



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros* **Relações hídricas e coeficiente de cultivo em canavial irrigado<sup>1</sup>**



*Daniel S. P. Nassif<sup>2</sup>; Fábio R. Marin<sup>3</sup>; Leandro G. Costa<sup>4</sup>*

<sup>1</sup>Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, São Paulo, Brasil

<sup>2</sup>Eng. Agrônomo, Doutor, ESALQ-USP, (19) 3447-8519, dspnassif@gmail.com

<sup>3</sup>Eng. Agrônomo, Prof. Associado, ESALQ-USP, fabio.marin@usp.br

<sup>4</sup>Eng. Agrônomo, Doutorando, ESALQ-USP, legarcosta@gmail.com

**RESUMO:** As mudanças climáticas globais e a expansão da cultura da cana-de-açúcar para regiões com menor suprimento hídrico elevaram a importância de estimativas consistentes das necessidades de água da cultura. Na tentativa de contribuir nesse campo, o presente trabalho buscou analisar o consumo hídrico da cana-de-açúcar em três diferentes escalas espaciais: folha, planta e dossel. Foram realizadas medidas de evapotranspiração do dossel pelo método do balanço de energia-razão de Bowen (MRB) e de transpiração das plantas por meio do balanço de calor nos colmos (BC) e das folhas com um analisador de gás à infravermelho (IRGA). Duas áreas experimentais foram utilizadas, sendo a primeira com a variedade CTC 12, na safra 2011/2012, irrigada por gotejamento subsuperficial; a segunda área com a variedade RB867515, irrigada por aspersão por meio de um pivô central, na safra 2012/2013. O acoplamento planta-atmosfera também foi avaliado. As análises do MRB indicaram um fluxo de calor latente médio de 70% da energia disponível no ambiente, com 25% de fluxo de calor sensível e 5% no fluxo de calor no solo. Com a mesma metodologia a evapotranspiração da cultura média (ETc) foi estimada em 3,92 e 3,25 mm dia<sup>-1</sup> para as variedades CTC 12 e RB867515, respectivamente, resultando em um coeficiente de cultura (Kc) médio de 1,37, na fase de pleno desenvolvimento vegetativo. No período experimental, o canavial permaneceu mais acoplado à atmosfera ( $\Omega$  médio=0,37) e a transpiração avaliada pelo BC chegou a 4,7 e 3,62 mm dia<sup>-1</sup>, respectivamente para CTC 12 e RB867515. A metodologia do IRGA resultou em perda de água ao nível foliar da faixa de até 1 mm h<sup>-1</sup>. Conforme a demanda atmosférica, o Kc da cultura apresentou-se variável em função da evapotranspiração de referência (ETo).

**PALAVRAS-CHAVE:** Kc, fator de desacoplamento, condutância estomática, evapotranspiração

### **Water relations and crop coefficient on irrigated sugarcane crop**

**ABSTRACT:** Global climate change and the sugarcane crop expansion to regions with lower water supply became more important the real estimate of crop water requirements. This study aimed to contribute on this regard by analyzing the sugarcane water consumption at three different spatial scales: leaf, plant and canopy. Bowen ratio energy balance (BREB) method was performed to measure crop canopy evapotranspiration and the transpiration were measured with sap flow by stem heat balance for plant scale and infra-red gas analyzer (IRGA) for leaf scale. Two experimental sites were used: the first with CTC 12 cultivar and drip irrigation, on 2011/2012 season; in the second experiment the RB867515 variety was grown under sprinkler irrigation by a central pivot, on the 2012/2013 growing season. The plant-atmosphere decoupling factor was also evaluated. BREB method showed latent heat flux representing 70% of the available energy, 25% for sensible heat flux, and 5% for soil heat flux. BREB crop evapotranspiration (ETc) ranged from 3.92 to 3.25 mm day<sup>-1</sup> for CTC 12 and RB867515, respectively, resulting in a mean crop coefficient (Kc) of 1.37 at the full vegetative growth stage. In the experimental period, sugarcane crop was coupled to the atmosphere ( $\Omega=0.37$ ) and transpiration assessed



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



by HB reached 4.7 and 3.62 mm day<sup>-1</sup> for CTC 12 and RB867515, respectively. IRGA method showed a leaf water loss up to 1 mm h<sup>-1</sup>. Kc varied with reference evapotranspiration (ET<sub>o</sub>).

**KEYWORDS:** Kc, decoupling factor, stomatal conductance, evapotranspiration

## INTRODUÇÃO

A discussão em torno das mudanças climáticas globais, a alta nos preços do petróleo e do açúcar e o aumento da demanda interna por etanol, estão entre os principais fatores que impulsionaram a expansão da cultura da cana-de-açúcar desde o início deste século. O etanol vem sendo reconhecido mundialmente como combustível renovável com grande potencial comercial. O Brasil, por sua vez, tem atraído atenção mundial por causa do sucesso de seu programa de energia baseado largamente no uso do etanol, do bagaço e da palha de cana-de-açúcar. Segundo Manzatto et al. (2009), grande parte da área para a expansão do cultivo da cana-de-açúcar poderá ocorrer em áreas de pastagens degradadas principalmente na região Centro-Oeste, onde é necessária a suplementação parcial da demanda hídrica da cultura. Na região Nordeste do Brasil, o clima e os solos rasos também tornam a irrigação recomendável e na região Sudeste, a irrigação, de modo geral, não é uma prática imprescindível, mas pode ser viável em algumas regiões. Para tanto, a obtenção de informações básicas sobre a demanda hídrica da cultura é um requisito importante para estimativas menos incertas sobre a necessidade de água da cultura, tendo em vista o planejamento e tomada de decisão em sistemas de irrigação.

Alguns autores já estudaram a necessidade hídrica da cultura da cana-de-açúcar, encontrando resultados diversos quanto ao coeficiente de cultura (Kc), com desvio padrão de até 150% (SANTOS, 2005). Possivelmente, tal variabilidade deve-se à influência de fatores determinantes sobre a perda de água nos canais, e que nem sempre são mensurados em estudos sobre consumo hídrico. Um deles é o fator de desacoplamento atmosfera-vegetação, que se mostrou uma variável de influência em sistemas agrícolas com cobertura descontínua do terreno (MARIN et al., 2005; MARIN e ANGELOCCI, 2011), mas cuja abordagem não foi devidamente aplicada para culturas com cobertura contínua do terreno. Segundo Jarvis e McNaughton (1985) a extrapolação de resultados experimentais sobre o consumo hídrico em plantas pode inserir incerteza no processo em decorrência da passagem de escala. Assim, na tentativa de reduzir esta fonte de incerteza e oferecer subsídios consistentes ao aprimoramento do manejo da irrigação em canais, uma opção é utilizar um conjunto de técnicas de medida em diferentes escalas dentro do canal, justificando o presente trabalho.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Foram conduzidas duas áreas experimentais em Piracicaba/SP (22,67°S; 47,64°O; 530 m), ambas classificadas como Cwa pela classificação de Koeppen, com duas variedades de cana-de-açúcar em dois ciclos diferentes. A primeira área experimental (AE1) foi conduzida com a variedade CTC 12, de primeira soqueira, com plantio em fevereiro de 2010 em espaçamento de linhas duplas (0,5 x 1,5 m) em uma área de 3 hectares, com irrigação por gotejamento subsuperficial. A segunda área experimental (AE2) foi conduzida na safra 2012/2013 em área de 2 hectares com a variedade RB867515, com plantio realizado em Outubro de 2012, espaçamento de 1,4 m plenamente irrigada por meio de aspersão por pivô central. Foram coletados dados meteorológicos (temperaturas máxima e mínima, chuva, umidade relativa do ar, velocidade e direção do vento, radiação solar global) em ambos experimentos durante o ciclo da cultura com uma estação automática.

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

Em ambas áreas experimentais foi inserida uma torre onde foram instalados dois psicrômetros de ventilação forçada (MARIN et al., 2001), com diferença de altura de 1 metro entre eles, sendo que ambos estavam localizados sempre na camada limite ajustada do canal, a 0,5 m acima do dossel, acompanhando o crescimento da planta (Allen et al., 2011). OS cadarços de algodão, utilizados no termopar úmido, foram trocados a cada 10 dias no período mais chuvoso (fevereiro à abril) e a cada 5 dias no período mais seco (maio e junho). Os reservatórios de água dos psicrômetros foram limpos e reabastecidos com água destilada a cada 2 ou 3 dias. Foi instalado um saldo radiômetro a 3 m acima do dossel do canal e dois sensores de medida de fluxo de calor no solo, localizados na linha e entrelinha do canal, enterrados a 2 cm de profundidade. Os dados foram coletados por um sistema automático de aquisição de dados, marca Campbell Scientific Inc. (LOGAN, UTAH, EUA), modelo CR3000. As medidas foram realizadas entre os dias 30 de abril de 2011 e 31 de dezembro de 2011 na AE1 e 14 de fevereiro de 2013 e a colheita das parcelas, ocorrida em 20 de junho de 2013 na AE2. Uma bordadura de 85 e 110 metros foi respeitada entre o início do canal e a torre de medidas nas AE1 e AE2, respectivamente, com a finalidade de obter-se bordadura adequada. Quando os ventos fossem originários de quadrantes onde não ocorresse uma bordadura suficiente, os dados foram descartados.

Os valores da razão de Bowen ( $\beta$ ), foram calculados através da metodologia empregada por Marin et al. (2005) para cada intervalo de 15 minutos, com base nos valores de gradientes de temperatura ( $\Delta T$ ). Conforme Righi (2004), o MRB pode apresentar incoerência em seus valores. Os dados foram avaliados conforme metodologia desenvolvida por Perez et al. (1999) em que os autores descrevem as condições para que os dados coletados apresentem consistência física, evitando assim erros de estimativas causadas por problemas de advecção ou do equipamento. Nos períodos em que os resultados apresentaram tal incoerência, interpolou-se a partir dos valores anterior e posterior, desde que não ocorridos em períodos contínuos superiores a 2 horas de dados incoerentes. Nos casos em que intervalos maiores que 2 horas não apresentaram dados consistentes, todo o conjunto de dados do referido dia foi descartado. Os dados foram integrados somente no período diurno, por objetivar-se a escala diária de resultados.

A evapotranspiração de referência  $ET_0$  ( $\text{mm dia}^{-1}$ ) foi determinada com o uso do método proposto pelo boletim da FAO 56 (ALLEN et al, 1998), sendo uma metodologia adaptada do método de Penman-Monteith, conforme equação 1:

$$ET_0 = \frac{0,408 \cdot S(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T_a + 273} u_2 (e_s - e_a)}{s + \gamma(1 + 0,34 \cdot u_2)} \quad (1)$$

em que  $s$  é a tangente a curva de pressão de saturação de vapor no ar,  $Rn$  é o saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $G$  é o fluxo de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ),  $T_a$  é a temperatura média diária ( $^{\circ}\text{C}$ ),  $u_2$  é a velocidade do vento a 2m ( $\text{m s}^{-1}$ ),  $e_s - e_a$  é o déficit de pressão de saturação médio diário (kPa) e  $\gamma$  é a constante psicrométrica. O  $G$  foi estimado conforme sugerido por Wright e Jensen (1972).

A determinação da transpiração pelo fluxo de seiva foi feita pelo método do balanço de calor, com sensores Dynamax Inc. (HOUSTON, TEXAS, EUA). Como constituição básica, esses sensores possuem uma jaqueta térmica para dissipação de calor, de um fluxímetro de termopilha para quantificação do fluxo radial e de junções de termopar de cobre-constantan convenientemente dispostas para medir o fluxo de calor axial por condução no colmo (SAKURATANI, 1981; MARIN et al., 2008).

Foram utilizados 4 sensores Dynamax na AE1 e 3 na AE2, instalados nos colmos da cana-de-açúcar, na região dos entrenós, afim de evitar a brotação das gemas do colmo. Primeiramente foram selecionados entrenós mais cilíndricos, para obtenção de perfeito contato do equipamento com o colmo, em seguida foi feita a retirada da palhada ao redor do mesmo e depois um lixamento suave para remoção da cerosidade presente no colmo da cultura. Para garantir um perfeito contato entre o sensor de fluxo de

***O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros***

seiva e o colmo, foi feita a colocação de pasta térmica em torno do entrenó escolhido, após o lixamento, diretamente no tecido da planta e, em volta da pasta térmica, foi passado filme plástico alimentício e em seguida instalado o sensor de fluxo de seiva no colmo. Para evitar qualquer interferência da incidência de radiação solar com aquecimento dos sensores nas medições, a área onde o sensor estava instalado foi revestida com papel aluminizado e por cima com uma manta térmica impermeável utilizada em construções civis.

Para a obtenção do fluxo de seiva (FS), foi utilizada a equação 2, conforme Sakuratani e Abe (1985):

$$FS = \frac{Pi - Qa - Qr}{dT * cp} \quad (9)$$

em que, *FS* é o fluxo de seiva em  $\text{kg s}^{-1}$ ; *Pi* é a potência aplicada (W); *Qa*(*Qs*+*Qi*) é o fluxo em watts de energia dissipada axialmente; dados pela soma dos fluxos axiais superior (*Qs*) e inferior (*Qi*); *Qr* é o fluxo de energia dissipada radialmente; *dT* é a diferença de temperatura entre a extremidade superior e inferior do sensor e *cp* é o calor específico da água ( $4,186 \cdot 10^{-3} \text{ J kg}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ ).

A transpiração por colmo ( $\text{L colmo}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) foi estimada integrando-se o resultado do FS para todo dia. Posteriormente, com a área foliar de cada colmo, foi feita estimativa da perda de água por metro quadrado de folha por dia e, multiplicando-se este último valor pelo IAF da área em questão, foi encontrado o consumo de água pela cultura em mm. A área média de folhas de cada colmo foi de  $0,34 \text{ m}^2 \text{ planta}^{-1}$  para ambas as áreas experimentais

Um analisador de gás por infravermelho (ADC) (IRGA do inglês *Infra Red Gas Analyser*) foi utilizado para a determinação da condutância estomática à difusão de vapor (*gs*), taxa de transpiração (*E*), taxa de fotossíntese (*A*), temperatura da folha (*Tf*) e radiação fotossinteticamente ativa incidente nas folhas (*Qleaf*). As medidas foram realizadas na AE2 em 10 plantas escolhidas aleatoriamente dentro do canal, sempre ocorrendo na folha +1. Durante as medidas, as mesmas folhas foram utilizadas para todos os horários durante o dia. As medições foram realizadas no período das 9 horas até o escurecer dos dias, com a finalidade de obtenção de curvas diárias de resposta da cultura em épocas diferentes.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Durante o período de coleta de dados na AE2, observou-se que o fluxo de calor sensível (*H*) foi de aproximadamente 13% da energia disponível no sistema (*Rn-G*) durante o dia, variando entre 14,6% no primeiro terço do ciclo estudado, 10% no segundo terço avaliado e 14,4% no terço final do período estudado. Observando-se o fluxo de calor latente (*LE*) ao longo de todo período, o mesmo representou em torno de 86,4% da energia disponível, variando entre 84,8% no primeiro terço de medidas de campo, chegando a 89,3% no segundo terço de avaliações e com 84,8% no terço final de medições. Essas altas frações da energia disponível utilizada no fluxo de *LE* deve-se a alta disponibilidade de água na fase líquida no ambiente resultando assim em um menor fluxo de *H* no canal.

A título de exemplo, tomando-se o dia 16 de fevereiro de 2013 (Figura 1), para a AE2, como representativo de um dia sem nebulosidade elevada, observou-se que o *G* representou uma média de 6,7% de *Rn*, chegando a picos de aproximadamente 15% no período da tarde. Neste mesmo dia, *LE* representou em média  $80,5\% \pm 10\%$  de *Rn*, porém no período entre o nascer do sol e as 13h, o valor ficou em 74% e entre as 13h e o final do dia, a média foi para 84%. Já o *H* apresentou uma média de  $14,3\% \pm 7\%$ , chegando a 19,6% entre o nascer do Sol e às 13h, e a 11,1% após as 13h.



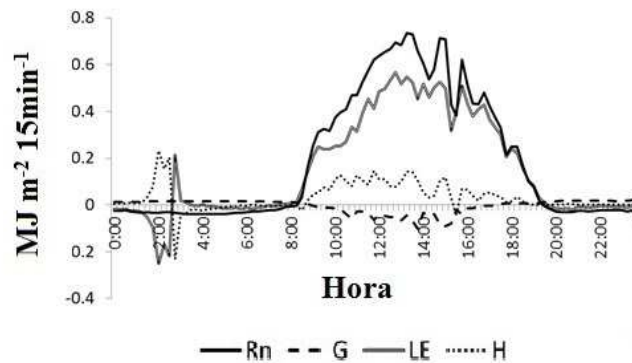


Figura 1 - Variação horária do saldo de radiação ( $R_n$ ,  $\text{MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$ ), fluxo de calor no solo ( $G$ ,  $\text{MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$ ), fluxo de calor latente ( $LE$ ,  $\text{MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$ ) e fluxo de calor sensível ( $H$ ,  $\text{MJ m}^{-2} 15\text{min}^{-1}$ ) para o dia 16/02/2013 na AE2.

Os quatro sensores de fluxo de seiva instalados na AE1 apresentaram taxas de transpiração semelhantes nos dias analisados, variando de 0,23 a 0,50  $\text{L colmo}^{-1}$  para os dias 44 e 49 respectivamente. Estes valores correspondem à transpiração entre 2,16 e 4,71  $\text{mm dia}^{-1}$  sendo que os mesmos são superiores aos encontrados na AE2, com 3 colmos analisados, que variaram entre 0,06 e 0,41  $\text{L colmo}^{-1}\text{dia}^{-1}$  para os dias 177 (26 de junho) e 140 (20 de maio), respectivamente (Tabela 1). Isso corresponde, em colmos com aproximadamente 0,34  $\text{m}^2$  de folha, a um consumo entre 0,16 e 1,21  $\text{L m}^{-2}$  folha $^{-1}$ , resultando em uma taxa de transpiração no canavial entre 0,5 e 3,62  $\text{mm dia}^{-1}$ . Esta diferença se deu devido à época das medições realizadas nas áreas experimentais, em que a primeira foi em fevereiro de 2012 e a segunda entre maio e junho de 2013, evidentemente com diferença quanto à disponibilidade de energia no ambiente. Tais valores estão aquém daqueles observados por Chabotet al. (2005) no Marrocos, onde a área experimental estava em um clima semiárido do mediterrâneo com influência oceânica e a cana-de-açúcar teve seu desenvolvimento em lisímetros e apresentou consumo médio de 8  $\text{mm dia}^{-1}$ . Os mesmos autores, contudo, inferiram que as medições do fluxo de seiva podem acarretar em uma superestimativa de até 35% na taxa de transpiração. Boehringer et al. (2013) trabalharam com o método de balanço de calor, porém com a inserção de um mini-resistor no centro do colmo, e comparando com medidas gravimétricas, encontraram até 140  $\text{g planta}^{-1} \text{h}^{-1}$  de transpiração; avaliando a transpiração da cultura em condições de céu nublado e parcialmente nublado, concluíram que este método pode subestimar a perda de água da cultura em até 5%.

Tabela 1 - Valores médios diários de fluxo de seiva em diferentes unidades para todos os dias de medida para as variedades RB867515 (ano de 2013) e CTC 12 (ano de 2012).

RB867515												CTC 12			
Dia	Fluxo de Seiva			Dia	Fluxo de Seiva			Dia	Fluxo de Seiva			Dia	Fluxo de Seiva		
	Juliano	L colmo <sup>-1</sup>	L m <sup>-2</sup> folha <sup>-1</sup>		mm	Juliano	L colmo <sup>-1</sup>		L m <sup>-2</sup> folha <sup>-1</sup>	mm	Juliano		L colmo <sup>-1</sup>	L m <sup>-2</sup> folha <sup>-1</sup>	mm
134	0,27	0,80	2,39	146	0,31	0,91	2,73	174	0,15	0,45	1,34	41	0,45	1,32	4,24
135	0,35	1,02	3,05	147	0,07	0,21	0,64	175	0,20	0,58	1,74	42	0,30	0,88	2,82
136	0,40	1,18	3,55	148	0,14	0,40	1,21	176	0,14	0,41	1,22	43	0,28	0,82	2,64
137	0,15	0,45	1,34	149	0,06	0,17	0,50	177	0,06	0,16	0,49	44	0,23	0,68	2,16
138	0,37	1,10	3,29	150	0,27	0,78	2,34	178	0,16	0,47	1,40	45	0,34	1,00	3,20
139	0,33	0,97	2,92	167	0,32	0,94	2,81	179	0,20	0,58	1,00	46	0,37	1,09	3,48
140	0,41	1,21	3,62	168	0,27	0,80	2,41	180	0,39	1,15	3,46	47	0,38	1,12	3,58
141	0,27	0,79	2,38	169	0,38	1,11	3,34	181	0,11	0,33	0,99	48	0,44	1,29	4,14
142	0,20	0,60	1,81	170	0,41	1,19	3,57	182	0,11	0,33	0,99	49	0,50	1,47	4,71
143	0,21	0,61	1,84	171	0,25	0,73	2,18	183	0,23	0,68	2,04	50	0,37	1,09	3,48
144	0,11	0,33	0,98	172	0,28	0,84	2,51	184	0,33	0,96	2,89				
145	0,24	0,72	2,16	173	0,22	0,65	1,96	185	0,28	0,83	2,48				

Observou-se que as taxas de transpiração foliar (*E<sub>l</sub>*) do canavial, ao início das medições na AE2, apresentaram valores abaixo de 0,1 g m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, com o aumento da radiação incidente nas folhas (*Q<sub>leaf</sub>*), ocorre a elevação das taxas de transpiração, chegando a 0,2 g m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> no dia 28 de fevereiro. Estas condições não ocorreram nos dias 19/03 e 14/05 devido à elevada nebulosidade ocorrida nestes dias, quando a planta sofreu um menor estímulo para realizar seus processos fisiológicos. No dia 04/06, os valores de *E<sub>l</sub>* ficam menores devido à menor insolação na área experimental, relacionada à declinação solar nesta época do ano e à consequente redução de *Q<sub>leaf</sub>*. Nos dias com maior incidência de radiação (28/02 e 09/04) observou-se que ocorre um aumento rápido da condutância estomática (*g<sub>s</sub>*), atingindo seu pico por volta do meio dia e no período vespertino verifica-se um declínio mais suave e constante. Tal fato é observado nos dias nublados e com menor insolação, porém as taxas de *g<sub>s</sub>* modificam com menos intensidade. Machado et al. (2009) avaliando a resposta da cultura da cana-de-açúcar ao estresse hídrico, encontraram valores de condutância estomática média de 0,15 a 0,25 mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> e *E* variando de 2 a 6 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Esta mesma variação foi verificada por Gonçalves et al. (2010), avaliando 4 variedades de cana-de-açúcar, com *g<sub>s</sub>* médio entre 0,05 e 0,2 mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, e *E* entre 1 e 5 mmol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>. Roberts et al. (1990) verificaram que em canavial plenamente irrigado, a *g<sub>s</sub>* variou entre 0,2 e 0,6 mol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, sendo que no período vespertino, devido à elevação do DPV, a condutância sempre ficava com valores mais baixos.

Quando é feita a relação de *E* com *Q<sub>leaf</sub>* é feita considerando-se faixas de déficit de pressão de vapor (DPV) na câmara (Figura 2), observou-se que, com o DPV nas faixas de 1 a 3, o aumento da transpiração é semelhante, conforme aumenta a *Q<sub>leaf</sub>*, porém na faixa 4 (entre 4,47 a 5,42 kPa) o incremento da radiação resulta em relação mais forte com a transpiração, sendo que nesta faixa de DPV, a radiação incidente foi sempre superior a 1200 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>. Quanto maior for o DPV, mais elevada será a transpiração, devido à maior demanda atmosférica. Pode-se, porém, afirmar que a transpiração é uma resultante de diversas variáveis ambientais, principalmente a temperatura do ar, radiação solar e demanda atmosférica, o que corrobora com Angelocci et al. (2004) que verificaram o mesmo ocorrendo para lima ácida.

**O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros**

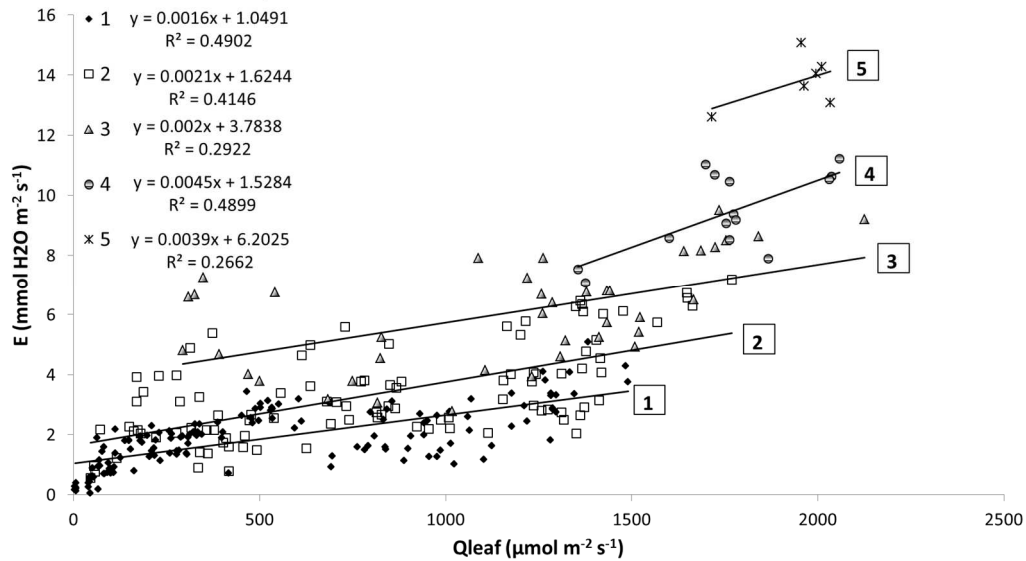


Figura 2 - Relação entre a taxa de transpiração ( $E$ ) e a radiação fotossinteticamente ativa ( $Q_{leaf}$ ) para cinco faixas de déficit de pressão de vapor na câmara de medições para a AE2 (1 – 1,27 a 2,33 kPa; 2 – 2,34 a 3,40 kPa; 3 – 3,41 a 4,46 kPa; 4 – 4,47 a 5,52 kPa; 5 – > 5,52 kPa)

O coeficiente de cultura ( $K_c$ ) médio para o período avaliado nos dois canaviais, em fase de pleno crescimento vegetativo, foi de  $1,37 \pm 0,52$ , com média de 10 dias variando entre 0,6 e 1,2 para a AE1 e 1,1 e 2,4 na AE2. Este alto valor foi parcialmente devido ao fato de que nos períodos em que a  $E_{To}$  é mais baixa, o  $K_c$  foi mais elevado e, conforme crescia a  $E_{To}$  o valor de  $K_c$  mostrava-se relativamente menor (Figura 3). Esta resposta da cultura deve-se ao fato de que, quando observou-se  $E_{To}$  mais elevada, consequentemente a demanda atmosférica foi mais alta e, conforme Marin et al. (2005), as diferenças nas condições micrometeorológicas, especialmente a demanda atmosférica, são importantes na determinação do  $K_c$  de uma cultura. Estes mesmos autores observaram um  $K_c$  variável, conforme as condições de DPV para um cafezal. Marin e Angelocci (2011) verificaram a mesma resposta para lima ácida afirmando que em diversos trabalhos de condutância foliar em citros, foi verificada uma restrição da perda de água sob alta demanda atmosférica. Grantz e Meinzer (1991) avaliaram a resposta do dossel de um canavial, verificando que em condições de aumento da demanda atmosférica, a condutância da cultura ao vapor de água foi reduzida.

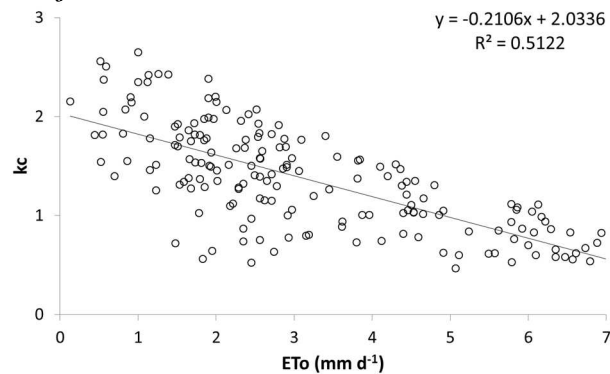


Figura 3 - Relação entre o coeficiente de cultura (Kc) de ambos canaviais estudados e a evapotranspiração de referência (ETo-mm) pelo método do boletim da FAO 56.

O Kc observado foi 9,6% maior que o indicado para a cultura da cana-de-açúcar por Allen et al., (1998), que recomenda o valor de 1,25, o que foi determinado para o uso em canaviais irrigados na Austrália e Swazilândia no período de máximo crescimento, em estudo realizado por Inman-Bamber e McGlinchey (2003) e posteriormente por Olivier e Singels (2012) para a África do Sul. Os valores de Kc aqui encontrados também foram maiores que os observados por Silva et al. (2012) com valor de 1,1 para o período de máximo crescimento da cultura da cana no semiárido brasileiro sendo que esta diferença pode ser explicada pela diferença da ETo ocorrida no semiárido (mais alta) e a observada na área experimental (mais baixa) corroborando com a Figura 3.

No período mais chuvoso de medidas em campo na AE2, entre fevereiro e março, a ETo média foi de 3,1 mm dia<sup>-1</sup> enquanto que a ETc média foi de 4,1 mm dia<sup>-1</sup>, resultando em um Kc de 1,3. Neste mesmo período a cultura ficou acoplada à atmosfera ( $\Omega$  0,41) e a transpiração média medida na folha foi de 1 mm h<sup>-1</sup> entre as 9 e 17 horas do dia. Verifica-se que se este valor for integrado para o período diurno resultaria em valor fisicamente inconsistente de transpiração de cerca de 10 mm d<sup>-1</sup>.

Interessante lembrar a discussão apresentada por Jarvis e McNaughton (1986) sobre essa questão afirmando que os efeitos da mudança da  $g_s$  na transpiração de uma folha somente pode ser extrapolado para uma outra escala se as condições ambientais ao redor desta folha e da escala alvo forem similares, tanto para o  $\Omega$  quanto para o DPV. Além disso, considerando a já conhecida variabilidade espaço temporal de  $g_s$  (JARVIS e MCNAUGHTON, 1986; MEIZER E GRANTZ, 1989; GRANTZ, 1989; INMAN-BAMBER e SMITH, 2005; SMITH et al., 2005), deve-se tomar com cautela o processo de extrapolação da folha para a planta e especificação para uma cultura. Jarvis e McNaughton (1986) também inferiram que, como resultado do controle individual dos estômatos, as folhas de uma mesma planta podem ter diferentes taxas de transpiração e diferentes plantas podem ter uma perda de água com diferentes taxas num mesmo lugar e com as mesmas condições ambientais.

## CONCLUSÕES

O dados oriundos do Método da Razão de Bowen indicaram que o canavial estudado teve fluxo de calor sensível (H) representando em média 25% do saldo de radiação disponível na área, enquanto o fluxo de calor latente (LE) representou 70% e o fluxo de calor no solo (G) 5%.

A transpiração medida pelo fluxo de seiva pelo método do balanço de calor indicou que a transpiração do canavial representou 90% da perda por evapotranspiração.





## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



O canal estudado apresentou-se predominantemente acoplado à atmosfera, com  $\Omega$  média de 0,37.

O  $K_c$  do canal estudado apresentou variabilidade temporal devido às condições de acoplamento da cultura e conforme a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>).

## AGRADECIMENTOS

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) processo número 2011/18072-2 e ao CNPq processos números 302872/2012-4 e 480702/2012-8.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Irrigation and drainage**. Rome: FAO, 1998. 22p. (FAO. Irrigation and Drainage Paper, 56).

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; HOWELL, T.A.; JENSEN, M.E. Evapotranspiration information reporting: II. Recommended documentation. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 921-929, 2011.

ANGELOCCI, L.R.; MARIN, F.R.; OLIVEIRA, R.F.; RIGHI, E.Z. Transpiration, leaf conductance, and atmospheric water demand relationship in an irrigated acid lime orchard. **Brazilian Journal of Plant Physiology**, Campo dos Goytacazes, n. 16, v. 1, p. 53-64, 2004.

BOEHRINGER, D.; ZOLNIER, S.; RIBEIRO, A.; STEIDLE NETO, A.J. Determinação do fluxo de seiva na cana-de-açúcar pelo método do balanço de energia caulinar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 33, n. 2, p. 237-248, 2013.

CHABOT, R.; BOUARFA, S.; ZIMMER, D.; CHAUMONT, C.; MOREAU, S. Evaluation of the sap flow determined with a heat balance method to measure. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 75, n. 1, p. 10-24, 2005.

GONÇALVES, E.R.; FERREIRA, V.M.; SILVA, J.V.; ENDRES, L. BARBOSA, T.P.; DUARTE, W.G. Trocas gasosas e fluorescência da clorofila a em variedades de cana-de-açúcar submetidas à deficiência hídrica. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 4, p. 378-386, 2010.

GRANTZ, D.A.; MEINZER, F.C. Regulation of transpiration in field-grown sugarcane: evaluation of the stomatal response to humidity with the Bowen ratio technique. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 53, p. 169-183, 1991.

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 n. 1, p. 125-138, 2003.

JARVIS, P.G. Coupling of transpiration to the atmosphere in horticultural crops: the omega factor. **Acta Horticulturae**, Pisa, n. 171, p. 187-205, 1985.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:

### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*



JARVIS, P.G.; MCNAUGHTON, K.G. Stomatal control of transpiration: Scaling up from leaf to field. **Advances in Ecological Research**, London, v. 15, p. 1-49, 1986.

MACHADO, R.S.; RIBEIRO, R.V.; MARCHIORI, P.E.R.; MACHADO, D.F.S.P.; MACHADO, E.C.; LANDELL, M.G.A. Respostas biométricas e fisiológicas ao déficit hídrico em cana-de-açúcar em diferentes fases fenológicas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 44, n. 12, p. 1575-1582, 2009.

MANZATTO, C.V.; ASSAD, E.D.; BACCA, J.F.M.; ZARONI, M.J.; PEREIRA, S.E.M. **Zoneamento agroecológico da cana-de-açúcar**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2009. 55p.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; COELHO FILHO, M.A.; VILLA NOVA, N.A. Construção e avaliação de psicrômetro aspirado de termopar. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 58, n. 4, p. 839-844, 2001.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z.; SENTELHAS, P.C. Evapotranspiration and irrigation requirements of a coffee plantation in Southern Brazil. **Experimental Agriculture**, Cambridge, v. 41, n. 2, p. 187-197, 2005.

MARIN, F.R.; RIBEIRO, R.V.; ANGELOCCI, L.R.; RIGHI, E.Z. Fluxo de seiva pelo método de balanço de calor: base teórica, qualidade das medidas e aspectos práticos. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 1-12, 2008.

MARIN, F.R.; ANGELOCCI, L.R. Irrigation requirements and transpiration coupling to the atmosphere of a citrus orchard in Southern Brazil. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 98, p. 1091-1096, 2011.

OLIVIER, F.C.; SINGELS, A. The effect of crop residue layers on evapotranspiration, growth and yield of irrigated sugarcane. **Water SA**, Pretoria, v. 38 n. 1, p. 77-86, 2012.

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.

RIGHI, E.Z. **Balanço de energia e evapotranspiração de cafezal adensado em crescimento sob irrigação localizada**. 2004. 151p. Tese (Doutorado em Física do Ambiente Agrícola) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

ROBERTS, J.; NAYAMUTH, R.A.; BATCHELOR, C.H.; SOOPRAMANIEN, G.C. Plant-water relations of sugarcane (*Saccharum officinarum* L.) under a range of irrigated treatments. **Agricultural Water Management**, Amsterdam, v. 17, p. 95-115, 1990.

SAKURATANI, T. A heat balance method for measuring water sap flow in the stem of intact plant. **Journal of Agricultural Meteorology**, Tokyo, v.39, p.9-17, 1981.

SAKURATANI, T.; ABE, J. A heat balance method for measuring water sap flow in the stem of intact plants and its application to sugarcane plants. **Japan Agricultural Research Quarterly**, Tsukuba, v.19, n.2, p.92-97, 1985.



## XIX Congresso Brasileiro de Agrometeorologia

23 a 28 de agosto de 2015

Lavras – MG – Brasil

Agrometeorologia no século 21:



### *O desafio do uso sustentável dos biomas brasileiros*

SANTOS, M.A.L. **Irrigação suplementar da cana-de-açúcar (*Saccharum*spp):** Um modelo de análise de decisão para o Estado de Alagoas. 2005. 100p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2005.

SILVA, T.G.F.; MOURA, M.S.B.; ZOLNIER, S.; SOARES, J.M.; VIEIRA, V.J.S.; JÚNIOR, W.G.F. Requerimento hídrico e coeficiente de cultura da cana-de-açúcar irrigada no semiárido brasileiro. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 1, p. 64-71, 2012.

SMITH, D.M.; INMAN-BAMBER, N.G.; THORBURN, P.J. Growth and function of the sugarcane root system. **Field Crops Research**, Amsterdam, v. 92, p. 169-183, 2005.