

## COEFICIENTE DA CULTURA DA CANA-DE-AÇÚCAR NO ESTÁDIO INICIAL DE DESENVOLVIMENTO EM CAMPOS DOS GOYTACAZES, RJ

**Gustavo Bastos Lyra<sup>1</sup>, Evandro Lima da Silveira<sup>2</sup>, Guilherme Bastos Lyra<sup>3</sup>, Carlos Rodrigues Pereira<sup>4</sup>, Leonardo Duarte Batista da Silva<sup>5</sup>, Givanildo Miguel da Silva<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Meteorologista, Prof. D.Sc., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Florestas, Departamento de Ciências Ambientais, Rod. BR 465, Km 7, CEP: 23890-970, Seropédica, RJ. Fone (21) 2682-1128, e-mail: [gblyra@ufrj.br](mailto:gblyra@ufrj.br)

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, Mestrando em Meteorologia Agrícola, Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Agrícola, Viçosa, MG. e-mail: [evandrolsb@yahoo.com.br](mailto:evandrolsb@yahoo.com.br)

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, Prof. D.Sc., Universidade Federal de Alagoas, Centro de Ciências Agrárias, Rio Largo, AL. e-mail: [gbastoslyra@yahoo.com.br](mailto:gbastoslyra@yahoo.com.br)

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Prof. D.Sc., Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia, Niterói, RJ. e-mail: [carrodp@yahoo.com.br](mailto:carrodp@yahoo.com.br)

<sup>5</sup> Eng. Agrícola, Prof. D.Sc., Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Departamento de Engenharia, Seropédica, RJ. e-mail: [irriga@ufrj.br](mailto:irriga@ufrj.br)

<sup>6</sup> Eng. Agrônomo, Bolsista DTI, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ. e-mail: [givatox@hotmail.com](mailto:givatox@hotmail.com)

### 1 RESUMO

O coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento ( $K_{c\_ini}$ ) foi ajustado às condições climáticas de diferentes datas de plantio e texturas de solo em Campos dos Goytacazes, RJ. Na definição das datas de plantio e dos comprimentos dos ciclos consideraram-se as características das variedades, o sistema de cultivo (cana-de-ano e cana-de-ano e meio) e a características de maturação de variedades (precoce, média e tardia) de cana-de-açúcar. No ajuste de  $K_{c\_ini}$  utilizou-se o método analítico proposto no boletim FAO-56, baseado nas condições edafoclimáticas locais (textura do solo, evapotranspiração de referência e precipitação). A evapotranspiração de referência foi estimada pelo método de Hargreaves-Samani, em função da temperatura do ar e da radiação solar no topo da atmosfera. As séries climáticas foram obtidas na estação meteorológica de Campos dos Goytacazes (-21,75°S; -41,33°W e 11 m). As texturas de solo avaliadas foram argiloso e franco-arenoso. As épocas de plantio para cana-de-ano foram setembro, outubro e novembro, enquanto para cana-de-ano e meio fevereiro, março e abril. Os  $K_{c\_ini}$  ajustados para cana-de-ano foram de 2,5 a 35% superiores ao tabelado (0,4) no boletim FAO-56. A exceção foi o plantio de setembro, solo franco-arenoso, que não apresentou diferença em relação ao  $K_c$  tabelado. Para cana-de-ano e meio,  $K_{c\_ini}$  ajustados mostraram diferenças de -30 a 2,5% (precoce), -27,5 a -7,5% (média) e -22,5 a -12,5% (tardia) em relação ao tabelado. Os solos de textura argilosa apresentaram os maiores  $K_{c\_ini}$ .  $K_{c\_ini}$  varia significativamente entre épocas de plantio, características varietais e texturas do solo, sendo necessário ajustá-los a esses fatores.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração da cultura, Hargreaves-Samani, *Saccharum officinarum* L.

**Gustavo Bastos LYRA, G. B.; SILVEIRA, E. L da; LYRA, G. B.; Carlos Rodrigues PEREIRA, C. R.; SILVA, L. D. B. da<sup>5</sup>, SILVA, G. M. da. SUGARCANE CROP COEFFICIENT FOR THE INITIAL GROWTH STAGE IN CAMPOS DOS GOYTACAZES, STATE OF RIO DE JANEIRO, BRAZIL**

## 2 ABSTRACT

The sugarcane crop coefficient in initial growth stage ( $K_{c\_ini}$ ) was adjusted to climate conditions of different planting dates and soil texture in Campos dos Goytacazes, State of Rio de Janeiro, Brazil. The planting dates and growth lengths were defined from varieties characteristics and cropping systems (annual or 18 months) and maturation characteristics (early, medium and late) of sugarcane. The analytic approach proposed in the FAO-56 guideline was used to adjust  $K_{c\_ini}$ . This approach is based in climatic data (rainfall and evapotranspiration) and soil characteristics (texture). The reference evapotranspiration was determined by Hargreaves-Samani method as a function of air temperature and solar radiation at the top of the atmosphere. The climatic series were measured at Brazilian National Weather Institute in Campos dos Goytacazes (-21.75° S; -41.33° W e 11 m). The soil textures considered were Clay and Sandy Loam. The planting dates for annual growing period were September, October and November, and for 18 months growing period were February, March and April.  $K_{c\_ini}$  adjusted for annual period was 2.5 to 35% higher than the tabulated (0.4) in the FAO-56. The exception was September planting, in Sandy Loam soil, which showed no difference from the tabulated value. The  $K_{c\_ini}$  adjusted for the annual and a half period showed differences of -30 to 2.5% (early), -27.5 to -17.5% (medium) and -22.5 to -12.5% (late). The Clay soil texture presented higher  $K_c$  than Sandy Loam texture. The changes in  $K_{c\_ini}$  are results of the planting date, soil texture and varieties characteristics, being recommended theirs adjust.

**Keywords:** Crop evapotranspiration, Hargreaves-Samani, *Saccharum officinarum* L.

## 3 INTRODUÇÃO

A maior parte dos cultivos de cana-de-açúcar no Brasil é em regime de sequeiro. Nesse regime, pode se observar déficit de água para a cultura em determinadas épocas do ano e fases de desenvolvimento, que pode resultar em perdas de produtividade. Nessas condições, o conhecimento dos fatores físicos e climáticos do ambiente de cultivo, que influenciam o crescimento e o desenvolvimento da cultura, subsidia projetos e a definição de práticas agrícolas e seu manejo com vista ao aumento da produtividade (Inman-Bamber & McGlinchey, 2003). Entre esses fatores, destacam-se a distribuição das chuvas e o consumo de água pelas culturas, representado pela evapotranspiração da cultura (Boroomand et al., 2004; Watanabe et al., 2004).

O Boletim de irrigação e drenagem n°56 da FAO (FAO-56) sugere para estimar a evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ) o método do coeficiente da cultura único ( $ET_c = K_c \cdot ET_o$ ), em que,  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência e  $K_c$  um coeficiente empírico da cultura (Allen et al., 1998). Na  $ET_o$  são incorporados os efeitos das condições meteorológicas; enquanto  $K_c$  representa as características (área foliar, arquitetura foliar, cobertura vegetal, altura, entre outras) que diferenciam a cultura analisada da cultura de referência (Allen et al., 1998). Os valores de  $K_c$  para diversas culturas, fases de desenvolvimento e condições climáticas padrões, são tabelados no boletim FAO-56.

Na fase inicial de desenvolvimento, a evaporação contribui com a maior parcela da evapotranspiração (Allen et al., 1998; Lyra et al., 2007b; Lyra et al., 2010). Assim,  $K_c$  nessa fase depende basicamente da magnitude e da frequência dos eventos de molhamento (irrigação ou chuva), do tipo de solo (propriedades físico-hídricas) e da demanda atmosférica ( $ET_o$ ). Nas fases intermediária e final,  $K_c$  depende principalmente de fatores relacionados a cultura (e.g. área foliar, altura da planta) e climáticas (e.g. velocidade do vento e umidade relativa do ar). O coeficiente  $K_c$

varia também com as características intrínsecas de variedades e de práticas de cultivo. Dentre essas características destacam-se o comprimento do ciclo, época de plantio e colheita, nutrição da planta, infestação de doenças e pragas, densidade de plantio, entre outros.

Os fatores relacionados a evaporação do solo induzem elevada variabilidade ao coeficiente de cultivo na fase inicial de desenvolvimento ( $K_{c\_ini}$ ), com extremos entre 0,1 e 1,15 (Allen et al., 1998; Soares et al., 2001; Allen et al., 2005a). No caso da cana-de-açúcar, foram observadas diferenças superiores a 40% entre  $K_{c\_ini}$  tabelado no boletim FAO-56 e os valores ajustados (Lyra et al., 2007a; Santos et al., 2009). Por conseguinte, os coeficientes tabelados não devem ser utilizados na estimativa de  $ET_c$  sem os ajustes para as condições edafoclimáticas locais e características das culturas (Allen et al., 1998), particularmente no estágio inicial (Lyra et al., 2007a; Santos et al., 2009).

No caso de determinações experimentais de  $K_{c\_ini}$ , estas são influenciadas significativamente pelas características físico-hídricas do solo, condições meteorológicas do período experimental, práticas de cultivo e características varietais. Entre os elementos meteorológicos se sobressaem a chuva e os fatores relacionados à evaporação da água do solo. Essas condições durante o período experimental não necessariamente representam as condições climáticas do local. Assim, não se recomenda a utilização de  $K_{c\_ini}$  obtido experimentalmente ou, como citado anteriormente, valores tabelados no boletim FAO-56, para estimar  $ET_c$  em condições diferentes das que foram determinados; particularmente para aplicações que consideram as características médias climáticas, como por exemplo, dimensionamento de projetos de irrigação e drenagem, zoneamento agroclimático e ecológico, análise de risco climático, avaliação de cenários de variabilidade climática, definição de épocas de plantio, entre outros.

Uma alternativa para essas aplicações é o método analítico para estimar  $K_{c\_ini}$  sugerido no boletim FAO-56. O método foi testado em diversas condições climáticas e texturas de solo e mostrou resultados satisfatórios (Allen et al., 2005a). Contudo, o método considera diretamente apenas as condições edafoclimáticas locais, e não características intrínsecas de variedades e práticas de cultivo. No caso da cana-de-açúcar, parte dos fatores relacionados a práticas de cultivo e variedades pode ser representada implicitamente no método analítico ao se considerar o sistema de cultivo (cana-de-ano e cana-de-ano e meio), associado às características de maturação (precoce, média e tardia).

O objetivo do presente trabalho é i) propor um método prático para inclusão das características de maturação e sistemas de cultivo comercial para a cultura de cana-de-açúcar, associadas condições edafoclimáticas, no ajuste do coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial de desenvolvimento pelo método do boletim FAO-56 e ii) a partir do método proposto simular a variação do  $K_{c\_ini}$  para condições climáticas de diferentes datas de plantio e texturas de solo características de Campos dos Goytacazes, Rio de Janeiro.

#### 4 MATERIAL E MÉTODOS

O coeficiente da cultura da cana-de-açúcar no estágio inicial ( $K_{c\_ini}$ ) foi ajustado às condições edafoclimáticas de Campos dos Goytacazes, RJ pelo método analítico descrito no boletim FAO-56 (Allen et al., 1998). Pela classificação climática de Köppen, o clima da região é Aw, ou seja, quente e úmido, com estação chuvosa no verão e inverno seco. No presente estudo, propõem-se a inclusão de características dos sistemas de cultivo e de práticas de manejo comercial no ajuste de  $K_{c\_ini}$ , ao se considerar às épocas de plantio para os cultivos de cana-de-ano e cana-de-ano e meio na região centro-sul do Brasil, associadas com características de maturação de

variedades de cana-de-açúcar, representadas pela variação dos comprimentos médios dos ciclos dessas variedades.

Os comprimentos (L, dias) dos ciclos foram definidos em função das características de maturação (precoce, média e tardia) das variedades (Tabela 1) para cada sistema de cultivo (ano e ano e meio). No caso de cana-de-ano o ajuste se restringiu as características médias de variedades tardias, enquanto para cana-de-ano e meio as características de maturação foram subdivididas em precoce, média e tardia (Cesnik & Miocque, 2004). Nas análises adotou-se regime hídrico de sequeiro para a cultura.

De acordo com o boletim FAO-56 o comprimento do estágio inicial ( $L_{ini}$ , dias) para a cana-de-açúcar, ciclo planta, cultivada na região Tropical representa 12% do ciclo total, ou seja,  $L_{ini} / L = 0,12$ . No ajuste de  $K_{c_{ini}}$ , simularam-se três datas de plantio para cana-de-ano: 15/setembro, 15/outubro e 15/novembro e três para a cana-de-ano e meio: 15/fevereiro, 15/março e 15/abril. As datas de plantio foram baseadas no calendário agrícola da região (Monteiro, 2009). As épocas de plantio e características de maturação foram combinadas com as propriedades físico-hídricas das principais classes texturais do horizonte superficial dos solos que ocorrem na região: franco-arenosa e argilosa (Anjos, 1985).

**Tabela 1.** Épocas de plantio, comprimento (L, dias) médio do ciclo em função do tipo de cultivo (cana-de-ano e cana-de-ano e meio) da cana-de-açúcar ciclo planta e das características médias de maturação (precoce, média e tardia) para a região centro-sul do Brasil

Cultivo	Plantio	Características de Maturação (colheita)		
		Precoce	Média	Tardia
Cana-de-ano	set, out, nov	-----	-----	set, out, nov
	L (dias)	-----	-----	365
Cana-de-ano e meio	fev, mar, abr	abr, mai	jun, jul, ago	set, out, nov
	L (dias)	420	480	570

As séries dos elementos climáticos (temperatura do ar e precipitação pluvial) necessários à estimativa da evapotranspiração de referência e aos ajustes de  $K_{c_{ini}}$  foram obtidas na estação meteorológica de Campos dos Goytacazes (-21,75° S; -41,33° W e 11 m), pertencente ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Os dados de precipitação pluvial foram relativos ao período de 1960 a 1998 (39 anos), e os dados mensais de temperatura do ar média, mínima e máxima, relativos ao período de 1973 a 1989 (15 anos). A  $ET_o$  foi estimada pelo método de Hargreaves-Samani (Samani, 2000) e descrito abaixo (eq. 1). A escolha do método foi função dos dados disponíveis (temperatura do ar mínima, média e máxima) e da sua satisfatória precisão e acurácia para a região Norte Fluminense na escala mensal (Mendonça et al., 2003).

$$ET_o = 0,0135 \cdot K \cdot Q_o \cdot \sqrt{(T_x - T_n)} \cdot (m + 7,8) \quad (1)$$

em que,  $ET_o$  é a evapotranspiração de referência mensal (mm); K é um coeficiente igual a 0,190 para regiões costeiras; e  $T_m$ ,  $T_x$  e  $T_n$  são as temperaturas do ar média, máxima e mínima, respectivamente (°C);  $Q_o$  é a radiação solar no topo da atmosfera, expressa em equivalente de evaporação (mm), determinada pela relação:

$$Q_o = 17,586 \cdot d_r \cdot (\omega_s \cdot \sin\phi \cdot \sin\delta_s + \cos\phi \cdot \cos\delta_s \cdot \sin\omega_s) \quad (2)$$

em que,  $d_r$  é a distância relativa Terra-Sol,  $\omega_s$  é o ângulo horário do pôr-do-sol,  $\varphi$  é a latitude do lugar e  $\delta_s$  é a declinação solar, todos expressos em radianos.  $d_r$  e  $\omega_s$  foram determinados da seguinte forma:

$$d_r = 1 + 0,033 \cos\left(\frac{2\pi}{365} J\right) \quad (3)$$

$$\omega_s = \arccos\left[\frac{\sin \varphi \tan \delta_s}{d_r}\right] \quad (4)$$

em que,  $J$  é o número do dia do ano. A declinação solar foi determinada pela equação:

$$\delta_s = 0,4093 \operatorname{sen}\left(\frac{2\pi}{365} J - 1,405\right) \quad (5)$$

Os valores diários de chuva para cada ano da série foram separados em três períodos para cana-de-ano, com início na data de plantio e término 45 dias após, correspondente ao comprimento da fase inicial de desenvolvimento; e em três períodos para a cana-de-ano e meio com data no início do plantio e término 50, 60 e 70 dias para variedades precoce, média e tardia, respectivamente. Para esses períodos determinaram-se os acumulados e os números de dias com chuva ( $n_w$ ). No caso da determinação da evapotranspiração de referência média diária do estádio inicial utilizou-se a média ponderada entre  $ET_0$  mensal e os dias de cada mês que compreenderam as fases iniciais.

Posteriormente, obteve-se o percentil 75 ( $P_{75}$ ) para as séries de  $ET_0$  e o percentil 25 ( $P_{25}$ ) para o acumulado de chuvas e número de dias com chuva nas diversas épocas de plantio e comprimentos da fase inicial. Assim, considerou-se o maior percentil para o acumulado de chuvas e número de eventos de precipitação e o menor percentil para  $ET_0$ . Desse modo, definiu-se  $K_{c\_ini}$  para condições climáticas extremas. O percentil ( $p_q$ ) corresponde ao valor quantitativo de uma variável aleatória contínua associada a um nível de probabilidade, ou seja, o valor no qual a proporção dos dados é menor e igual ao subscrito  $q$  ( $q$  variando entre 0 e 1), como expresso pela equação abaixo (Santos et al., 2009):

$$P(X \leq x_q) = \int_{-\infty}^{x_q} f(x) dx = q \quad (6)$$

em que,  $X$  é uma variável aleatória contínua,  $F(x)$  sua distribuição de probabilidade e  $q$  (variando entre 0 e 1) é o nível de probabilidade associado ao percentil ( $P$ ).

Os procedimentos e equações do método analítico do boletim FAO-56 (Allen et al., 1998) para ajuste do  $K_{c\_ini}$  considerados no presente trabalho são descritos detalhadamente a seguir:

Durante a fase inicial de desenvolvimento da cultura, a evapotranspiração é predominante na forma de evaporação do solo. Assim, nessa fase, a estimativa de  $K_c$  baseia-se nos estágios de evaporação da água do solo. A evaporação de água do solo foi assumida ocorrer em dois estágios. No estágio 1, conhecido como estágio limitado pela energia disponível, a umidade do solo é suficiente para suprir a taxa potencial de evaporação do solo ( $E_{so}$ , mm), que por sua vez é dada por:

$$E_{so} = 1,15 \cdot ET_o \quad (7)$$

Esse estágio é definido quando o tempo requerido para completá-lo ( $t_1$ ) é maior do que o intervalo médio entre eventos de molhamento ( $t_w$ ). Assim, quando  $t_w \leq t_1$ ,  $K_{c\_ini} = 1,15$ . O  $t_1$  foi estimado pela relação abaixo:

$$t_1 = \frac{AFE}{ET_o} \quad (8)$$

em que, AFE (mm) é a quantidade de água que pode ser facilmente evaporada da camada superficial do solo durante o estágio 1, denominado de água facilmente evaporável. O valor utilizado de AFE foi de 10 mm para solo de textura argilosa e 8 mm para franco-arenosa. Esses valores foram baseados na relação entre textura do solo e propriedades físico-hídricas apresentada no boletim FAO-56 (Allen et al., 1998).

O intervalo médio entre eventos de molhamento ( $t_w$ ) foi determinado em função do comprimento do período inicial ( $L_{ini}$ ) e do número de eventos de molhamento ( $n_w$ ), chuva no presente caso, dado por:

$$t_w = \frac{L_{ini}}{n_w + 1,5} \quad (9)$$

Os dias chuvosos em que a precipitação foi inferior a 20% da  $ET_o$  foram desconsiderados do cálculo de  $t_w$ .

No estágio 2, o transporte de água é incapaz de suprir  $E_{so}$ . Este estágio é definido quando  $t_w > t_1$ , sendo  $K_{c\_ini}$  calculado pela seguinte relação:

$$K_{c\_ini} = \frac{CAE - (CAE - AFE) \exp\left(-\frac{t_w}{t_1}\right) E_{so}}{t_w ET_o} \left[ + \frac{AFE}{(CAE - AFE)} \right] CAE \quad (10)$$

em que, CAE é a capacidade de água evaporável (mm), ou seja, é a lâmina máxima, ou total de água que pode ser evaporada da camada superficial do solo. Os valores de CAE foram obtidos pela relação (Allen et al., 1998; Allen et al., 2005b):

$$CAE = 1000(\theta_{CC} - 1,5\theta_{PM})Z_e \quad (11)$$

em que,  $Z_e$  é a profundidade da camada subsuperficial do solo onde ocorre o processo de evaporação direta da água do solo (0,10 m);  $\theta_{CC}$  e  $\theta_{PM}$  ( $m^3 m^{-3}$ ) são, respectivamente a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente. Para o solo argiloso, consideraram-se os valores:  $\theta_{CC} = 0,36 m^3 m^{-3}$  e  $\theta_{PM} = 0,22 m^3 m^{-3}$ , enquanto para o solo franco-arenoso  $\theta_{CC} = 0,23 m^3 m^{-3}$  e  $\theta_{PM} = 0,11 m^3 m^{-3}$ . Esses valores foram baseados na relação entre textura do solo e propriedades físico-hídricas apresentada no boletim FAO-56 (Allen et al., 1998; Allen et al., 2005a).

Para períodos em que a média de  $ET_o$  foi menor que 5 mm, CAE foi corrigido de acordo com a equação abaixo:

$$CAE = CAE \sqrt{ET_o / 5} \quad (12)$$

Posteriormente, os valores de CAE e AFE foram corrigidos em função da chuva média ( $P_m$ , mm) dos dias com eventos de chuva durante a fase inicial, como segue abaixo:

$$CAE_{cor} = \min [CAE, P_m + W_{ini} / n_w] \quad (13)$$

$$AFE_{cor} = AFE \cdot \min [P_m + V_{ini} / n_w, CAE, 1] \quad (14)$$

em que,  $\min[]$  é uma função que seleciona no interior dos colchetes o menor resultado numérico das equações ou constantes separadas pela vírgula;  $W_{ini}$  ( $m^3 \cdot m^{-3}$ ) é o conteúdo de umidade do solo na época de plantio, sendo seu valor máximo igual a CAE. Dessa forma, considerou-se o solo na sua capacidade máxima, ou seja, igual à CAE. Os valores de CAE e AFE na equação (10), foram substituídos pelos respectivos  $CAE_{cor}$  e  $AFE_{cor}$  das equações (13) e (14) para obtenção do  $K_{c\_ini}$  ajustado.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de  $K_{c\_ini}$  ajustados para cana-de-ano (Tabela 2) foram em torno de 5% (argiloso, setembro) a 32,5% (argiloso, novembro) superiores ao valor tabelado no boletim FAO-56 para cana planta cultivada na região Tropical (0,40). Apenas o  $K_{c\_ini}$  ajustado para o plantio em setembro, considerando as características físico-hídricas de solos de textura franco-arenosa, não apresentou diferença com relação ao valor tabelado. Entre os meses de plantio houve aumento gradual dos valores de  $K_{c\_ini}$  a partir do plantio de setembro. Independente do solo, as maiores diferenças entre épocas de plantio consecutivas foram observadas entre setembro e outubro, com incremento de 23% no valor de  $K_{c\_ini}$ , para o solo argiloso e de 17% para o solo franco-arenoso.

**Tabela 2.** Valores ajustados do coeficiente da cultura da cana-de-açúcar para o estágio de desenvolvimento inicial ( $K_{c\_ini}$ ) em função das características de maturação tardia, data de plantio e texturas de solos predominantes na região de Campos dos Goytacazes, RJ

Textura	Plantio		
	setembro	outubro	Novembro
Franco-Arenoso	0,40	0,49	0,52
Argiloso	0,42	0,49	0,53

O aumento de  $K_c$  entre as épocas de plantio foi condicionado, principalmente, pelo aumento da precipitação pluvial acumulada (magnitude) e do número de dias com chuva (frequência) no estágio inicial com o atraso do plantio de setembro para novembro. Essas condições proporcionaram aumento da precipitação média por evento ( $P_m$ ) e diminuição do intervalo de tempo entre eventos de molhamento ( $T_w$ ), como apresentado na Tabela 3. A exceção foi o número de dias com chuva entre outubro e novembro, com aumento de apenas um dia, o que resultou em aumento de  $T_w$  inferior a 3%. O aumento de  $K_c$  ocorreu mesmo com o aumento da evapotranspiração de referência do plantio de setembro para novembro, condição na qual seria esperado diminuição de  $K_{c\_ini}$ . No presente caso, o aumento de  $ET_o$  apenas restringiu maior aumento de  $K_c$  com o atraso do plantio, devido aos demais fatores (magnitude e frequência da chuva) se sobressaírem para o aumento de  $K_c$ .

**Tabela 3.** Número de dias com chuva (N), intervalo médio entre os eventos de precipitação ( $T_w$ ), precipitação média (Pm) e evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para a fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar, cultivo cana-de-ano, características médias de maturação tardia em função da data de plantio na região de Campos dos Goytacazes, RJ.

Plantio	N (dias)	$T_w$ (dias)	Pm (mm)	$ET_o$ (mm)
Set	10	4,3	6,8	4,9
Out	13	3,5	8,2	5,5
Nov	12	3,6	10,0	5,9

Baseado no método analítico do boletim FAO-56, quando a evaporação da água do solo encontra-se no estágio 2, à medida que a frequência e a magnitude das chuvas aumentam, ou seja, menor intervalo de tempo entre eventos de chuva e maior a chuva média por evento, considerando uma demanda de água para atmosfera (representada por  $ET_o$ ) constante, a evaporação da água da superfície do solo aumenta. O aumento na evaporação resulta em incremento de  $K_{c\_ini}$ . De forma inversa, quando se observa diminuição da frequência e magnitude das chuvas, a evaporação de água direta do solo decresce e  $K_{c\_ini}$  tende a ser menor. Contudo, para um mesmo acumulado de chuva no período, se sua frequência aumenta, a média por evento diminui e, dessa forma,  $K_{c\_ini}$  diminui (Allen et al., 1998; Allen et al., 2005a; Allen et al., 2005b). No caso da evaporação encontrar-se no estágio 1, o método considera  $K_{c\_ini}$  constante e igual a 1,15.

Para condição de aumento de  $ET_o$ , e considerando constante a frequência e magnitude da chuva, o tempo que a evaporação da água do solo permanece no estágio 1 diminui. Ao iniciar o estágio 2,  $K_{c\_ini}$  diminui com o aumento da evaporação da água do solo. O estágio 1 é restringido apenas pela energia disponível à superfície para o processo de evaporação, enquanto o estágio 2 é dependente da água disponível no solo. O efeito combinado da frequência e magnitude de chuva com a evapotranspiração é indicado pelo intervalo entre eventos de molhamento. Se esse for maior que o intervalo entre eventos de chuva, a evaporação da água do solo passa do estágio 1 para o estágio 2, e assim  $K_{c\_ini}$  diminui (Allen et al., 1998; Soares et al., 2001; Allen et al., 2005a; Allen et al., 2005b).

Entre as épocas de plantio para a cana-de-ano, apesar de aumento de  $ET_o$ -média no estágio inicial com o atraso do plantio, a chuva média por evento também mostrou incremento. Nesse período, o número de eventos de chuva do plantio de setembro foi maior em relação a outubro, sendo de apenas um dia a variação entre outubro e novembro. Assim, mesmo com o potencial de diminuição de  $K_c$  devido o aumento de  $ET_o$ , as maiores magnitudes e frequências da chuva se sobressaíram para proporcionar o aumento do  $K_{c\_ini}$  com o atraso do plantio.

Para cana-de-ano e meio, variedades precoces, os valores de  $K_{c\_ini}$  ajustados foram em torno de 30% inferiores (franco-arenoso, plantio em fevereiro) a 2,5% superiores (plantio em março, argiloso) ao valor tabelado no FAO-56 (Tabela 4). Para as variedades médias e tardias os valores ajustados foram sempre inferiores ao tabelado, sendo de -27,5 (franco-arenoso, fevereiro) a -7,5% (argiloso, março e abril) para as médias, enquanto para as tardias os valores foram entre -22,5 (fevereiro, franco-arenoso) e -12,5% (março, argiloso). As maiores diferenças em relação ao  $K_{c\_ini}$  tabelado foram observadas quando considerado o plantio em fevereiro, para o solo de textura franco-arenosa com características de maturação precoce, sendo também os menores valores absolutos de  $K_c$  ajustados para o estágio inicial, no presente trabalho.

Independente das características de maturação e da textura do solo observou-se aumento de  $K_{c\_ini}$  do plantio de fevereiro para março. Essa tendência de aumento foi mantida do plantio de

março em relação a abril, nas variedades precoces e textura do solo argilosa. Contudo, para as mesmas características de maturação, sendo a textura do solo franco-arenosa,  $K_c$  entre os plantios de março e abril não apresentaram diferenças. A não diferença entre essas datas de plantio foi observada também para as variedades médias para ambos os solos. No caso das variedades tardias, o  $K_{c\_ini}$  entre os plantios de março e abril mostraram diminuição.

**Tabela 4.** Valores ajustados do coeficiente da cultura inicial ( $K_{c\_ini}$ ) para cana-de-ano e meio em função da data de plantio, características de maturação (precoce, média e tardia) e texturas de solos predominantes na região de Campos dos Goytacazes, RJ

Maturação	Textura	Plantio		
		fevereiro	março	abril
Precoce	Franco-Arenosa	0,28	0,38	0,38
	Argilosa	0,31	0,40	0,41
Média	Franco-Arenosa	0,29	0,35	0,35
	Argilosa	0,31	0,37	0,37
Tardia	Franco-Arenosa	0,31	0,34	0,31
	Argilosa	0,33	0,35	0,33

A  $ET_0$  média do período inicial de todas as variedades apresentou tendência de diminuição com o atraso do plantio de fevereiro para abril, sendo a taxa de variação mensal de  $ET_0$  similar para todas as variedades (Tabela 5). Baseado apenas nesse padrão de variação de  $ET_0$  seria de se esperar aumento de  $K_{c\_ini}$ , o que foi observado para o atraso do plantio da cana-de-ano e meio de fevereiro para março em todas as variedades e texturas de solo. Contudo, o período entre eventos de chuva aumentou do plantio de março para abril, o que associado com a diminuição da precipitação média da fase inicial entre essas épocas de plantio, resultou em diminuição (variedades tardias) ou não diferença (variedades média e precoce, solo franco-arenoso) do  $K_{c\_ini}$  do plantio de março e abril. A exceção foi para as variedades precoces no solo de textura argilosa, que mostrou aumento de 2,5%.

**Tabela 5.** Número de dias com chuva (N), intervalo médio entre os eventos de precipitação ( $T_w$ ), precipitação média (Pm) e evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) para a fase inicial de desenvolvimento da cana-de-açúcar, cultivo cana-de-ano e meio, em função da data de plantio e das características médias de maturação (precoce, média e tardia) na região de Campos dos Goytacazes, RJ

Maturação	Plantio	N (dias)	$T_w$ (dias)	Pm (mm)	$ET_o$ (mm)
Precoce	Fev	9	5,6	6,6	5,5
	Mar	11	4,5	6,6	4,7
	Abr	10	5,0	5,6	3,8
Média	Fev	12	4,8	5,8	5,3
	Mar	12	4,8	6,5	4,7
	Abr	12	5,0	5,1	3,8
Tardia	Fev	15	4,7	6,3	5,2
	Mar	16	4,4	5,7	4,5
	Abr	13	5,4	4,7	3,7

Santos et al. (2009) ajustaram  $K_{c\_ini}$  pelo método analítico proposto no boletim FAO-56 para cana planta em regime de sequeiro nas condições edafoclimáticas dos Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas para quatro datas de plantio. Em três dessas datas de plantio, as diferenças entre  $K_{c\_ini}$  ajustado e tabelado no boletim FAO-56 (> 40%) foram, em módulo, superiores as observadas no presente trabalho, e entre 0,24 e 1,15. Lyra et al. (2007a), para a mesma região e cultura, observaram diferenças superiores a 88% entre os valores ajustados pelo método gráfico apresentado no boletim FAO-56 e o valor tabelado, em função de duas datas de plantio. Os  $K_{c\_ini}$  ajustados por Lyra et al. (2007a) foram de 0,75 e 0,90.

As maiores diferenças observadas para a região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas em relação às determinadas para o Norte Fluminense estão relacionadas, principalmente, à diferente sazonalidade das chuvas e da  $ET_o$  nessas regiões. No caso de Alagoas, o início do plantio ocorre em parte no período úmido, que coincide com os de menores valores de  $ET_o$ . Assim a cultura passa a maior parte do tempo no estágio de evaporação 1 e, dessa forma,  $K_{c\_ini}$  superior ao tabelado no boletim FAO-56. Enquanto no Norte Fluminense, o período úmido coincide com o de maiores valores de  $ET_o$ , e dessa forma o solo permanece menos tempo no estágio 1 de evaporação.

Nas condições edafoclimáticas do Irã, Boroomand et al. (2004) observaram  $K_{c\_ini}$  para a cultura da cana-de-açúcar, ciclo soca, de 0,64, enquanto que para a Austrália, Inman-Bamber & McGlinchey (2003) encontraram valores de  $K_c$  em torno de 0,5 no início do ciclo da cultura de cana-de-açúcar, em condições de não restrição de umidade do solo. Esses valores são próximos aos ajustados no presente trabalho para as condições edafoclimáticas do Norte Fluminense, mas inferiores aos obtidos por Lyra et al. (2007a) e Santos et al. (2009). Watanabe et al. (2004) obteve valores para  $K_c$  da cana-de-açúcar no estágio inicial entre aproximadamente 0,1 e 0,9, em cultivo em região semi-árida do nordeste da Tailândia.

A elevada amplitude dos valores de  $K_{c\_ini}$  apresentados na literatura está associada à sensibilidade da sua determinação em função da energia disponível a superfície, textura do solo e, particularmente, a frequência e magnitude das chuvas durante o seu período de obtenção. Assim torna-se difícil a comparação direta entre os valores da literatura e os do presente trabalho.

Entre os solos, os maiores valores de  $K_{c\_ini}$  foram observados nos de textura argilosa. Esse resultado foi função das características físico-hídricas que diferem esses dos solos de textura franco-arenosa. Dentre essas características destaca-se a capacidade de armazenamento de água

dos solos. Em geral solos argilosos têm maior capacidade de armazenamento de água que os solos de textura arenosa, o que implica em maior disponibilidade de água para a cultura, de forma que, após o evento de molhamento, esses permanecem mais tempo no estágio 1 de evaporação (Allen et al., 1998; Soares et al., 2001; Allen et al., 2005a; Allen et al., 2005b). Tendência análoga foi observada por Soares et al. (2001) que avaliaram o modelo de Ritchie (Ritchie, 1972) para três texturas de solo (fina, franco-arenosa e grossa) combinadas com diferentes lâminas de irrigação e por Allen et al. (2005a) para três diferentes texturas de solo avaliados por modelo proposto no próprio trabalho.

## 6 CONCLUSÕES

No ajuste do coeficiente da cultura no estágio inicial pelo método analítico proposto no boletim FAO-56, além de se considerar as características edafoclimáticas de determinado local e época do ano, é necessário considerar práticas de cultivo e características varietais.

Sob as mesmas condições climáticas e de molhamento, o método analítico do boletim FAO-56 representa de forma satisfatória as diferenças entre texturas de solo e as variações de  $K_{c\_ini}$ , com maiores  $K_{c\_ini}$  em solos de textura fina em relação aos de textura grossa.

Nas condições edafoclimáticas de Campos do Goytacazes, com o atraso do plantio da cana-de-ano ocorre aumento do coeficiente de cultivo do estágio inicial. Para cana-de-ano e meio apenas para o atraso do plantio de fevereiro para março observa-se padrão de aumento, o que representa maior consumo potencial de água pela cultura.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA

ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. Rome: FAO, 1998. 300 p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R. G.; PRUITT, W. O.; RAES, D.; SMITH, M.; PEREIRA, L. S. Estimating evaporation from bare soil and the crop coefficient for the initial period using common soils information. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**. v. 14, n. 1, p. 14-23, 2005a.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; SMITH, M. RAES, D.; WRIGHT, L. FAO-56 Dual crop coefficient method for estimating evaporation from soil and application extensions. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 13, n. 1, p. 1-13, 2005b.

ANJOS, L. H. C. **Caracterização, classificação e aptidão agrícola de uma seqüência de solos do terciário na região de Campos dos Goytacazes, RJ**. 1985. 211 f. Dissertação (Mestrado em Solos) - Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica.

BOROOMAND, O; Ali KASHKULI, H.; KHALEDIAN, M. R. Estimation of crop coefficients for sugarcane (ratoon) in Haft Tappeh of Iran. In: ANNUAL MEETING OF THE AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS, 1., 2004, St. Joseph. **Anais eletrônicos...** St. Joseph: ASAE, 2004. Disponível em: <<http://asae.frymulti.com/abstract.asp?aid=16470&t=2>>

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: EMBRAPA Informação Tecnológica. 2004, 307 p.

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**, v. 83, n. 2, p. 125–138, 2003.

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**, v. 25, n.4, p.40 – 43, 2007a.

LYRA, G. B.; PEREIRA, A. R.; LYRA, G. B.; SEDIYAMA, G. C.; MAIA, S. M. F. Evapotranspiração da cultura de cana-de-açúcar na região de Tabuleiros Costeiros do estado de Alagoas: coeficiente da cultura “dual” padrão boletim FAO-56. **STAB – Açúcar, Álcool e subprodutos**, v. 25, n.5, p. 44 – 51, 2007b.

LYRA, G. B.; SOUZA, J. L.; TEODORO, I.; LYRA, G. B.; MOURA FILHO, G.; ARAÚJO JÚNIOR, R. F. Conteúdo de água no solo em cultivo de milho sem e com cobertura morta na entrelinha na região de Arapiraca-AL. **Irriga**, v.15, p. 173 – 183, 2010.

MENDONCA, J. C.; SOUSA, E. F.; BERNARDO, S.; DIAS, G. P.; GRIPPA, S. Comparação entre métodos de estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) na região Norte Fluminense, RJ.. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 7, n. 2, p. 275-279, 2003.

MONTEIRO, J. E. B. A. **Agrometeorologia dos cultivos: O fator meteorológico na produção agrícola**. 1ª ed. Brasília, DF: INMET. 2009, 530 p.

RITCHIE, J.T. Model to predicting evaporation from a row crop with incomplete cover. **Water Resource Research**, v.8, n. 5, p.1204-1213, 1972.

SAMANI, Z. Estimating solar radiation and evapotranspiration using minimum climatological data. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v. 126, n. 4, p. 265-267, 2000.

SANTOS, M. A.; LYRA, G. B.; LYRA, G. B., SOUZA, J. L. S.; SEDIYAMA, G. C. Coeficiente da cultura no estágio inicial de desenvolvimento para cana-de-açúcar em diferentes datas de plantio na região de Tabuleiros Costeiros de Alagoas. **STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v. 27, n. 6, p. 30–33, 2009.

SOARES, W. R.; SEDIYAMA, G. C.; RIBEIRO, A.; COSTA, J. M. N. Dependência do coeficiente de cultura no estágio inicial de desenvolvimento ( $K_{c_{ini}}$ ) à lâmina de irrigação e textura do solo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.5, n.1, p.23-27, 2001.

WATANABE, K.; YAMAMOTO, T.; YAMADAC, T.; SAKURATANI, T.; NAWATA, E.; NOICHANA, C.; SRIBUTTA, A.; HIGUCHI, H. Changes in seasonal evapotranspiration, soil water content, and crop coefficients in sugarcane, cassava, and maize fields in Northeast Thailand. **Agricultural Water Management**, v. 67, n.1, p. 133–143, 2004.