

AJUSTE DOS COEFICIENTES DA CULTURA “ÚNICO” E “DUAL” PADRÃO FAO-56 PARA CANA-DE-AÇÚCAR ÀS CONDIÇÕES EDAFOCLIMÁTICAS DOS TABULEIROS COSTEIROS DE ALAGOAS

GUSTAVO B. LYRA¹, GUILHERME B. LYRA², ANTONIO R. PEREIRA³, GILBERTO C. SEDIYAMA⁴

1 - Meteorologista, Prof. Visitante, Lab. de Agrometeorologia e Radiometria Solar, Inst. de Ciências Atmosféricas, UFAL, Maceió – AL, gblyra@gmail.com; 2 - Engo. Agrônomo, Doutorando, Laboratório de Engenharia Agrícola, UENF, Campos dos Goytacazes – RJ; 3 - Engo. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba – SP; 4 - Engo. Agrônomo, Prof. Titular, Depto. de Engenharia Agrícola, UFV, Viçosa – MG

Apresentado no XV Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 02 a 05 de julho de 2007 – Aracaju – SE

RESUMO: Ajustaram-se os coeficientes da cultura “único” (K'_c) e “dual” (K''_c), padrão boletim FAO-56, para cana-de-açúcar as condições edafoclimáticas e da cultura na região dos Tabuleiros Costeiros de Alagoas. Avaliou-se o ciclo cana planta (450 dias) em cultivo de sequeiro, com plantio em 16/10/00. Considerou-se no ajuste de K'_c tabelado no FAO-56 para o estágio inicial a magnitude e a frequência da chuva, a evapotranspiração de referência e o solo da região. Nos estádios intermediário e final o ajuste foi em função da altura da cultura e da média da umidade relativa mínima e da velocidade do vento. Obteve-se K''_c pela soma dos coeficientes basal da cultura (K_{cb}) e de evaporação da água do solo (K_s). K_{cb} foi regulado pelo coeficiente de redução por déficit de água no solo (K_e). Ajustou-se K_{cb} para os estádios intermediário e final de forma análoga a K'_c . K_e e K_s e foram avaliados em função do balanço de água no solo. K'_c e K_{cb} tabelados no FAO-56 não devem ser utilizados sem os ajustes recomendados, particularmente K'_c no estágio inicial. K''_c mostra elevada sensibilidade a disponibilidade de água no solo.

PALAVRAS-CHAVE: balanço de água no solo, manejo de irrigação, Penman-Monteith

ABSTRACT: The FAO bulletin 56 suggested “single” (K'_c) and “dual” (K''_c) crop coefficients for sugar cane were adjusted according to its growing characteristics and local climatic conditions for the coastal board's area of the State of Alagoas, Brazil. The sugar cane plants growing cycles (450 days cycle) in rain fed conditions, planted in 16/10/00 were evaluated. The K'_c values suggest in FAO-56, for the initial growing stage were adjusted based on rainfall amount, interval between wetting events, reference evapotranspiration and local soil type. In the mid season and final crop growing stage according to crop height, minimum average relative humidity and wind speed. The K''_c were obtained adding up the basal crop coefficient (K_{cb}) and the soil evaporation coefficient (K_s). The K_{cb} were adjusted for mid season and final crop growing stages analogous to K'_c . K_e and K_s were evaluated regarding to the soil water balance. The FAO-56 suggested K'_c e K_{cb} values are not recommended to be used with no adjustment, particularly the K'_c values in the initial growing stage. The adjusted K''_c values showed a great sensitivity to the available soil water conditions.

KEYWORDS: soil water balance, irrigation scheduling, Penman-Monteith

INTRODUÇÃO: A produtividade da cana-de-açúcar em Alagoas é inferior à média brasileira. Entre os fatores responsáveis por essa baixa produtividade destacam-se a variação sazonal irregular da precipitação pluvial e solos com baixa capacidade de retenção de água (LYRA et al., 2006). Nesse contexto, o conhecimento das necessidades de água para a cultura é fundamental, visando à definição de épocas de plantio, estimativas de produtividade e o planejamento e manejo da irrigação. Na estimativa das necessidades de água para as culturas a determinação da evapotranspiração da cultura (ET_c) é essencial. A determinação de ET_c em função dos elementos climáticos mostra-se uma alternativa simples e prática em relação a sua determinação direta. O boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998) recomenda que ET_c seja estimada pelo produto da evapotranspiração de referência (ET_o) pelo coeficiente da cultura (K_c). Duas formas para determinação de K_c são sugeridas no FAO-56, a forma linear, denominada de “único”, e a “dual”, que incorpora os efeitos da transpiração e da evaporação de água do solo separadamente. A abordagem “único” é recomendada para escalas de tempo superior a uma semana, sendo indicada para o dimensionamento de projetos e no manejo da irrigação de baixa frequência e alta intensidade, nos quais os efeitos médios da umidade do solo são relevantes. Enquanto a “dual” é aplicada na escala diária, para o manejo da irrigação em tempo real e na estimativa do balanço de água do solo. Allen et al. (1998) sugerem que essas abordagens sejam ajustadas às condições edafoclimáticas locais e as características da cultura. O objetivo do presente trabalho é ajustar os coeficientes da cultura “único” e “dual” recomendados no boletim FAO-56 para a cultura de cana-de-açúcar às condições edafoclimáticas da região de Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas.

MATERIAL E MÉTODOS: Nos ajustes de K_c “único” e “dual” para a cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas considerou-se ciclo cana planta (450 dias) em cultivo de sequeiro, com data de plantio em 16/10/00. K_c “único” (K'_c) tabelado no boletim FAO-56 (Fig. 1a) para o estágio inicial foi ajustado pelo método gráfico proposto no boletim, considerando a média da frequência e magnitude dos eventos de chuva, ET_o e o tipo de solo da região (argilo-arenoso). Enquanto, para os valores tabelados nos estádios intermediário e final utilizou-se a seguinte relação analítica (ALLEN et al., 1998):

$$K'_c = K'_{c(tab)} + [0,04(u_2 - 2) - 0,004(UR_{min} - 45)](h/3)^{0,3} \quad (1)$$

em que, $K'_{c(tab)}$ é o valor de K'_c tabelado; u_2 ($m\ s^{-1}$) é a média da velocidade do vento a 2 m de altura e UR_{min} (%) é a média da umidade relativa mínima do ar no estágio intermediário ou final e h é a altura da cultura no estágio intermediário (2,40 m) ou final (2,80 m) (TOLEDO FILHO, 2001). Interpolou-se a curva de K'_c em função dos K'_c ajustados e da duração dos estádios de desenvolvimento (inicial, crescimento, intermediário e final) apresentados por Toledo Filho (1988). Calculou-se ET_o ($mm\ d^{-1}$) pelo modelo de Penman-Monteith parametrizado no boletim FAO-56 (ALLEN et al., 1998). Os elementos climáticos foram obtidos por uma estação meteorológica automática (S-1000, Squitter Electronics Inc., FL) localizada no município de Maceió, AL ($9^{\circ}28'S$; $35^{\circ}40'W$; 130 m) no período de 16/10/00 a 09/01/02. Detalhes dos procedimentos de cálculo de ET_o e das medidas dos elementos climáticos são apresentados por Lyra et al. (2006).

K_c na abordagem “dual” (K''_c) foi determinado pela relação:

$$K''_c = K_s K_{cb} + K_e \quad (2)$$

em que, K_s é o coeficiente de redução por déficit de água no solo, K_{cb} é o coeficiente basal da cultura e K_e é o coeficiente de evaporação da água do solo. Análogo a K'_c , K_{cb} tabelado no boletim FAO-56 para os estádios intermediário e final foram ajustados pela eq. 1. No caso de K_{cb} no estágio inicial não existe necessidade de ajuste (ALLEN et al., 1998). Posteriormente, interpolaram-se os valores de K_{cb} ajustados em função dos estádios de desenvolvimento (Fig. 1b).

Presumiu-se que o início do estresse de água na zona radicular ocorreu quando a depleção nessa zona (D_r , mm) foi igual à capacidade real de água (CRA , mm). Para $D_r > CRA$, K_s foi dado por:

$$K_s = (CTA - D_r) \wedge (CTA - CRA) = (CTA - D_r) \wedge [(1 - p) CTA] \quad (3)$$

em que, $CTA (= 1000 (\theta_{cc} - \theta_{pm}) z_r$; mm) é capacidade total de água na zona radicular; θ_{cc} ($0,23 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) e θ_{pm} ($0,11 \text{ m}^3 \text{ m}^{-3}$) são o conteúdo de água na capacidade de campo e no ponto de murcha, respectivamente; z_r (m) é a profundidade efetiva do sistema radicular e p é o fator de disponibilidade de água no solo, sendo $CRA = p CTA$. Consideraram-se os valores de p e z_r tabelados no boletim FAO-56 para um solo argilo-arenoso e, de 0,65 no estágio inicial e 0,40 nos demais estádios para p e entre 0,30 e 1 m para z_r , incrementando com o estágio de desenvolvimento. Quando $D_r \leq CRA$, $K_s = 1$. D_r foi determinado pelo balanço de água no solo (ALLEN et al., 1998).

Quando o solo estava úmido, considerou-se que a evaporação ocorreu à taxa máxima, e a soma $K_{cb} + K_e$ assumiu o valor de $K_{c \text{ máx}}$ definido em Allen et al. (1998). Quando a superfície do solo encontrou-se seca, ocorreu redução na evaporação, estimada por:

$$K_e = \min \{ K_r (K_{c \text{ máx}} - K_{cb}); f_{umd} K_{c \text{ máx}} \} \quad (4)$$

em que, K_r é o coeficiente adimensional de redução da evaporação; $f_{umd} (= \min \{ 1 - f_c; f_w \})$ é a fração do solo exposta à radiação solar e que está molhada, f_w é a fração média da superfície molhada, $f_w = 1$, no caso da chuva e f_c é a fração exposta da superfície do solo. f_c foi determinada pela relação sugerida por Allen et al. (1998) em função de K_{cb} e de h .

Assumiu-se que a evaporação da água do solo exposto ocorreu numa fase limitada pela energia (1) e em outra de decaimento (2). Durante a fase 1, a superfície do solo estava úmida, e considerou-se que a evaporação ocorreu a taxas máximas, logo $K_r = 1$. Na fase 2, a evaporação decresceu proporcionalmente ao conteúdo remanescente de água na camada superficial do solo pela relação:

$$K_r = \max \{ (CTE - D_{e,i-1}) \wedge (CTE - CRE); 0 \} \quad (5)$$

em que, $CTE (= 1000 (\theta_{cc} - 0,5 \theta_{pm}) z_e$; mm) é a capacidade total de água evaporada; z_e (0,15 m) é a profundidade da camada superficial do solo sujeita ao “secamento” por evaporação; $D_{e,i-1}$ (mm) é a depleção acumulada de evaporação no final do dia $i-1$ (dia anterior) e CRE (mm) é a capacidade real de água evaporada. Considerou-se CRE para um solo argilo-arenoso (8,0 mm) (ALLEN et al., 1998). De forma análoga a D_r , D_e foi determinada pelo balanço de água na camada superficial do solo.

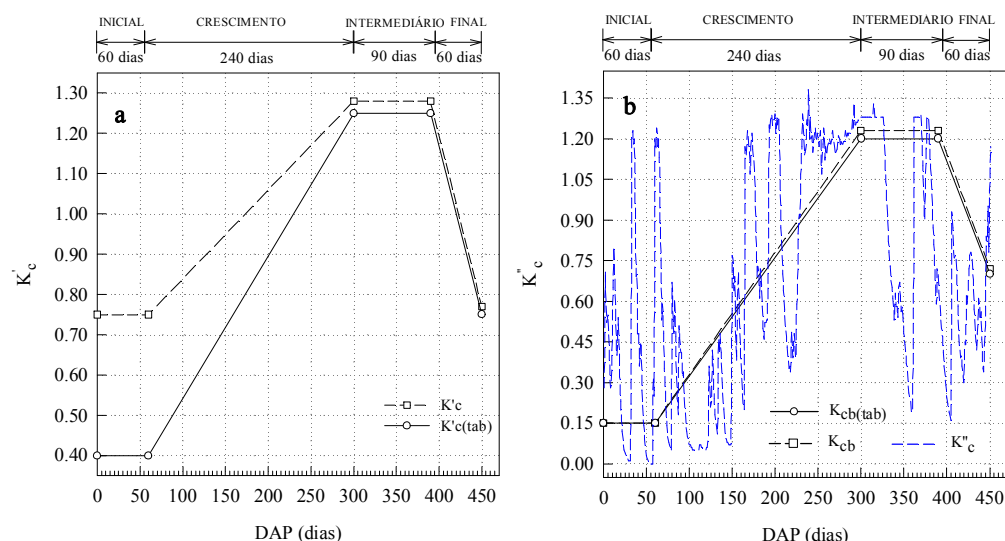


Figura 1 – a) Durações dos estádios de desenvolvimento para cana planta em Alagoas e curvas interpoladas do coeficiente da cultura “único” tabelado no boletim FAO-56 ($K'_{c(tab)}$) e ajustado (K'_c) e b) curvas do coeficiente basal da cultura tabelado ($K_{cb(tab)}$) e ajustado (K_{cb}) e variação de K_c “dual” (K'_c) em relação aos dias após o plantio (DAP).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A diferença entre K'_c tabelado (0,40) e ajustado (0,75) no estágio inicial foi de 88 % (Fig. 1a). Nesse estágio, a maior proporção de ET_c é resultado da evaporação da água do solo, em função da sua cobertura incompleta pelo dossel (< 10%). Assim, à medida que a frequência e a magnitude dos eventos de molhamento aumentam, a evaporação da água da superfície do solo aumenta, o que resulta em maior K'_c . Para uma mesma frequência e magnitude de chuva, K'_c é inversamente proporcional a ET_o . No estágio inicial, registrou-se em média um evento a cada três dias, com magnitude de 5,0 mm e $ET_o = 4,7 \text{ mm d}^{-1}$ (Fig. 2a), o que proporcionou a diferença elevada entre K'_c tabelado e ajustado. Quando considerado a variação diária do conteúdo de água no solo, K''_c mostrou amplitude elevada ($0 \leq K''_c \leq 1,23$) (Fig. 1b). Durante o estágio inicial, três eventos de chuva (32, 59 e 60 DAP), contribuíram com 50% (54,4 mm) do acumulado nesse estágio, e dois períodos com ausência de chuva (17 – 30 e 44 – 56 DAP) representaram 45% (27 dias) do total de dias. Essa variação irregular da chuva proporcionou amplitude elevada em K_s (0 – 1) e K_e (0 – 1,08) (Fig. 2b) e por definição em K''_c . Os máximos desses coeficientes ocorreram nos dias com chuvas > 13 mm (59 e 60 DAP) ou posterior (33 DAP), enquanto os mínimos foram observados no final dos períodos sem chuva. Na média K_e correspondeu a 84% de K''_c , ou seja, a evaporação de água do solo predominou. K''_c médio (0,38) se aproximou de K'_c tabelado, e mostrou diferença significativa (98%) em relação ao ajustado. Nesse caso, a diferença entre K'_c e K''_c ocorreu devido à abordagem “único” considerar relevante os efeitos médios da umidade do solo, enquanto a “dual” pondera seus efeitos diários. No estágio de crescimento K''_c variou de 0,05 (102 – 118 DAP) a 1,38 (238 DAP). Do início desse estágio até 163 DAP, K''_c foi na maior parte do período (72,5%) inferior a K_{cb} , o que indicou severo déficit de água no solo. O déficit foi resultado dos períodos contínuos com ausência de chuva e ao aumento da ET_o , o que proporcionou diminuição de K_e e K_s . Dessa data ao final do estágio de crescimento, o padrão de K''_c foi de aumento, mesmo com a diminuição de ET_o . Esse aumento esteve associado ao incremento de K_{cb} e a adequada disponibilidade de água no solo ($K_s = 1$) durante 62% desse período. Contudo, observou-se diminuição de K_e (0,6 – 0,05) em função da diminuição de f_{umd} , relacionado ao fechamento do dossel. $K_{cb} K_s$ (transpiração) representou 69% de K''_c nesse estágio.

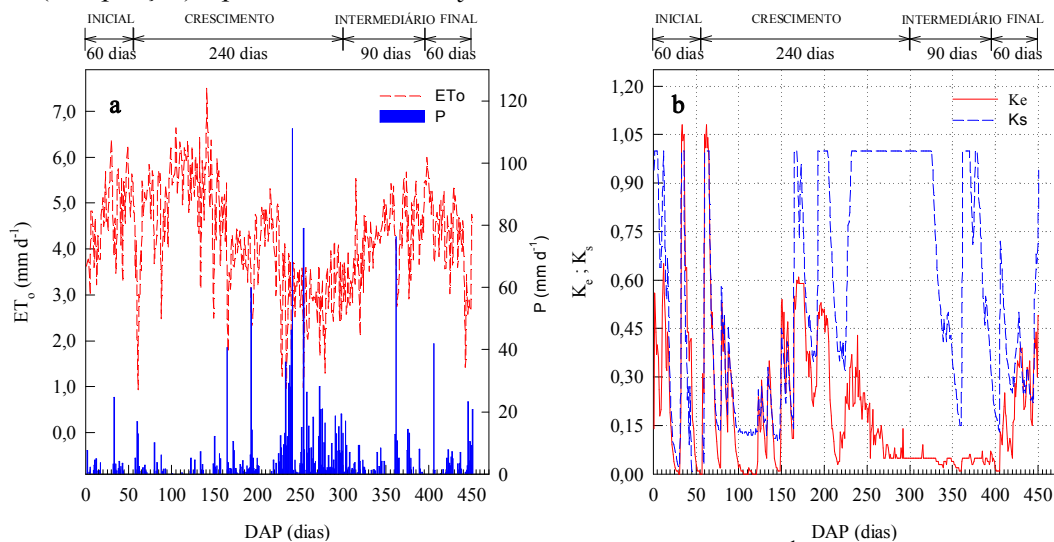


Figura 2 – a) Variação da evapotranspiração de referência (ET_o , mm d^{-1}) e da Precipitação Pluvial (P , mm d^{-1}) e b) dos coeficientes de redução por déficit de água no solo (K_s) e de evaporação da água do solo (K_e) em função aos dias após o plantio (DAP).

As diferenças entre K'_c tabelado no estádio intermediário (1,25) ou final (0,75) e seus respectivos valores ajustados, 1,28 e 0,77, foram em ambos os casos de 3%. Nesses estádios, K'_c é dependente das características da cultura (h) e das condições climáticas (UR_{min} e u_2), devido a cobertura do solo > 70 %. A eq. 1 é mais sensível a u_2 , o que associado a sua média em torno de três vezes ($5,6 \text{ ms}^{-1}$ intermediário e $5,4 \text{ ms}^{-1}$ final) superior ao padrão resultou em K'_c ajustado maior que o tabelado. Isso ocorreu mesmo com as reduções potenciais de h (2,40 e 2,80m) e UR_{min} (72 e 74%), devido aos seus valores inferiores e superiores ao padrão, respectivamente. K_{cb} tabelado e ajustado nesses estádios apresentaram as mesmas diferenças que K'_c , visto que a eq. utilizada no ajuste de ambos é a mesma. No estádio intermediário K''_c variou entre 0,19 (358 DAP) e 1,33 (314 DAP). Na média, K''_c (0,76) foi aproximadamente 41% inferior a K'_c corrigido para esse estádio. Essa diferença ocorreu em função do severo déficit de água no solo ($K''_c < K_{cb}$) em 58,9% (53 dias) do estádio intermediário, o que ponderou K''_c . O déficit foi observado principalmente de 325 DAP ao final desse estádio. Como no inicial, K_{cb} no intermediário é constante, sendo as variações em K''_c dependentes apenas da umidade do solo. Contudo, no intermediário $K_s K_{cb}$ (transpiração) contribuiu com a maior proporção (95,3%) de K''_c , visto que o dossel está completamente fechado. K_e não ultrapassou 0,09 (314 DAP), enquanto K_s variou de 0,15 (358 DAP) a 1 (diversos dias). A tendência de K''_c no estádio final foi de decréscimo, com exceção do seu período final (445 - 450 DAP), devido às chuvas > 20 mm (445 e 450DAP). Os valores de K''_c foram entre 0,16 (404 DAP) e 1,17 (450 DAP). A diminuição em K''_c ocorreu principalmente devido diminuição de K_{cb} e de ET_o . K_s não excedeu 0,94 (450 DAP), sendo na maior parte (82%) desse estádio inferior a 0,50. K_e apresentou aumento (0,01 - 0,49), resultado da maior fração do solo exposto, representando a senescência das folhas. O estresse de água nesse estádio correspondeu 90% do seu comprimento. A participação K''_c em $K_s K_{cb}$ foi de 64%, similar ao estádio de crescimento.

CONCLUSÕES: K'_c e K_{cb} tabelados no boletim FAO-56 não devem ser utilizados sem os ajustes recomendados, particularmente K'_c no estádio inicial. K''_c mostra elevada sensibilidade à disponibilidade de água no solo. No estádio inicial, K''_c apresenta forte dependência de K_e . Enquanto no intermediário, a dependência é basicamente devido a $K_s K_{cb}$.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements. Rome, FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrig. and Drain. Paper, 56).
- LYRA, G.B.; SEDIYAMA, G.C.; LYRA, G.B.; PEREIRA, A.R.; SOUZA, E.F. Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar na região de tabuleiros costeiros do estado de Alagoas: coeficiente da cultura "único" padrão boletim FAO-56. STAB - Açúcar, Álcool e Subprodutos, submetido em agosto de 2006.
- TOLEDO FILHO, M.R. Probabilidade de suprimento da demanda hídrica ideal da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) através da precipitação pluvial na zona canavieira do estado de Alagoas. Piracicaba: ESALQ/USP, 1988. 72 f. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 1988.
- TOLEDO FILHO, M.R. Estudo micrometeorológico de um cultivo de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) em Alagoas. Porto Alegre: UFRG, 2001. 142 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2001.