

## COEFICIENTE DE CULTIVO DA CANA-DE-AÇÚCAR UTILIZANDO A RAZÃO DE BOWEN

**BARBARA DOS SANTOS ESTEVES<sup>1</sup>; ELIAS FERNANDES DE SOUSA<sup>2</sup>; JOSÉ CARLOS MENDONÇA<sup>3</sup>; LIDIANE DE LIMA LOUSADA<sup>1</sup>; CLAUDIO ROBERTO MARCIANO<sup>4</sup>; DAVID PESSANHA SIQUEIRA<sup>5</sup>**

<sup>1</sup>Engenheira Agrônoma, doutoranda em Produção Vegetal, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro - UENF. barbarase@gmail.com; delimalousada@yahoo.com.br

<sup>2</sup>Professor Doutor, Laboratório de Engenharia Agrícola, Bolsista de produtividade do CNPq, UENF. efs@uenf.br;

<sup>3</sup>Professor Doutor, Laboratório de Engenharia Agrícola, UENF. mendonca@uenf.br

<sup>4</sup>Professor Doutor, Laboratório de Solos, UENF. marciano@uenf.br

<sup>5</sup>Graduando de Engenharia Agrônômica, UENF. david\_pessanha007@hotmail.com

### 1 RESUMO

O objetivo deste trabalho foi determinar o coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) da cana-de-açúcar cultivada num Cambissolo, pela metodologia do balanço de energia/razão de Bowen ( $\beta$ ), utilizando-se critérios de exclusão de dados inconsistentes. Uma estação micrometeorológica foi instalada sobre um cultivo comercial em uma área de 13 hectares em Campos dos Goytacazes, região Norte Fluminense. A  $ET_c$ , obtida a partir da razão de Bowen foi considerada para efeito da determinação do  $K_c$ , quando o solo se encontrava dentro do limite de manejo da água no solo e os valores de  $\beta$ , considerados fisicamente consistentes. Cerca de 62% dos dados avaliados foram classificados como aceitáveis para serem utilizados na estimativa da evapotranspiração de cultura, utilizando-se a razão de Bowen. Os valores médios do  $K_c$  obtidos pelo método Balanço de energia/razão de Bowen foram 0,79, 0,90, 1,25 e 1,04 respectivamente, para as fases de estabelecimento, perfilhamento, desenvolvimento dos colmos e maturação. A evapotranspiração total de cultura obtida no ciclo de cultivo da cultura foi de 1.088,19 mm.

**Palavras-chave:** evapotranspiração, balanço de água no solo, déficit hídrico, razão de Bowen.

**ESTEVES, B. dos S.; SOUSA, E. F. de; MENDONÇA, J. C.; LOUSADA, L. de L.; MARCIANO, C. R.; SIQUEIRA, D. P.**  
**CROP COEFFICIENT OF SUGARCANE USING THE BOWEN RATIO**

### 2 ABSTRACT

The objective of this study was to determine the crop coefficient ( $K_c$ ) of sugar cane grown in Cambisol by the energy balance/Bowen ( $\beta$ ) ratio methodology and the criteria of exclusion of inconsistent data. A micrometeorological station was installed in a sugar cane commercial farming, in an area of 13 ha in Campos dos Goytacazes, Norte Fluminense region, RJ state, Brazil.  $ET_c$  obtained from the Bowen ratio was used to determine  $K_c$  when the soil was within the limit of water management and values of  $\beta$  were physically consistent. Approximately 62% of the evaluated data were classified as acceptable to be used for crop

evapotranspiration estimates using the Bowen ratio. Mean values of  $K_c$  by the energy balance/Bowen ( $\beta$ ) ratio methodology were 0.79, 0.90, 1.25 and 1.04, for the establishment, tillering, stem development and maturation stages, respectively. Total evapotranspiration of the crop obtained in the sugarcane growing cycle was 1088.19 mm.

**Keywords:** Evapotranspiration, soil water balance, water deficit, Bowen ratio.

### 3 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar está entre as principais culturas produzidas no Brasil. Na região Norte Fluminense, especialmente no município de Campos dos Goytacazes, a cana-de-açúcar é a principal atividade agrícola (GARCIA & SILVA, 2010), sendo um fator significativo que influencia diretamente sua produtividade a disponibilidade hídrica. HENRIQUE & DANTAS (2007) citam que na agricultura, informações quantitativas da evapotranspiração são de grande importância na avaliação da severidade, distribuição e frequência dos déficits hídricos, elaboração de projetos e manejo de sistemas de irrigação e drenagem.

Ao redor do mundo e no Brasil vários pesquisadores (SILVA et al., 2011; SAVAGE et al., 2009, OLIVEIRA et al., 2009; ZHANG et al., 2008; LIMA et al., 2005, PEREZ et al., 1999) têm se dedicado ao estudo da contabilização do processo de evapotranspiração a partir do método do balanço de energia. Métodos micrometeorológicos quantificam os fluxos energéticos e permitem avaliar as transformações da energia radiante em calor latente de vaporização. O conhecimento da demanda atmosférica, para o fluxo de calor latente, fornece subsídios necessários ao planejamento pelo uso racional da água (FARIAS et al., 2004).

O método do balanço de energia utilizando a razão de Bowen ( $\beta$ ) é um método micrometeorológico comumente usado na estimativa da evapotranspiração e tem sido amplamente empregado em uma grande variedade de condições de campo (ZHANG et al., 2008), inclusive para a determinação dos coeficientes de cultivo ( $K_c$ ). Conceitualmente, o valor de  $\beta$  representa a relação entre os fluxos de calor sensível ( $H$ ) e latente ( $LE$ ).

Dados relativos à condição de umidade do solo de um determinado local, que traduz sua disponibilidade hídrica às plantas também podem ser relacionados ao processo evapotranspiratório. BOGNOLA et al., (2010) citam que no solo, a água ocupa parte dos espaços porosos formados do arranjo físico das partículas da fase sólida, sendo a parte restante ocupada, de forma complementar pela fase gasosa. Os mesmos autores citam ainda que as propriedades físicas do solo são importantes componentes de sua produtividade, uma vez que influenciam a aeração, a capacidade de armazenamento de água e sua disponibilidade para as plantas.

Desta forma, este trabalho teve por objetivo obter o coeficiente de cultura simples ( $K_c$ ) em função da disponibilidade hídrica do solo, pelo uso do balanço de energia/ razão de Bowen ( $\beta$ ), utilizando-se critérios de exclusão de dados inconsistentes em um cultivo de cana-de-açúcar sobre um Cambissolo, no Norte Fluminense.

### 4 MATERIAIS E MÉTODOS

#### a) Caracterização da área do experimento

O experimento foi conduzido numa área de 13 hectares da Fazenda Partido, pertencente à Empresa Feliz Terra Agrícola, em Campos dos Goytacazes, RJ (coordenadas geográficas: 21°48'17,1" sul e 41°16'28,8" oeste, referidas ao *datum* WGS84, altitude local de 9 m). A variedade da cana-de-açúcar utilizada foi a SP81-3250, plantada em um espaçamento de 1,5 m, estando na ressoça de 3° corte. As fases fenológicas da cana-de-açúcar consideradas foram: estabelecimento (até 60 dias após o corte - DAC); perfilhamento (dos 61 aos 110 DAC); desenvolvimento dos colmos (entre 111 a 240 DAC) e maturação (241 DAC em diante). Segundo a classificação de Köppen, o clima é do tipo Aw, ou seja, tropical úmido com verão chuvoso e inverno seco, sendo a temperatura do mês mais frio superior a 18 °C. As médias anuais de precipitação, temperatura e umidade relativa do ar são respectivamente, iguais a 1.023 mm, 24°C e 77 %.

Para a descrição morfológica, classificação e obtenção dos atributos físico-hídricos do solo foi aberta uma trincheira na área experimental, a cerca de 200 m da estação micrometeorológica, sendo retiradas amostras com estrutura deformada e indeformada, até 1,5 m de profundidade, sendo os resultados analíticos apresentados na Tabela 1. O solo foi classificado como Cambissolo Háptico Tb Eutrófico típico (EMBRAPA, 2006).

**Tabela 1.** Espessura, frações granulométricas (areia, silte e argila), densidade (Ds), densidade das partículas (Dp), porosidade total (PT), macroporosidade (Ma), microporosidade (Mi), capacidade de campo (CC), ponto de murcha permanente (PMP) e água disponível (AD), obtidos para os horizontes (Hor) e subhorizontes (Subhor) identificados na descrição morfológica do perfil do solo da área experimental.

Hor/ (*)	Subhor	Espessura	Areia	Silte	Argila	Ds	Dp	PT	Ma	Mi	CC	PMP	AD
		(cm)	-----( $\text{g kg}^{-1}$ )-----			-( $\text{Mg m}^{-3}$ )-		-----( $\text{m}^3 \text{m}^{-3}$ )-----					
	Ap	0-15	351,9	306,5	342	1,42	2,58	0,45	0,02	0,43	0,42	0,28	0,14
	A2	15-35	212,6	379,5	408	1,54	2,60	0,41	0,00	0,41	0,41	0,32	0,09
	Bi1	35-70	184,7	436,6	378,7	1,53	2,70	0,43	0,00	0,43	0,43	0,34	0,09
	Bi2	70-95	161,2	465,8	373,0	1,34	2,74	0,51	0,02	0,50	0,49	0,35	0,14
	Bi3	95-130	103,4	400,5	496,1	1,29	2,80	0,54	0,04	0,50	0,49	0,39	0,10
	C	130-150 <sup>+</sup>	319,9	360,2	320,0	1,32	2,80	0,53	0,05	0,48	0,47	0,35	0,11

(\*) Horizonte superficial A, formado pelos subhorizontes Ap e A2 (onde “p”, do inglês “plow” (= arado), denota camada cultivada); horizonte subsuperficial B, formado pelos subhorizontes Bi1, Bi2 e Bi3 (onde “i” denota “incipiente” desenvolvimento, que caracteriza a classe “Cambissolo”); e horizonte C (ou camada C), sem evidência de processo pedogenético (Obs.: O sinal “+” após a espessura esta última camada indica que esta se estende além da profundidade citada).

## b) Estação micrometeorológica

Na área do experimento foi instalada, no dia 12 de outubro de 2009, uma estação micrometeorológica contendo os seguintes sensores: 1 saldo radiômetro (NR Lite); 2 piranômetros LI 200 (X-Li-cor); 2 termohigrômetros HMP45C-L; 2 anemômetros Met One

(RM Young); 3 fluxímetros HFP01SC-L (Hukseflux). Todos os dados foram coletados a cada minuto e armazenados em valores médios a cada 15 minutos por um coletor de dados (datalogger) CR21X, da Campbell Scientific. As hastes horizontais foram dispostas sobre o dossel da cultura a 0,50 m (1ª haste) e a 2,5 m (2ª haste), as quais foram elevadas de acordo com o crescimento da cultura. Junto à estação, foi instalado um pluviômetro registrador da Squitter do Brasil, com 0,25 mm de sensibilidade.

### c) Balanço de água no solo

Para obtenção da lâmina atual de água no solo utilizaram-se os princípios do balanço hídrico, apresentados na Equação 1:

$$LAA_{atual} = LAA_{anterior} + P - ETR_{anterior} \quad (1)$$

em que:  $LAA_{atual}$  é a lamina atual de água no solo, no dia em questão, em mm;  $LAA_{anterior}$  é a lamina atual de água no solo, no dia anterior, em mm;  $P$  é a precipitação, em mm, e  $ETR_{anterior}$  é a evapotranspiração real do dia anterior, em  $mm\ d^{-1}$ , sendo apresentada na Equação 2:

$$ETR = ETo * Kc * Ks \quad (2)$$

em que:  $Kc$  = Coeficiente de cultura,  $Ks$  = coeficiente de umidade do solo.

A evapotranspiração de referência ( $ETo$ ) foi estimada pelo método de Penman-Monteith parametrizado pela FAO (ALLEN et al., 1998).

Para a determinação dos valores de  $Kc$  utilizou-se as tabelas de  $Kc$  simples propostos pela FAO (ALLEN et al., 1998), cujo valor da fase inicial (0,40) foi corrigido pelo método gráfico em função do intervalo de tempo entre os eventos de chuva e a magnitude da  $ETo$ , sendo no valor de 0,8. Os valores do  $Kc$  dos estádios intermediário e final foram corrigidos pela Equação 3:

$$Kc = Kc_{Tabelado} + [0,04(U_2 - 2) - 0,004(UR_{minima} - 45)] \left(\frac{h}{3}\right)^{0,3} \quad (3)$$

em que,  $Kc$  tabelado =  $Kc$  tabelado para cana-de-açúcar,  $UR$  min = Umidade relativa do ar mínima,  $U_2$  = velocidade do vento, em  $m\ s^{-1}$ , a 2 m de altura e  $h$  = Altura do dossel vegetativo da cultura. O valor corrigido para a fase intermediária foi de 1,2 e para a fase final, 0,67.

O parâmetro  $Ks$  foi obtido segundo BERNARDO (1995), representado na Equação 4:

$$Ks = \frac{\ln((UA - PMP) + 1)}{\ln((CC - PMP) + 1)} = \frac{\ln(LAA + 1)}{\ln(CRA + 1)} \quad (4)$$

em que:  $UA$  é o teor de umidade atual do solo, em mm;  $LAA$  é a lâmina atual de água no solo, em mm;  $CRA$  é a capacidade real de água no solo, em mm;  $CC$  é a capacidade de campo, em mm; e  $PMP$  é o ponto de murcha permanente, em mm.

Nos cálculos da equação 4, todas as vezes em que a lamina atual de água no solo apresentou valores acima do limite superior de água no solo (capacidade de campo) a lâmina excedente foi computada como escoamento superficial.

Após a colheita da cana-de-açúcar (antes do início do experimento), foi aplicada a lâmina total de 90 mm de vinhoto, diluído a 2% de potássio, deixando o solo com umidade elevada. Por conta deste fato, assumiu-se que o solo estava na capacidade de campo no início do período do experimento. Após o período inicial não houve outros eventos de irrigação, sendo o cultivo conduzido em sequeiro. O limite de manejo de água no solo foi estabelecido de acordo com a profundidade efetiva das raízes, que nos primeiros 90 dias, encontra-se distribuído nos primeiros 30 cm do solo (CASAGRANDE, 1991). Após este período inicial a profundidade efetiva considerada foi de 50 cm.

#### d) Determinação da ETc através do método do Balanço de Energia e critérios de exclusão de dados

O fluxo de calor latente (LE) foi determinado a partir da Equação 5:

$$LE = \frac{(Rn - G)}{(1 + \beta)} \quad (5)$$

onde: LE é o fluxo de calor latente; Rn é o saldo de radiação; e G é o fluxo de calor do solo, todos em MJ m<sup>-2</sup>d<sup>-1</sup>. Para se obter o valor de  $\beta$  foi utilizada a Equação 6:

$$\beta = \gamma \frac{(\Delta T)}{(\Delta e)} \quad (6)$$

em que:  $\gamma$  é um parâmetro psicrométrico,  $\Delta T$  e  $\Delta e$  são, respectivamente, as diferenças da temperatura do ar (°C) e da pressão de vapor (kPa). Os valores de  $\gamma$  e da pressão de vapor no ar (e), necessários a obtenção de  $\beta$ , foram calculados de acordo com Allen et al. (1998).

A partir dos critérios propostos por PEREZ et al. (1999) os dados inconsistentes de  $\beta$  foram excluídos. Na Tabela 2 está apresentado o resumo de classes de erros gerados pelo método do balanço de energia razão de Bowen.

**Tabela 2.** Resumo das classes de erros gerados pelo método do balanço de energia razão de Bowen (Perez et al., 1999).

Classes de erro	Condição
A	(Rn-G) > 0, $\Delta e > 0$ e $\beta < -1 +  \epsilon $
B	(Rn-G) > 0, $\Delta e < 0$ e $\beta > -1 -  \epsilon $
C	(Rn-G) < 0, $\Delta e > 0$ e $\beta > -1 -  \epsilon $
D	(Rn-G) < 0, $\Delta e < 0$ e $\beta < -1 +  \epsilon $
E	Mudanças rápidas na Temperatura e pressão de vapor

De forma adicional foi utilizado o critério de ORTEGA-FARIAS et al. (1996), em que desconsiderou-se os valores de  $\beta < -0,75$ . Assumiu-se a evapotranspiração da cultura (ETc) igual ao fluxo de calor latente (Equação 7).

$$ETc = \frac{LE}{\lambda} \quad (7)$$

em que:  $ET_c$  é a evapotranspiração de cultura;  $LE$  é o fluxo de calor latente; e  $\lambda$  é o calor latente de vaporização da água.

O  $K_c$  pelo método da razão de Bowen foi obtido pela Equação 8.

$$K_c = \frac{ET_c}{ET_o} \quad (8)$$

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### a) Características de solo e condições meteorológicas do período

O solo analisado tem grande capacidade de reter água, apresentando também baixa porosidade total e predomínio de microporosidade, indicando adensamento das primeiras camadas, até 0,70 m (Tabela 1). Os cambissolos são solos cujas condições desfavoráveis, tanto físicas quanto mineralógicas, influenciam no adensamento natural, nas características morfológicas, na restrição à infiltração de água e lixiviação ao longo do perfil (PEREIRA et al., 2010). Por outro lado, BOGNOLA et al. (2010) afirmam que um solo com dominância de microporosidade tem mais poros saturados, facilitando os fluxos de massa e difusão dos nutrientes, mas com menor circulação do ar e com oxigenação deficiente. SILVA et al. (2005b), comparando efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas em Argissolos, afirmaram que os sistemas de manejo com cana-de-açúcar influenciaram as propriedades físicas do solo, resultando em aumento da densidade com conseqüente redução do volume de macroporos e aumento dos microporos, em relação a um solo da mata nativa da região de Boca da Mata, Alagoas.

Na Tabela 3, estão apresentados os valores médios diários da temperatura, da velocidade do vento, da umidade relativa e da radiação solar para cada estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar, obtidos na área experimental, no período de outubro de 2009 até junho de 2010.

**Tabela 3.** Valores médios diários da temperatura ( $T$ , °C), velocidade do vento ( $V_v$ ,  $m\ s^{-1}$ ), umidade relativa ( $UR$ , %) e radiação solar ( $R_s$ ,  $W\ m^{-2}$ ) para cada estágio de desenvolvimento da cana-de-açúcar, na área experimental.

Fases	T	VV	UR	Rs
Estabelecimento	24,96	3,14	81,40	190,68
Perfilhamento	26,35	2,27	78,10	215,47
Desenvolvimento vegetativo	26,60	2,18	75,42	239,93
Maturação	20,98	1,55	79,82	125,08

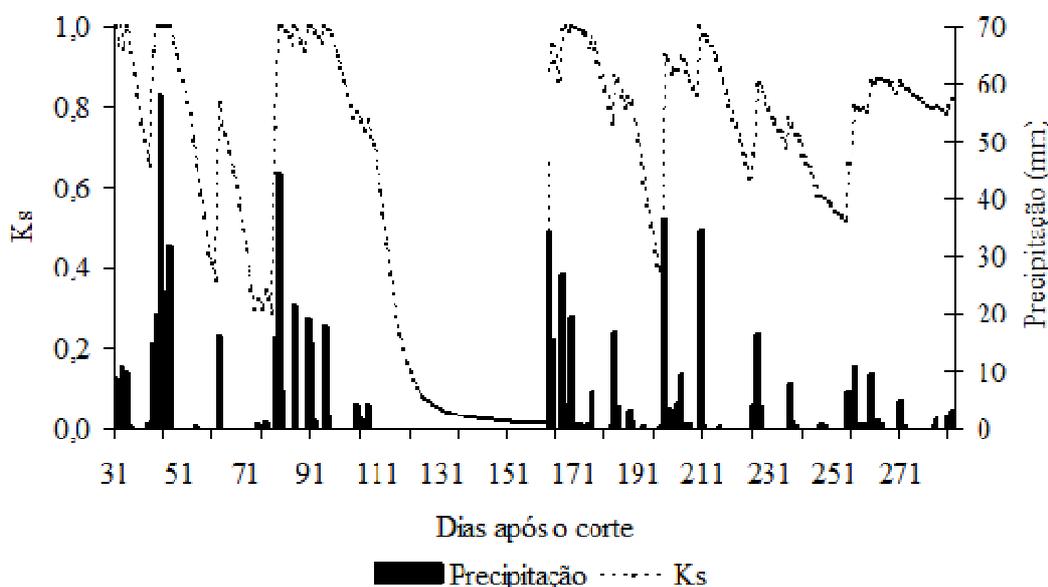
Na Tabela 4 pode-se constatar que as médias climáticas estão dentro da faixa ótima de desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar, segundo DOOREMBOS e KASSAM (1979), na região Norte Fluminense. A temperatura se reduziu na fase de maturação, sendo este fator favorável à diminuição da taxa de crescimento e maior acúmulo de sacarose (MARCHIORI,

2004). Os parâmetros climáticos analisados são de grande importância para análise da demanda hídrica da cultura, já que são condicionantes da evapotranspiração.

### b) Evapotranspiração e consumo hídrico

Na Figura 1 estão apresentadas a evolução das chuvas e a variação do balanço hídrico na camada dos primeiros 50 cm, durante o ciclo produtivo da cana-de-açúcar.

**Figura 1.** Precipitação e variação do Ks na área experimental ao longo do ciclo de desenvolvimento da cana-de-açúcar (outubro de 2009 até junho de 2010), variedade SP81-3250, Campos dos Goytacazes, RJ.



Percebe-se que a chuva máxima ocorrida foi de 58,00 mm, na fase de estabelecimento da cultura, mantendo o Ks elevado, neste período. Pode-se observar que dos 110 aos 165 DAC, na fase de desenvolvimento vegetativo da cana-de-açúcar, não ocorreram precipitações resultando em valores próximos de zero em relação à disponibilidade hídrica do solo.

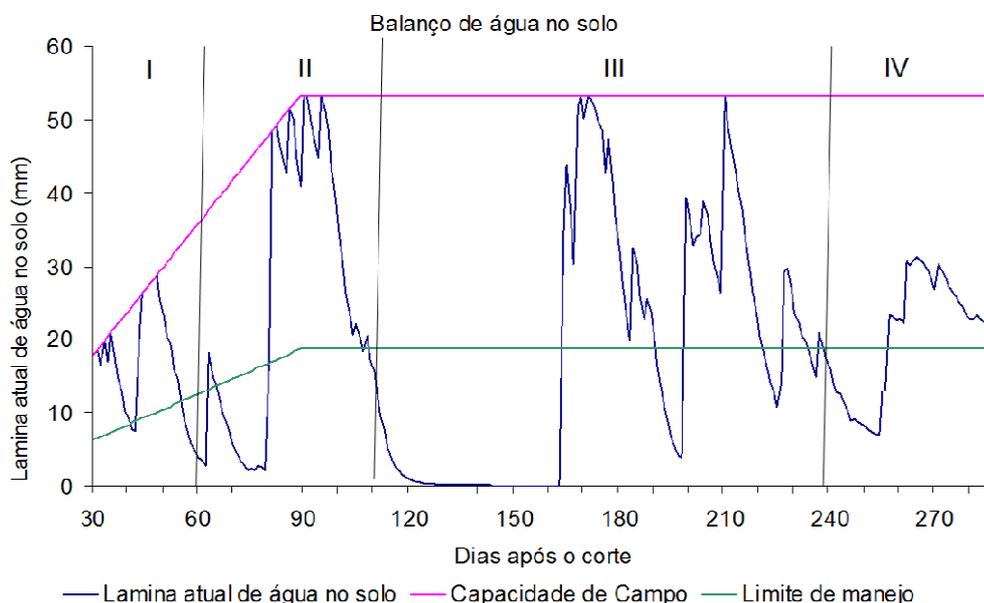
A produtividade de culturas em sequeiro depende, inevitavelmente, da quantidade, da distribuição e da intensidade das chuvas (SILVA et al., 2009). Percebe-se que o suprimento hídrico, de uma forma geral, ficou abaixo do desejável para a cultura da cana-de-açúcar, sendo o valor total da chuva de 664,25 mm. ALMEIDA et al. (2008) citam que uma precipitação pluvial anual a partir de 1.000 mm, bem distribuída, é suficiente para a obtenção de altas produções, sem utilização da irrigação. A evapotranspiração potencial total foi de 1.013,63 mm e a evapotranspiração de cultura total, obtida através do Kc tabelado corrigido pelas equações propostas no FAO 56, foi de 1.088,19 mm. A evapotranspiração potencial média diária foi de 3,95 mm d<sup>-1</sup>.

A obtenção de resultados satisfatórios com a razão de Bowen requer gradientes de temperatura e, principalmente, de vapor de água. Tais condições, normalmente, são obtidas em áreas úmidas sob ventos com velocidades maiores do que 2,0 m s<sup>-1</sup>. Nesta situação o  $\beta$  tende a se aproximar de zero. Como comentado por PEREZ et al. (1999), sob baixos gradientes de vapor de água, originários de baixa velocidade do vento ou de déficit hídrico no

solo, a razão de Bowen tende a valores elevados inviabilizando a metodologia. Segundo SILVA et al. (2005), a estimativa da evapotranspiração, obtida pela razão de Bowen, pode ser influenciada também pela ausência de gradiente de temperatura e umidade em períodos chuvosos. Segundo SAVAGE et al. (2009), o principal causador de erro total em LE é o erro na medição do gradiente de pressão de vapor de água. O erro nessa medição pode ser devido à sensibilidade dos instrumentos. Levando-se em consideração todos estes aspectos, observou-se que 62% dos dados analisados durante o ciclo da cana-de-açúcar obtiveram o  $\beta$  consistente fisicamente. Estes resultados ficaram próximos aos encontrados por SILVA et al. (2011), que estudando a razão de Bowen em uma área canavieira irrigada do semi-árido nordestino obtiveram 62,7% dos dados considerados consistentes. SILVA et al. (2007) concluíram que a utilização dos critérios de análise e exclusão de intervalos em que o método da razão de Bowen não são consistentes, melhora a qualidade dos dados, permitindo verificar diferenciação na evapotranspiração da cultura nos períodos de análise.

A determinação do Kc da cana-de-açúcar, utilizando-se a razão de Bowen, foi realizada para os dias em que o solo se encontrava dentro do limite de manejo da água no solo, representando os períodos em que a cultura não estava sofrendo estresse hídrico, e em que o  $\beta$  foi considerado consistente. Na Figura 2 está apresentado o balanço de água no solo da área experimental.

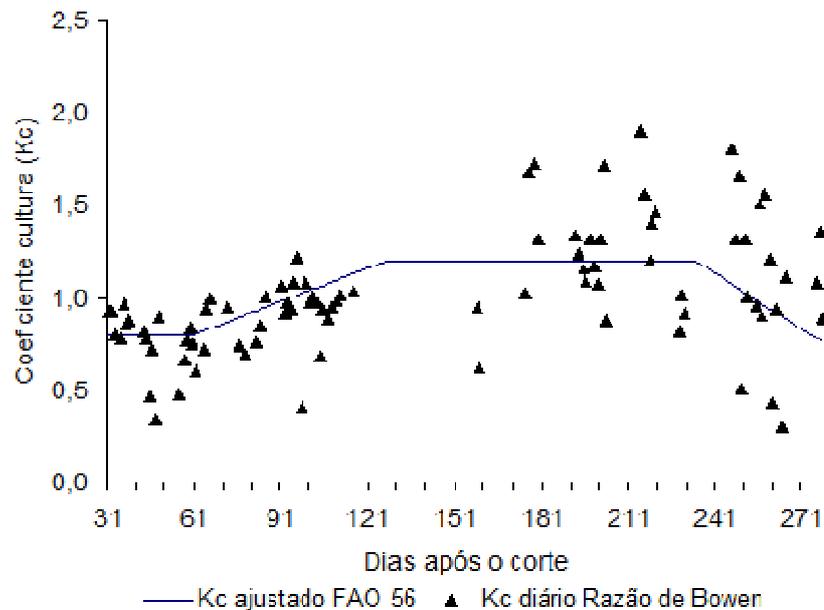
**Figura 2.** Evolução da lâmina de água no solo durante o período experimental em um cultivo de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ, de outubro de 2009 até junho de 2010 (I – estabelecimento; II – perfilhamento; III – desenvolvimento dos colmos e IV - maturação).



Observa-se que nas fases de estabelecimento e perfilhamento foram encontrados 36 dias em que o solo estava na capacidade de campo; na fase de desenvolvimento dos colmos foram 23 dias; e durante a fase de maturação não se observou nenhum dia na condição da capacidade de campo. Na Figura 3 está apresentada a evolução do Kc tabelado corrigido FAO 56 e os valores do Kc obtidos pelo método da razão de Bowen.

Para as fases de estabelecimento e de perfilhamento os Kcs médios obtidos pela razão de Bowen foram, respectivamente de 0,79 e 0,90. Na fase de desenvolvimento dos colmos houve um período de 55 dias sem precipitação, como já mencionado. Neste período o solo esteve abaixo do limite de manejo, refletindo a lacuna observada na Figura 3.

**Figura 3.** Evolução do coeficiente cultural da cana-de-açúcar (SP81-3250) durante o ciclo produtivo (outubro de 2009 até junho de 2010).



Em relação ao Kc obtido pelo método do balanço de energia observou-se o valor médio de 1,25, para os dias em que foi possível se obter o LE. Para o período de maturação o valor médio foi de 1,04. TOLEDO FILHO (1988), trabalhando com a cana-planta e a cana-soca determinou o Kc para Alagoas, região com clima semelhante ao da área de estudo, obtendo os valores de 0,25, 1,65 e 1,18, para a fase inicial, desenvolvimento vegetativo e maturação, respectivamente. COSTA (2009) obteve no período de 2007 a 2008, para Campos dos Goytacazes em cultivo irrigado por gotejamento, valores do Kc de 0,55, na fase inicial, 0,8 a 1,05 para a fase intermediária e 0,9 e 0,8, para a fase final. Observa-se que o Kc tabelado corrigido FAO 56 para a fase de estabelecimento foi de 0,8; o valor médio interpolado para a fase de perfilhamento foi de 0,96; para a fase de desenvolvimento dos colmos o valor obtido foi de 1,20; e para a fase de maturação o valor interpolado médio foi de 0,93, sendo valores próximos aos obtidos pela metodologia do balanço de energia/razão de Bowen.

## 6 CONCLUSÕES

A evapotranspiração total da cultura obtida para a cana-de-açúcar foi de 1.088,19 mm. Cerca de 62% dos dados avaliados foram classificados como aceitáveis para serem utilizados na estimativa da evapotranspiração de cultura, utilizando-se a razão de Bowen. Os valores médios do Kc obtidos a partir do método da razão de Bowen foram os seguintes: na fase estabelecimento de 0,79; na de perfilhamento 0,90; na fase de desenvolvimento dos colmos 1,25; e na fase maturação 1,04.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop requirements**. Rome, 301p. 1998. FAO Irrigation and Drainage Paper 56.
- ALMEIDA, C.S.A.; SOUZA, J.L.; TEODORO, I. BARBOSA, G.V.S.; FILHO, G.M.; JUNIOR, R.A.F. Desenvolvimento vegetativo e produção de variedades de cana-de-açúcar em relação à disponibilidade hídrica e unidades térmicas. **Ciência Agrotecnica**, Lavras, v. 32, p. 1441-1448, 2008.
- BERNARDO, S. Manual de irrigação. 6ª ed. Viçosa: UFV, Imprensa Universitária, 657p, 1995.
- BOGNOLA, I.A.; DEDECEK, R.A.; LAVORANTI, O.J.; HIGA, A. R. Influência de propriedades físico-hídricas do solo no crescimento de *Pinus taeda*. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 30, p. 37-49. 2010.
- CASAGRANDE, A.A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal, FUNEP. 157p, 1991.
- COSTA, J.A.B. **Competitividade da agroindústria canavieira na Região Norte Fluminense**. 2009. 165f. (Tese de doutorado em Produção Vegetal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes.
- DOOREMBOS, J.; KASSAM, A.H. **Efectos del agua sobre el rendimiento de los cultivos**. Roma: FAO, 212p. (FAO, Riego y Drenaje, 33). 1979.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2.ed. Rio de Janeiro, 306p. 2006.
- FARIAS, S.E.M.; MEIRELLES, M.L.; FRANCO, A.C.; NOGUEIRA, J.L.M.; GUERRA, A.F.; MANZI, A.O. Balanço de Energia em Cultivo de Milho no Cerrado. **Revista Brasileira Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 12, p. 227-233, 2004.
- GARCIA, R. F.; SILVA, L. S. Avaliação do corte manual e mecanizado de cana-de-açúcar em Campos dos Goytacazes, RJ. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.18, n.3, p. 234-240, 2010.
- HENRIQUE, F. A. N. e DANTAS R.T. Estimativa da evapotranspiração de referência em Campina Grande, Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.11, p.594-599, 2007.
- LIMA, J.R.S.; ANTONINO, A.C.D.; SOARES, W.A.; BORGES, E.; SILVA, I.F.; LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em um solo cultivado com feijão caupi no brejo paraibano.

**Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.9, p.527-534. 2005.

MARCHIORI, L.F.S. **Influência da época de plantio e corte na produtividade da cana-de-açúcar**. 2004. 273f. (Tese de doutorado em Fitotecnia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

OLIVEIRA, I.A.; LIMA, J.R.S.; SILVA, I.F.; ANTONINO, A.C.D.; NETO, G.C.G.; LIRA, C.A.B.O. Balanço de energia em mamona cultivada em condições de sequeiro no Brejo Paraibano. **Revista Brasileira de Ciências Agrárias**, Recife, v.4, p.185-191. 2009.

ORTEGA-FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 81, p. 131-143. 1996.

PEREIRA, T.T.C.; KER, J.C.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; NEVES, J.C.L.; ALMEIDA, C.C. Gênese de latossolos e cambissolos desenvolvidos de rochas pelíticas do grupo Bambuí – Minas Gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 34, 1283-1295. 2010.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBÁÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.97, p.141-150. 1999.

SAVAGE, M.J.; EVERSON, C.S.; METELERKAMP, B.R. Bowen ratio evaporation measurement in a remote montane grassland: Data integrity and fluxes. **Journal of Hydrology**, Amsterdam-New York, v.376, 249–260. 2009.

SILVA, T.G.F., MOURA, M.S.B, ZOLNIER, S.; SOARES, J. M.; SOUZA, L.S.B.; BRANDÃO, E.O. Variação do balanço de radiação e de energia da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.15, p.139–147. 2011.

SILVA, L.L.; COSTA, R.F.; CAMPOS, J.H.B.C.; DANTAS, R.T. Influência das precipitações na produtividade agrícola no Estado da Paraíba. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.13, n.4, p.454–461. 2009.

SILVA, T.J.A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, C.R.; ALVES JÚNIOR, J.; BONFIM-SILVA, E. M. Balanço de energia e estimativa da evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.27, p.392-403. 2007.

SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V.; VILLA NOVA, N.A. Evapotranspiração do capim tanzânia obtida pelo método de razão de Bowen e lisímetro de pesagem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v.25, p.705-712. 2005.

SILVA, A.J.N.; CABEDA, M.S.V.; LIMA, J.F.W.F. Efeito de sistemas de uso e manejo nas propriedades físico-hídricas de um Argissolo Amarelo de tabuleiro costeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v.29, p.833-842. 2005b.

TOLEDO FILHO, M.R. **Probabilidade de suprimento da demanda hídrica ideal da cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) através da precipitação pluvial na zona canavieira do estado de Alagoas**. 1988. 72f. (Dissertação de mestrado em Agronomia) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

ZHANG, B.; KANG, S.; LI, F.; ZHANG, L. Comparison of three evapotranspiration models to Bowen ratio-energy balance method for a vineyard in an arid desert region of northwest China. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.148, p.1629-1640. 2008.