser atribuído, dentre outros fatores, a não ocorrência de períodos expressivos de déficit hídrico (Detomini et al., 2009). No entanto, se a CAD do solo fosse menor, poderia gerar um déficit hídrico de risco, pois nos dois períodos críticos da cultura, emergência e florescimento (0–20 DAP e 50–60 DAP), os valores de ARM corresponderam a 25% da CAD . São nessas situações críticas que o uso de um kc diário adequado pode demonstrar o déficit hídrico e, conseqüentemente, melhorar o planejamento das lavouras.

CONCLUSÕES

As funções do tipo $kc(DAP)$ obtidas por regressão quadrática e cúbica permitem estimar o kc diário para diversas culturas agrícolas.

A estimativa de um valor diário de kc melhora o cálculo do balanço hídrico agrícola tornando-o mais sensível às mudanças fisiológicas da cultura.

Quando se aumenta a divisão dos estádios de desenvolvimento de uma cultura a curva do kc é menos condizente com os valores de kc da literatura.

AGRADECIMENTOS

Ao PPGCS/UFPR, aos meus orientadores pela disponibilidade e auxílio, à CAPES pelo apoio financeiro, aos diversos autores pelos dados utilizados.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D. & SMITH, M. Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements. 1.ed. Rome, Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1998. 300p.
- ARIF, C., SETIAWAN, B. I.; SOFIYUDDIN, H. A. MARTIEF, L. M.; MIZOGUCHI, M. & DOI, R. Estimating crop coefficient in intermittent irrigation paddy fields using Excel Solver. Rice Science, v.19 (2), p.143-152, 2012.
- DETOMINI, E. R.; MASSIGNAN, L. F. D.; LIBARDI, P. L. & DOURADO NETO, D. Consumo hídrico e coeficiente de cultura para o híbrido DKB 390. Acta Scientiarum. Agronomy, Maringá, v. 31, n. 3, p. 445-452, 2009.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. Yield response to water. Roma: FAO. (Irrigation and Drainage Paper, 33). 1979. 193p.
- FANCELLI, A. L. Plantas Alimentícias: guia para estudos e discussão. Piracicaba: CALQ, 1986. 131p.
- LEAL, B. G. & SEDIYAMA, G. C. Modelo matemático para determinação da curva do coeficiente de cultura, kc . Engenharia na Agricultura, Viçosa, MG, v.12, n.2, 124-133, Abr./Jun., 2004.
- LIU, Y. & LUO, Y. A consolidated evaluation of the FAO-56 dual crop coefficient approach using the lysimeter data in the North China Plain. Agricultural Water Management, v. 97, p. 31–40, 2010.
- SILVA, T. G. F.; MOURA, M. S. B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; VIEIRA, V. J. S. & JÚNIOR, W. G. F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental v.16, n.1, p.64–71, 2012.
- TOLEDO, N. T.; MULLER, A. G.; BERTO, J. L. & MALLMANN, C. E. S. Ajuste do modelo fototérmico de estimativa do desenvolvimento e do índice de área foliar de soja. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n.3, p.288–295, 2010.
- ZHANG, K.; HILTON, H. W.; GREENWOOD, D. J. & THOMPSON, A. J. A rigorous approach of determining FAO56 dual crop coefficient using soil sensor measurements and inverse modeling techniques. Agricultural Water Management, v. 98, p.1081–1090, 2011.

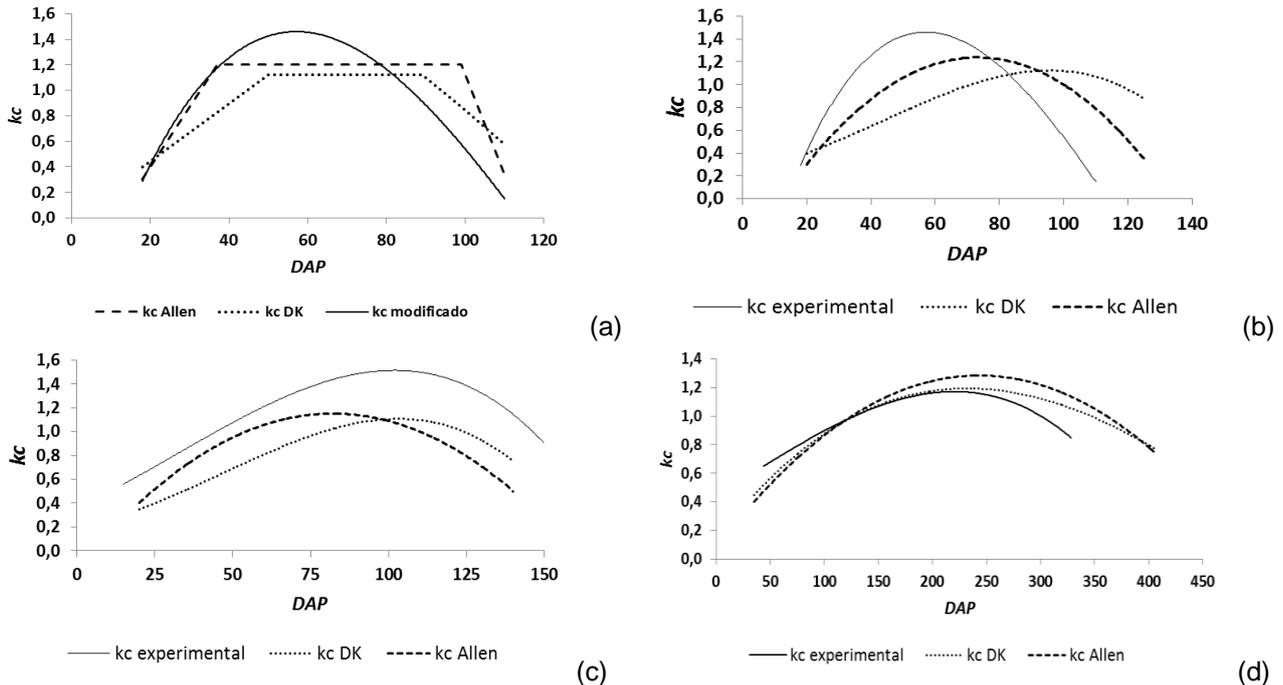


Figura 1 – Diferentes metodologias de estimativa diária do coeficiente de cultivo (k_c), sendo: (a) Cultura do milho em Piracicaba-SP (Detomini et al., 2009); (b) Cultura do milho em Piracicaba-SP (Detomini et al., 2009); (c) Cultura da soja em Augusto Pestana-RS (Toledo et al., 2010); (d) Cultura da cana-de-açúcar planta em Juazeiro-BA (Silva et al., 2012).

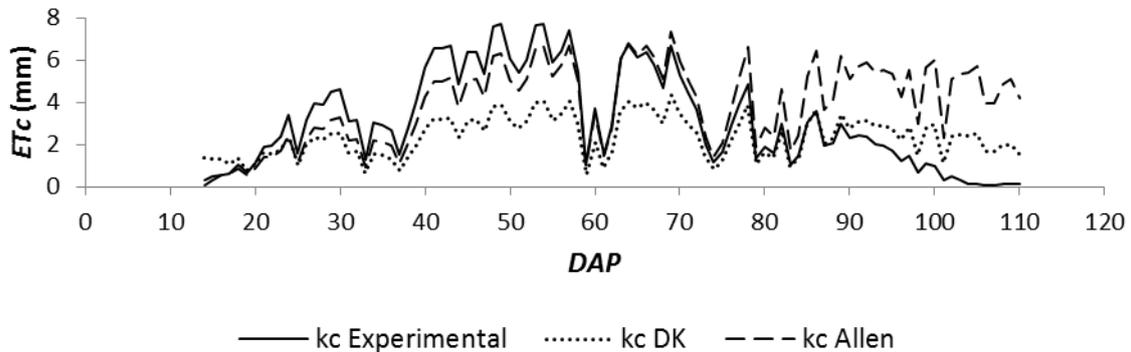


Figura 2 – Evapotranspiração da cultura (ET_c) empregando diferentes metodologias de estimativa do coeficiente de cultivo (k_c) na cultura do milho em Piracicaba-SP (Detomini et al., 2009).

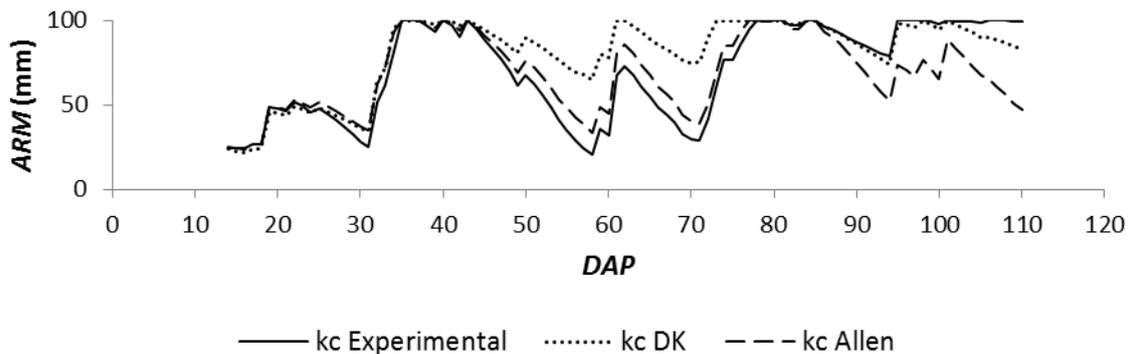


Figura 3 – Armazenamento de água no solo (ARM) empregando diferentes metodologias de estimativa do coeficiente de cultivo (k_c) na cultura do milho em Piracicaba-SP (Detomini et al., 2009).