

Coeficiente de Cultura (kc) da Cana de Açúcar para Primeiro e Segundo Cortes, em Função do Acúmulo de Graus-Dia durante os Diferentes Estágios de Crescimento

*V. Barbieri, **F. C. da Silva

RESUMO

Para estimar o coeficiente de cultura (kc), foram utilizados dados meteorológicos de Araras-SP, juntamente com dados de evapotranspiração máxima (ETm), obtidos num lisímetro do nível freático constante, e a evapotranspiração de referência (Eto), pelo método do Tanque Classe A. Houve relacionamento entre as constantes de cultura (kc) e o somatório de Graus-Dia (ΣGD), mostrando-se adequadas para todo o ciclo da cana de açúcar, tanto para a cana-planta, como a soca, mostrando valores iniciais em torno de 0,2, valores de pico em torno de 1,3 e durante o período de maturação em torno de 1,1. As equações (5 e 6) para estimar esses valores para Cana-planta e Cana-soca, demonstradas na Figura 1. Tais equações mostraram-se adequadas para esta estimativa principalmente por não usar o tempo cronológico em suas variáveis e sim a temperatura e o tempo na forma de Graus-Dia.

Palavras Chave: Coeficiente de cultura; Evapotranspiração; Deficiência hídrica

ABSTRACT

To estimate the crop coefficient (kc) was used weather data from Araras-SP, together with data of maximum evapotranspiration (Etm) obtained in the lysimeter of the constant water level drawdown, and reference evapotranspiration (Eto) by the PENMAN-MONTEITH method. The relationship found between the coefficient kc and the sum of degree-days (ΣGD), was good for all cycle of sugar cane, the first ratoon and second ratoon showing, both, values starting around 0.25, the peak values of 1.3

* **Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” - Departamento de Engenharia de Biosistemas (ESALQ/USP); Piracicaba - SP.**

** **Embrapa/CNPTIA; Campinas - SP e FATEC Piracicaba; Piracicaba - SP.**

and during the production formation and maturation stages, around 1.1. The equations (5 and 6) to estimate these values for the first and second ratoon. Where adequate to these estimations mainly because they do not rely simply on chronological time but rely on the thermal and chronological time in the form of Degree-Days (Figura 1).

Keywords: Evapotranspiration; Crop coefficient; Hydric deficit

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de água no solo é o parâmetro de maior importância na produtividade da cana de açúcar, na maioria das lavouras. Alfonsi *et al.* (1987) citam que, nas áreas canavieiras do Brasil, o total de precipitação pluviométrica anual varia de 1100 a 1500 mm. Diversos autores, indicam a eficiência do uso de água da cana de açúcar é influenciada por diversos fatores, como a variedade, ciclo da cultura (cana de ano ou ano e meio), a disponibilidade hídrica no solo e a taxa de irrigação (GOMES, 1999; AZEVEDO, 2002) obtendo as produtividades de 130 t/ha (RB72454) em solos de tabuleiros e de 150 a 170 t/ha em solos paulistas com variedade SP79 1011 (MAULE *et al.*, 2001; MIOCQUE, 1999).

Para que se possa manter a disponibilidade hídrica em níveis satisfatórios é necessário que se conheça a evapotranspiração máxima (Etm), durante todas as diferentes fases do seu ciclo (do plantio à colheita) para que o solo, por meio da irrigação, seja mantido sem deficiência ou excesso hídrico (ALLEN *et al.*, 1998). Em termos de coeficiente de cultura (Kc), Doorenbos & Kassam (1994) informam, para a cana de açúcar, que os seus valores podem variar em função do clima, variedade, ciclo da cultura (cana-planta, soca, ressoça) e eventos de irrigação, especialmente na fase inicial de 0,40 e no máximo do desenvolvimento de 1,25 e de 0,70 no final (Allen *et al.*, 1998).

Para determinar a evapotranspiração da cultura (ETm), do coeficiente de cultura

(Kc) e do requerimento hídrico em cana de açúcar (RIGHI, 2004; INMAN-BAMBER & MCLINCHEY, 2003; OMARY & IZUNO, 1995), muitos métodos têm sido desenvolvidos utilizando dados climáticos para fornecer (ETo), frequentemente convertida para a ETm, mediante um fator de correção: $ETm = Kc \cdot ETo$, onde Kc é coeficiente de cultura (BROWN, 1999). Fritschen & Shaw (1961) concluíram que o tanque Classe A pode ser usado para estimar a evapotranspiração de referência (Eto). Conhecendo-se a relação entre a Etm e a Eto, cuja relação é específica da cultura kc é possível estimar Etm, sendo que esses mesmos autores relatam que as usinas de açúcar havaianas utilizam deste conhecimento para quantificarem a água a ser aplicada nos seus canaviais.

Em Alfonsi *et al.* (1987) e Pacheco (1983), com base em pesquisas feitas por vários autores e Barbieri (1993) para a estimativa do valor de kc, com boa precisão, é necessário o uso da lisimetria (BLAD & ROSENBERG, 1974). Na bibliografia, os valores de kc durante as fases fenológicas da cana são apresentadas levando-se em conta o tempo cronológico em quatro fases do ciclo (DOORENBOS & PRUITT, 1975). Embora haja uma conformidade de valores observados por Inman-Bamber & McGlinckey (2003), em relação aos valores sugeridos pela FAO, muitos autores têm obtido valores de Kc inferiores, em diferentes regiões de cultivo de cana de açúcar que parece ser influenciado pelo método de determinação, pelo hábito varietal de crescimento foliar e pelo clima.

Esse procedimento torna as estimativas de Kc imprecisas, uma vez que não diferenciam sazonalidade da disponibilidade energética para crescimento e a evapotranspiração do vegetal. Assim, propõe-se neste trabalho o uso de graus-dia, também chamado de Unidades de Calor, com seus valores acumulados durante o ciclo e os valores correspondentes de Kc, para cada somatório destes graus-dia, substituindo-se desta forma o tempo cronológico. Equacionam-se então as relações entre graus-dia

acumulados e k_c calculados com valores medidos de E_{tm} e de E_{to} estimado pelo método do tanque Classe A (ALLEN *et al.*, 1998). Desde que bem supridas de água, o binômio solo-planta evapotranspira à taxa máxima quando o IAF da cultura situa-se entre 2,5 e 3, sendo que valores de IAF acima de três implicam em acréscimos muito pequenos na respectiva evapotranspiração (RITCHIE, 1985). Entrando-se com estes IAF limites na função logística estabelecida por Machado *et al.* (1982) para determinação deste parâmetro para a cana de açúcar, variedade NA 56-79, verifica-se que esta cultura tem seu pico de evapotranspiração entre os 160-220 dias após o plantio (DAP).

MATERIAL E METODOS

Inúmeros são os métodos para a determinação da demanda hídrica máxima (E_{tm}) da cana de açúcar, entretanto considerou-se a lisimetria como um método adequado e preciso para estas observações. São aqui utilizados para esse estudo os dados observados por Barbieri (1993) o qual empregou o uso de um lisímetro de nível freático constante (evapotranspirógrafo) cujas dimensões e construções descritas foram adequadas para o propósito. A razão entre a E_{tm} medida e a evapotranspiração de referência (E_{to}) conhecida como constante de cultura (k_c) foi calculada para todos os estágios da cultura, do plantio a colheita. A E_{to} adotada foi a calculada pelo método do tanque Classe A, uma vez que nas áreas irrigadas de cana de açúcar no Brasil este é o mais utilizado, devido sua praticidade. A maioria dos trabalhos bibliográficos considera a variação do k_c em relação ao tempo cronológico após o plantio, desta forma a estimativa do k_c torna-se de baixa precisão, uma vez que se for plantio de inverno, o desenvolvimento inicial será lento, e se for de outono, tal desenvolvimento será acelerado. Assim, para conseguir maior precisão na estimativa do k_c utilizou-se aqui o conceito de Graus-Dia, também conhecido como Unidades de Calor, para representar o tempo decorrido desde o plantio. O conjunto de equações aplicadas foi:

$K_c = E_{tm}/E_{to}$ (constante de cultura).....(1)

E_{tm} : Evapotranspiração máxima da cana de açúcar medida pelo lisímetro (mm)

E_{to} : Evapotranspiração de referência calculada pelo método do tanque Classe A (mm) (FAO-56). O ajuste da FAO para k_c do Tanque classe A, para superfície circunvizinha gramada foi definido por Allen & Pruitt (1991):

$K_c = 0,108 - 0,000331 \cdot U^2 + 0,0422 \cdot \ln(F) + 0,1434 \cdot \ln(U_{Rmed}) - 0,000631 \cdot [\ln(f)]^2 \cdot \ln(U_{Rmed}) \dots (2)$, onde: F = distância do Tanque Classe A até os limites da superfície gramada, m.

Estimando os valores de GD =Graus-Dia:
 $GD = ((TM+Tm / 2) - Tb) \cdot N / 12$, quando $Tm > Tb$ (3)

$GD = ((TM-Tb)^2 / (TM-Tm) 2) \cdot N / 12$, quando $Tm = Tb$ (4)

Onde: TM = temperatura máxima média diária ($^{\circ}C$); Tm = temperatura mínima média diária ($^{\circ}C$); Tb = temperatura base da cana de açúcar ($^{\circ}C$); N = comprimento do dia (horas).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

No período estudado, a cana de açúcar plantada dentro do evapotranspirógrafo teve um crescimento final de 333 cm e na bordadura (irrigada), fora do lisímetro uma altura de 330 cm. A maior evapotranspiração observada foi de 6,8mm/dia quando a cana de açúcar estava com a altura da primeira aurícula visível de 269cm, são valores compatíveis aos encontrados por Campbell *et al.* (1960), Thompson (1967) e Inman-Bamber & McGlinckey (2003). Foi colhida a cana planta sem desponte, obtendo-se uma produtividade de 155 t/ha, e calculou-se que para produzir uma tonelada de colmos são necessários aproximadamente 85 metros cúbicos de água, equivalendo a 8,5mm de água consumida por uma tonelada de cana produzida. A cana dentro do evapotranspirômetro foi plantada no espaçamento de 1,5m e foram colhidos 15 colmos por metro linear de sulco.

Houve relacionamento estreito entre a constante de cultura (k_c) e o somatório de graus-dia (ΣGD), mostrando-se adequadas para todo o ciclo da cana de açúcar, tanto para a cana-planta, como soca. Por meio da análise dos dados revelou-se que os valores de K_c podem, com boa precisão, serem estimados pelas equações 5 e 6 descritas, sucessivamente na Figura 1.

Observa-se na Figura 2 que durante o ciclo de cana planta, no início o valor de k_c está em torno de 0,2, no pico de desenvolvimento foliar, em torno de 1,3 e durante a fase de formação da produção e maturação valores em torno de 1,0, similares aos valores obtidos por Inman-Bamber & McGlinckey (2003) e de Allen *et al.*, (1998). O pico de k_c ocorre quando o somatório de graus-dia está em torno de 1100 GD e para o ciclo de cana soca tal pico ocorre quando o somatório de graus-dia está em torno de 440 GD . Tal fato é decorrente da velocidade de crescimento da área foliar na cana planta ser muito lento após a germinação e durante o estágio de estabelecimento da cultura. Para a cana soca estes estágios tem desenvolvimento mais acelerado uma vez que os colmos (tocos) já estão estabelecidos e com raízes desenvolvidas, assim os brotos recebem bom suprimento hídrico e nutricional, sendo estas raízes velhas lentamente substituídas por novas. As duas curvas apresentam um pico nos valores descritos anteriormente e após uma rápida queda, estabilizando-se a seguir, como observado por diversos autores (PACHECO *et al.*, 1983). Tal fato é devido a área foliar que, da mesma forma atinge um pico, onde a competição por luz é máximo e após estabelece-se a valores ligeiramente inferiores (FERREIRA JUNIOR *et al.*, 2008). Os valores observados na figura 1 são também similares aos resultados de Inman-Bamber & McGlinckey (2003) e próximos aos recomendados pelo boletim 56 da FAO (ALLEN *et al.*, 1998), com a vantagem de ganhar precisão ao se estimar o k_c como uma função das temperaturas máximas e mínimas, médias diárias, representadas pelos graus-dia e não como função do tempo cronológico durante o ciclo da cana de açúcar. Assim, indica-se aqui, que estes valores de K_c , podem ser adotados, com boa precisão, para estimativa do E_{tm} , cujos valores ao serem utilizados para elaborar balanços hídricos, permitirão estimativas da Evapotranspiração atual (E_{ta}), dos déficits hídricos e dos déficits de produção (Doorenbos e Kassan, 1994) com bons resultados.

$$(5) K_c = 1,20 \cdot \exp\left(\left(\frac{\sum GD - 1164,2}{692,2}\right)^2\right) + 0,68 \cdot \exp\left(\left(\frac{\sum GD - 2001,8}{309,2}\right)^2\right) \quad R^2 = 0,972^{**}$$

$$(6) K_c = 0,54 \cdot \exp\left(\left(\frac{\sum GD - 425,4}{205,4}\right)^2\right) + 0,68 \cdot \exp\left(\left(\frac{\sum GD - 945}{675,2}\right)^2\right) \quad R^2 = 0,985^{**}$$

Figura 1

CONCLUSÕES

As relações encontradas entre as constantes de cultura (k_c) e o somatório de graus-dia (ΣGD), mostraram-se adequadas para todo o ciclo da cana de açúcar, tanto para a cana planta (equação 5) como para a cana soca (equação 6), mostrando valores iniciais em torno de 0,2, valores de pico em torno de 1,3 e durante o período de maturação em torno de 1,0, tendo assim boa precisão e sendo adequados para estimativa da Evapotranspiração máxima (E_{tm}) durante o ciclo da cultura.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar: cana de açúcar: cultivo e utilização. In: PARANHOS, S. B. (Coord.). **Cana de açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, p. 42-55.

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration - guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 326 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

AZEVEDO, H. M. **Resposta da cana de açúcar a níveis de irrigação e de adubação de cobertura nos tabuleiros da Paraíba**. 2002. 112 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2002.

BARBIERI, V. **Condicionamento climático da produtividade potencial da cana de açúcar (*Saccharum spp.*): um modelo matemático-fisiológico de estimativa**. 1993. 140 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1993.

BLAD, B. L.; ROSENBERG, N. J. Lysimetric calibration of the bowen ratio-energy balance method for evapotranspiration estimation in the Central Great Plains. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 13, p. 227-236, 1974.

BROWN, P. W. AZMET evapotranspiration estimates: a tool for improving water management of turfgrass. Disponível em: AZMET – The Arizona Meteorological Network site. URL: <http://ag.arizona.edu/azmet/et.html> Consultado em dez. 1999.

CAMPBELL, R. B.; CHANG, J. H.; COX, D. C. Evapotranspiration of sugar cane in Hawaii as measured by in-field lysimeters in relation to climate. In: CONGRESS INT. SOC. SUGAR CANE TECHN., 10, Honolulu, 1959, **Proceedings**. Amsterdam, Elsevier, p. 637-640, 1960.

DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**.

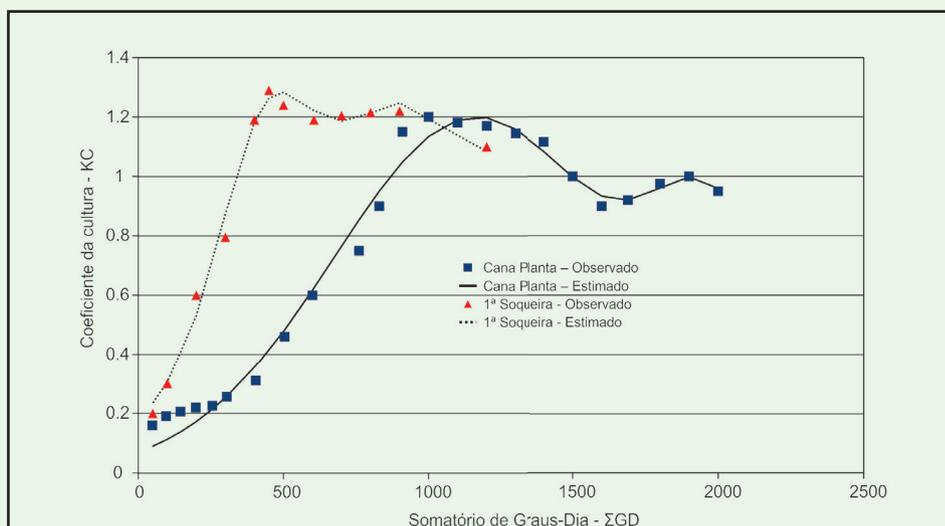


Figura 2 - Valores de K_c observados e estimados pelas equações 1 e 2 (eixo Y) em função da soma de graus-dia (ΣGD , no eixo X), nos ciclos de cana planta e cana soca

Campina Grande: UFPB, 1994. 306 p. (FAO. Estudos FAO. Irrigação e Drenagem, 33).

DOORENBOS, J.; PRUITT, W. O. **Crop water requirements**. Roma: FAO, 1975. 179 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 24).

FERREIRA JUNIOR, R. A.; SOUZA, J. L. de; TEODORO, I.; SANTOS, M. A. dos; ALMEIDA, A. C. S.; SANTOS, M. J. dos; PORFIRIO, A. C. S. Índice de área foliar, radiação interceptada e eficiência do uso da radiação em variedades de cana de açúcar. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 9., 2008, Maceió. **Anais...** Maceió: STAB, 2008. p. 728-733.

FRITSCHEN, L. J.; SHAW, R. H. Evapotranspiration from corn as related to pan evaporation, **Agronomy Journal**, Madison, 53p., 149-150, 1961.

GOMES, M. C. R. **Efeito da irrigação suplementar na produtividade da cana de açúcar em Campos dos Goytacazes**. 1999. 51 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Rio de Janeiro, 1999.

INMAN-BAMBER, N. G.; MCGLINCHEY, M. G. Crop coefficients and water-use estimates for sugarcane based on long-term bowen ratio energy balance measurements. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 83, p. 125-138, 2003.

MACHADO, E. C.; PEREIRA, A. R.; FAHL, J. I. Índices biométricos de duas variedades de cana de açúcar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 17, n. 9, p. 1323-1329, 1982.

MAULE, R. F.; MAZZA, J. A.; MARTHA JR., G. B. Produtividade agrícola de culti-

vares de cana de açúcar em diferentes solos e épocas de colheita. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 2, p. 295-301, 2001.

MIOCQUE, J. Avaliação de crescimento e de produtividade de matéria verde da cana de açúcar na região de Araraquara – SP. **Revista da STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos**. Piracicaba, v. 17, n. 4, p. 45-47, 1999.

OMARY, M.; IZUNO, F. T. Evaluation of sugarcane evapotranspiration from water table data in the everglades agricultural area. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 27, p. 309-319, 1995.

PACHECO, P.; ALONSO, N.; GUITIÉRREZ, A. A study of the sugar cane evapotranspiration in Cuba. In: CONGRESS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 18; 1983, Ciudad de la Habana, **Proceedings...** Ciudad de la Habana, Society of Sugar Cane Technologists. 1983, p. 380-387.

RIGHI, E. Z. **Balço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004, 168 p. Tese (Doutorado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba.

RITCHIE, J. T. Evapotranspiration empiricism for minimizing risk in rainfed agriculture. In: CONFERENCE ON ADVANCES IN EVAPOTRANSPIRATION, Chicago, 1985. **Proceedings...** St. Joseph, ASAE, p. 139-150, 1985.

THOMPSON, G. D. The relationship of potential evapotranspiration of sugarcane to environmental factors. In: CONGRESS INTERNATIONAL SOCIETY SUGAR CANE TECHNOLOGY, 12, Puerto Rico, 1965. **Proceedings...** Amsterdam, 1967, p. 3-9.