

# EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO CAPIM TANZÂNIA OBTIDA PELO MÉTODO DE RAZÃO DE BOWEN E LISÍMETRO DE PESAGEM<sup>1</sup>

LEONARDO D. B. DA SILVA<sup>2</sup>, MARCOS V. FOLEGATTI<sup>3</sup>, NILSON A. VILLA NOVA<sup>4</sup>

**RESUMO:** A irrigação de pastagens no Brasil apresentou crescimento acentuado nos últimos anos. No entanto, em função da ausência de pesquisas sobre a aplicação de água em pastagens, o manejo da irrigação não vem sendo realizado de maneira racional. Com o objetivo de contribuir para suprir a carência de informações, neste trabalho, comparou-se a evapotranspiração do capim Tanzânia estimada pelo método de razão de Bowen com a medida por lisímetro de pesagem. O experimento foi conduzido em Piracicaba - SP, entre os dias 21 de julho de 2000 e 15 de julho de 2001. Por meio de um lisímetro de pesagem e um sistema automático de razão de Bowen, foram obtidos valores de evapotranspiração do capim Tanzânia (ETc). A evapotranspiração média do capim Tanzânia foi de 4,13 mm d<sup>-1</sup>, segundo o balanço de energia, e 4,34 mm d<sup>-1</sup>, obtida pelo lisímetro de pesagem. Concluiu-se que a estimativa da evapotranspiração, obtida pelo sistema automático de razão de Bowen, pode ser influenciada pela contribuição advectiva e, também, pela ocorrência de chuvas de longa duração. Apesar disso, houve razoável correlação com as medidas feitas em lisímetro de pesagem.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Panicum maximum*, balanço de energia, pastagem irrigada.

## EVAPOTRANSPIRATION OF GUINEA GRASS USING AUTOMATED BOWEN RATIO SYSTEM AND LYSIMETER

**ABSTRACT:** Pasture irrigation in Brazil presented a large increasing in the recent years; however irrigation management practices have been done irrationally due to a lack of research on water use by pastures. The objectives of this research were to determine evapotranspiration of Guinea grass (*Panicum maximum* Jacq.) by measurements of a weighing lysimeter; to apply the energy balance method to estimate evapotranspiration of Guinea grass by means of an automated Bowen ratio system; and to compare the measured and the estimated values of evapotranspiration. The experiment was carried out in Piracicaba - SP, Brazil, between July 21, 2000 and July 15, 2001. The average evapotranspiration of Guinea grass was 4.13 mm day<sup>-1</sup> by the energy balance method and 4.34 mm day<sup>-1</sup> by the weighing lysimeter. It was concluded that the estimated evapotranspiration obtained by the automated Bowen ratio system can be influenced by advection and by long duration rainfalls. Despite of these constraints, there was a reasonable correlation with the measurements of a weighing lysimeter.

**KEYWORDS:** *Panicum maximum*, energy balance, irrigated pastures.

## INTRODUÇÃO

A irrigação de pastagens no Brasil apresentou crescimento acentuado a partir da década de 1990, existindo, atualmente, dezenas de equipamentos do tipo pivô-central. Essa prática iniciou-se em função do declínio econômico de algumas culturas. Com isso, os produtores rurais passaram a utilizar o pivô-

<sup>1</sup> Extraído da tese de doutorado do primeiro autor. Financiamento da FAPESP.

<sup>2</sup> Eng<sup>o</sup> Agrícola, Prof. Substituto, Departamento de Engenharia, UFRRJ, Seropédica - RJ, Fone: (0XX21) 2682.1865, ldbsilva@ufrj.br

<sup>3</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Associado, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

<sup>4</sup> Eng<sup>o</sup> Agrônomo, Prof. Associado, Departamento de Ciências Exatas, ESALQ/USP, Piracicaba - SP.

Recebido pelo Conselho Editorial em: 5-2-2003

Aprovado pelo Conselho Editorial em: 26-9-2005

central, que anteriormente irrigava culturas tradicionais, como soja e feijão, a fim de suprir a necessidade hídrica das pastagens e obter incremento de peso para o gado de corte e aumento da quantidade de leite para o rebanho leiteiro. Com essa nova prática, os pecuaristas, principalmente do Centro-Oeste e do Nordeste brasileiro, obtiveram, inicialmente, ótimos resultados. Porém, com o passar dos anos, devido ao manejo inadequado da irrigação e à falta de recomendações técnicas em pastagens, os resultados passaram a ser insatisfatórios.

A determinação do consumo hídrico, por meio da estimativa da evapotranspiração, é de fundamental importância para o correto manejo da irrigação (SILVA & FOLEGATTI, 2001).

A evapotranspiração é função dos elementos meteorológicos, do solo e da planta (LEMON et al., 1957). PENMAN (1956) argumenta que, quando a cobertura do solo é completa, a evapotranspiração de referência é condicionada principalmente pelos elementos meteorológicos. Dentre esses elementos, a radiação líquida é a que exerce maior influência na taxa de evapotranspiração dos cultivos. No entanto, VILLA NOVA (1987) ressalta que é difícil separar a ação de cada um desses elementos, pois os mesmos agem simultaneamente. De maneira geral, quanto maior a disponibilidade de energia solar, de temperatura do ar e de velocidade do vento e quanto menor a umidade relativa do ar, maior deverá ser a demanda evaporativa da atmosfera, ocasionando aumento na taxa de evapotranspiração, quando a umidade do solo não for fator restritivo. Em regiões onde ocorrem advecções fortes, a importância relativa da radiação líquida decresce, e a advecção ou transferência de calor sensível das áreas circunvizinhas poderá contribuir no processo evapotranspirativo com energia até maior que aquela disponível à área considerada, aumentando, dessa forma, a importância da velocidade do vento e da umidade relativa do ar na evapotranspiração.

Estudos realizados por TANNER et al. (1987), NIE et al. (1992), MALEK (1993), AZEVEDO (1999) e SILVA (2000) mostram que os valores estimados de evapotranspiração estimada pelo sistema automático de razão de Bowen apresenta boa correlação, quando comparados aos valores medidos por lisímetro.

Com o objetivo de contribuir para suprir a carência de informações, neste trabalho, comparou-se a evapotranspiração do capim Tanzânia estimada pelo método de razão de Bowen com a medida por lisímetro de pesagem.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido na área experimental de irrigação do Departamento de Engenharia Rural da Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, situada na Fazenda Areão, no município de Piracicaba - SP, cujas coordenadas geográficas são: 22°42'30" de latitude sul, 47°30'00" de longitude oeste e 576 m de altitude. O solo possui declividade aproximada de 2%, sendo classificado como Argissolo Vermelho (EMBRAPA, 1999), com horizonte A de textura argilosa (média de 45% de argila) e profundidade média de 0,30 m. O clima é classificado como Cwa, ou seja, subtropical úmido, conforme a classificação de Köppen, com verão chuvoso e inverno seco, sendo de 1.250 mm a precipitação média anual. As temperaturas médias mensais variam de 17,1 °C no inverno a 24,8 °C no verão, com média anual de 21,4 °C.

O presente trabalho foi realizado no período de 21 de julho de 2000 a 15 de julho de 2001, dividido em dez ciclos de pastejo de 36 dias.

A área experimental de 63.000 m<sup>2</sup> foi cultivada com capim Tanzânia (*Panicum maximum* Jacq.) e irrigada por pivô-central. O capim era pastejado pelo gado da raça Nelore a cada 36 dias, acarretando em resíduo de aproximadamente 0,40 m de altura.

O sistema automático de razão de Bowen (SARB, Bowen ratio system, fabricado pela Campbell Scientific), instalado na área experimental cultivada com o capim Tanzânia, foi conectado a um

sistema de coleta e aquisição de dados (Datalogger modelo 21X, fabricado pela Campbell Scientific), programado para realizar leituras a cada segundo e armazenar valores médios em intervalos de 20 minutos. Os dados obtidos com o equipamento foram: radiação líquida ( $R_n$ ); fluxo de calor no solo, realizado em dois pontos ( $G_1$  e  $G_2$ ); gradientes de temperatura e de tensão de vapor d'água do ar acima da superfície. A temperatura do ar ( $^{\circ}\text{C}$ ) e a umidade absoluta ( $\text{kg m}^{-3}$ ) foram mensuradas nos níveis 0,10 e 1,00 m acima da superfície vegetada. A radiação líquida ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) foi mensurada a 1,00 m acima da superfície vegetada, e os fluxos de calor no solo ( $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ) foram mensurados a 0,08 m abaixo do solo. A partir das medições da radiação líquida ( $R_n$ ), dos fluxos de calor no solo ( $G_1$  e  $G_2$ ), das diferenças de temperatura ( $\Delta T$ ) e da pressão de vapor ( $\Delta e$ ) entre dois níveis, foi determinado o balanço de energia, conforme a eq.(1):

$$R_n - G - H - LE = 0 \quad (1)$$

em que,

- $R_n$  - radiação líquida, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;
- $G$  - fluxo de calor no solo, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ ;
- $H$  - fluxo de calor sensível, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , e
- $LE$  - fluxo de calor latente de evaporação, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ .

Com base nos valores de gradientes de temperatura ( $\Delta T$ ), de gradientes de tensão do vapor d'água do ar ( $\Delta e$ ) e coeficiente psicrométrico ( $\gamma$ ) para o equipamento com ventilação forçada, foram efetuados os cálculos, de forma a estimar o valor da razão de Bowen ( $\beta$ ), para cada intervalo de tempo correspondente a 20 minutos, conforme a eq.(2):

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2)$$

em que,

- $\gamma$  - coeficiente psicrométrico, igual a  $0,0626 \text{ kPa } ^{\circ}\text{C}^{-1}$ .

O fluxo de calor latente, em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$ , foi estimado por meio da eq.(3):

$$LE = \frac{R_n - \left( \frac{G_1 + G_2}{2} \right)}{(1 + \beta)} \quad (3)$$

Considerou-se como positivo o fluxo de calor da atmosfera ou do subsolo para a superfície e negativo quando o fluxo foi da superfície para a atmosfera ou subsolo. Entretanto, para que tais considerações fossem aplicadas ao cálculo do fluxo de calor latente, fez-se necessário adicionar o sinal negativo junto à radiação líquida. Devido à convenção adotada no sistema automático de razão de Bowen (SARB), fez-se, também, necessário adicionar o sinal "negativo" aos valores obtidos com os fluxos de calor no solo. Dessa forma, a equação anterior pode ser escrita conforme eq.(4):

$$LE = \frac{-R_n - \left( \frac{-G_1 - G_2}{2} \right)}{(1 + \beta)} \quad (4)$$

BOWEN (1926) relacionou os fluxos de calor sensível ( $H$ ) e latente ( $LE$ ), conforme equação seguinte, sendo essa conhecida como razão de Bowen ( $\beta$ ), a qual é amplamente utilizada na estimativa da evapotranspiração (MASTORILLI et al., 1989; FONTANA et al., 1991; HERBST et al., 1996; STEDUTO & HSIAO, 1998).

$$\beta = \frac{H}{LE} \quad (5)$$

Após a estimativa da razão de Bowen, para cada intervalo de tempo, e de posse dos valores da radiação líquida ( $R_n$ ) e dos fluxos de calor no solo ( $G_1$  e  $G_2$ ), obtidos com sensores automáticos, foi possível realizar a estimativa do fluxo de calor sensível,  $H$ , em  $\text{MJ m}^{-2} \text{d}^{-1}$  [eq.(6)].

$$H = \beta LE \quad (6)$$

Após calculados os valores dos componentes do balanço de energia, estimou-se a evapotranspiração do capim Tanzânia ( $ET_c$ ), em mm, para cada intervalo de tempo de 20 minutos, em todo o período estudado, conforme eq.(7):

$$ET_c = \frac{LE}{\lambda \ 72 \ t} \quad (7)$$

em que,

- t - intervalo de tempo considerado, 20 minutos ;
- 72 - constante utilizada para ajustar a escala de tempo, e
- $\lambda$  - calor latente de evaporação,  $2,45 \text{ MJ kg}^{-1}$ .

Na estimativa de evapotranspiração do capim Tanzânia ( $ET_c$ ), consideram-se valores diários conforme recomendação de HEILMAN & BRITTIN (1989), CELLIER & OLIOSSO (1993) e KUSTAS et al. (1996). Foram também descartadas as estimativas de  $ET_c$  originárias de valores da razão de Bowen entre -0,7 e -1,3; conforme UHLAND et al. (1996).

Considerou-se como período diurno o intervalo compreendido entre 6 e 18 h. A soma dos totais de evapotranspiração, a cada 20 minutos, ocorridos nesse período, excetuando-se as condições preconizadas no parágrafo anterior, correspondeu à estimativa da evapotranspiração diária.

Foram feitas manutenções semanalmente no sistema razão de Bowen, em conformidade com o recomendado pelo fabricante, por meio de calibrações no higrômetro, limpeza dos termopares de cromo-constantan, das mangueiras de sucção, do painel solar e da estrutura de sustentação, realizando-se a troca quinzenal dos filtros de papel colocados nos orifícios de sucção.

Na área cultivada com o capim Tanzânia, foi instalado um lisímetro de pesagem com as seguintes dimensões: 0,70 m de profundidade, 1,50 m de comprimento e 1,30 m de largura. A medida direta da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$  lisímetro) foi feita utilizando esse equipamento, que ficou apoiado sobre três células de carga e conectado a um sistema de coleta e aquisição de dados (Datalogger modelo CR10, fabricado pela Campbell Scientific), programado para realizar leituras a cada segundo e armazenar valores médios em intervalos de 20 minutos. O preenchimento do solo do lisímetro foi realizado um ano e meio antes do início da coleta de dados deste trabalho, conforme descrito por SILVA 2000.

O índice de área foliar do capim Tanzânia foi determinado por meio do equipamento LAI 2000 Area Meter, fabricado pela empresa Licor, sendo a coleta de dados realizada logo após o pastejo e em intervalos de 6; 12; 18; 24; 30 e 36 dias após o pastejo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração média da cultura estimada pelo sistema automático de razão de Bowen foi de  $4,13 \text{ mm d}^{-1}$ , e o valor médio mensurado pelo lisímetro foi de  $4,34 \text{ mm d}^{-1}$ , para o período entre 21 de julho de 2000 e 15 de julho de 2001. Porém, foram identificadas oscilações sazonais influenciadas pelas condições atmosféricas e pelo desenvolvimento vegetativo da cultura. Na Tabela 1, são

apresentados os valores médios diários de ETC, para cada ciclo, obtidos com o Sistema Automático de Razão de Bowen (SARB) e com o lisímetro de pesagem. Nota-se que, nos ciclos 9 e 10, o SARB superestimou a ETC em relação ao lisímetro de pesagem. Considerando o período completo dos ciclos 9 e 10, a superestimativa foi de 3,7 e 1,6%, respectivamente. Esse fato pode ser explicado pelo efeito advectivo, pois essa pequena superestimativa ocorreu em meses que se caracterizaram pela baixa precipitação. Nesses dois ciclos, observaram-se baixas umidades relativas do ar e ocorrência de ventos médios e fortes; assim, nessas condições, o SARB ficou muito sensível às contribuições advectivas de energia.

TABELA 1. Valores médios diários de ETC para cada ciclo, obtidos com o lisímetro de pesagem e com o sistema automático de razão de Bowen (SARB), em Piracicaba - SP.

Ciclos	Período	Valores de ETC (mm d <sup>-1</sup> )	
		SARB	Lisímetro
1	21-7-2000 - 25-8-2000	3,38	3,57
2	26-8-2000 - 30-9-2000	3,85	3,90
3	1 <sup>o</sup> -10-2000 - 5-11-2000	4,81	5,05
4	6-11-2000 - 11-12-2000	4,74	5,07
5	12-12-2000 - 16-1-2001	4,82	5,35
6	17-1-2001 - 21-2-2001	4,80	5,41
7	22-2-2001 - 29-3-2001	4,74	4,95
8	30-3-2001 - 04-5-2001	3,84	3,93
9	5-5-2001 - 9-6-2001	3,26	3,14
10	10-6-2001 - 15-7-2001	3,10	3,06

Pode-se notar que, nos ciclos 1 a 8, os valores de ETC determinados pelo lisímetro foram superiores aos valores obtidos pelo SARB em 5,3; 1,3; 4,7; 6,5; 9,9; 11,3; 4,2 e 2,3%, respectivamente. Nos ciclos 2 e 8, ocorreram pequenas subestimativas de 1,3 e 2,3%, respectivamente, em relação à ETC determinada pelo lisímetro, indicando que o SARB teve melhor funcionamento para a estação seca.

Na Figura 1(a), apresenta-se a evapotranspiração do capim Tanzânia medida pelo lisímetro de pesagem (ETC lisímetro) e estimada pelo sistema automático de razão de Bowen (ETC Bowen), entre os dias 10 de junho de 2001 (dia juliano 161) e 15 de julho de 2001 (dia juliano 196), ou seja, intervalo entre os dois pastejos correspondente ao ciclo 10. Verifica-se que os valores estimados da evapotranspiração do capim Tanzânia obtidos pelo SARB, em quase todo o período analisado, superestimaram os valores medidos da evapotranspiração, obtidos pelo lisímetro de pesagem. Esse fato se deve à contribuição advectiva da área externa ao pivô-central, pois os dados foram obtidos em período com baixa ocorrência de precipitação, ventos fortes e com o ar atmosférico apresentando níveis baixos de umidade. Apesar de a ETC Bowen ter sido influenciada pela advecção, houve boa correlação entre os valores medidos pelo lisímetro e os estimados pelo SARB, indicando que a contribuição advectiva nesse período apresentou relativa homogeneidade (Figura 2(a)).

Verifica-se, na Figura 1(b), que os valores estimados da evapotranspiração do capim Tanzânia obtidos pelo SARB, entre os dias 22 de fevereiro de 2001 (dia juliano 53) e 29 de março de 2001 (dia juliano 88), subestimaram os valores medidos da evapotranspiração obtidos pelo lisímetro de pesagem, em quase todo o período analisado; essa subestimativa é devida à ausência de gradiente de pressão de vapor em alguns dias, pois esse ciclo foi caracterizado por apresentar a maior ocorrência de dias e, ainda, porque o ciclo 7 foi caracterizado por apresentar a maior ocorrência de dias com chuva verificada em todo o período analisado. O efeito da exposição do SARB em dias chuvosos pode ter contribuído para a baixa correlação entre os valores estimados e medidos (Figura 2(b)).

A baixa correlação obtida entre os dados medidos pelo lisímetro e estimados pelo SARB, para o ciclo 7, diferiu dos valores encontrados por AZEVEDO (1999) e SILVA (2000), para Piracicaba - SP. Entretanto, os trabalhos realizados por esses autores foram conduzidos em períodos nos quais houve baixa ocorrência de precipitação, portanto em condições distintas das que ocorreram neste experimento.

A influência da ocorrência de chuva na estimativa da evapotranspiração pode ser evidenciada, também, durante o ciclo 7, no qual foram registrados 251,3 mm. Esse ciclo também se caracterizou por apresentar baixa troca de massa de ar, em decorrência de baixos valores médios de velocidade do vento, que ocasionaram pequeno transporte de energia, diminuindo o efeito da contribuição advectiva.

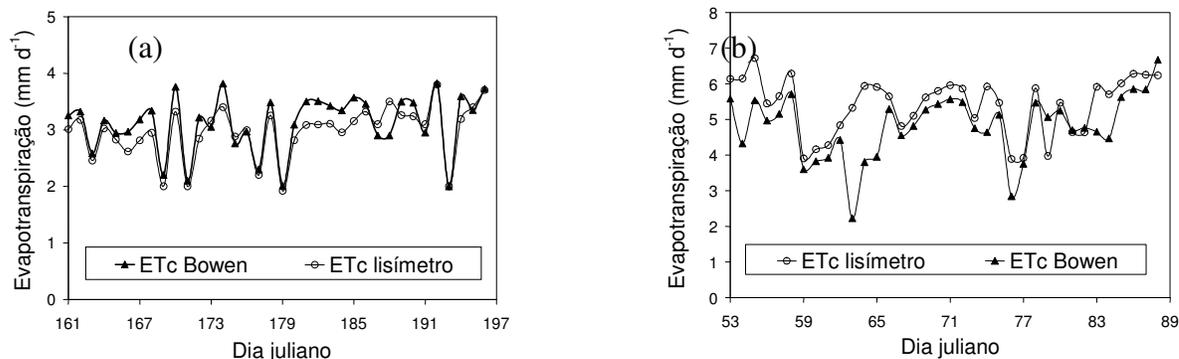


FIGURA 1. Evapotranspiração obtida pelo lisímetro e pelo sistema automático de razão de Bowen para os ciclos 10 (a) e 7 (b), em Piracicaba - SP.

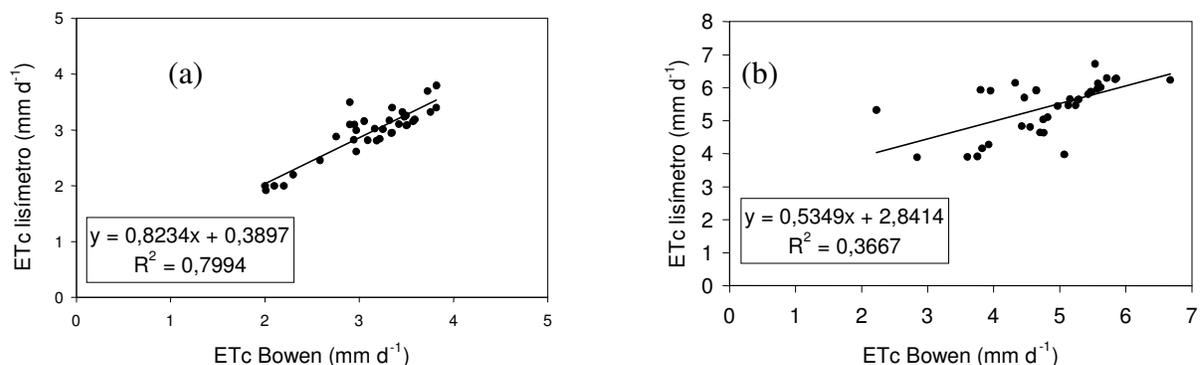


FIGURA 2. Relação entre a evapotranspiração obtida pelo lisímetro e pelo sistema automático de razão de Bowen para os ciclos 10 (a) e 7 (b), em Piracicaba - SP.

Na Figura 3(a), apresenta-se a variação do índice de área foliar (IAF) no ciclo 10 e, na Figura 3(b), no ciclo 7. Pode-se notar que o IAF inicial, correspondente a resíduo após o pastejo de 0,40 m de altura, para o capim Tanzânia, é de 0,15. Esse valor baixo se deve à distribuição em touceiras do capim sobre a superfície do solo. O índice de área foliar máximo no ciclo 10 foi de 3,5; e, no ciclo 7, foi de 7,3, caracterizando a sazonalidade de produção do capim na região de Piracicaba - SP.

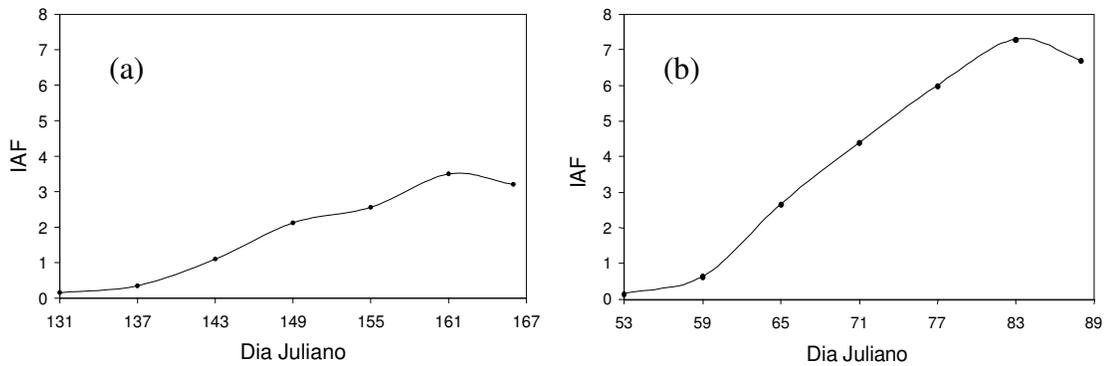


FIGURA 3. Índice de área foliar (IAF) do capim Tanzânia nos ciclos 10 (a) e 7 (b), em Piracicaba - SP.

## CONCLUSÕES

A estimativa da evapotranspiração, obtida pelo sistema automático de razão de Bowen, pode ser influenciada pela ausência de gradiente de temperatura e umidade em períodos chuvosos e, também, pela contribuição advectiva, provinda de áreas secas não-irrigadas circunvizinhas à área irrigada, para períodos secos, principalmente em regiões de clima seco e com ventos fortes. Apesar desses fatores, verifica-se, neste trabalho, que o SARB apresentou desempenho satisfatório na estimativa da evapotranspiração. A utilização de métodos de estimativa da evapotranspiração, os quais utilizam variáveis ambientais com aquisição automática de dados em tempo real, como o método da razão de Bowen, apresentará melhores resultados em relação a dispositivos lisimétricos para períodos secos, se comparados com períodos chuvosos.

## REFERÊNCIAS

- AZEVEDO, B.M. *Evapotranspiração de referência obtida com a razão de Bowen, lisímetro de pesagem e equação de Penman-Monteith utilizando sistemas automáticos*. 1999. 81 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conductions and by evaporation from any water surface. *Physical Review*, New York, v.27, p.779-87, 1926.
- CELLIER, P.; OLIOSO, A. A simple system for automated long-term Bowen ratio measurement. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.66, n.1, p.81-92, 1993.
- EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema Brasileiro de Classificação de Solos*. Brasília, 1999. 412 p.
- FONTANA, D.C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em soja irrigada e não irrigada. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.3, n.26, p.403-10, 1991.
- HEILMAN, J.L.; BRITTIN, C.L. Fetch requirement for Bowen ratio measurement of latent and sensible heat fluxes. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.44, p.261-73, 1989.
- HERBST, M.; KAPPEN, L.; THAMM, F.; VANSELOW, R. Simultaneous measurements of transpiration, soil evaporation and total evaporation in a maize field in northern Germany. *Journal of Experimental Botany*, v.47, p.1957-62, 1996.

- KUSTAS, W.P.; STANNARD, D.I.; ALLWINE, K.J. Variability in surface energy flux partitioning during Washita'92: resulting effects on Penman-Monteith and Priestly-Taylor parameters. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.82, p.171-93, 1996.
- LEMON, E.R.; GLASER, A.H.; SATTERWHITE, L.E. Some aspects of the relationship of soil, plant and meteorological factors to evapotranspiration. *Soil Science Society of America Proceedings*, Madison, v.21, n.5, p.464-8, 1957.
- MALEK, E. Rapid changes of the surface soil heat flux and its effects on the estimation of evapotranspiration. *Journal of Hydrology*, Amsterdam, v.142, n.1, p.89-97, 1993.
- MASTORILLI, M.; LOSAVIO, N.; SCARASCIA, M.E.V.; KATERJI, N. Comparison of methods of measuring maximum evapotranspiration of a meadow in a Mediterranean climate. *Rivista di Agronomia*, Bologna, v.23, n.2, p.202-9, 1989.
- NIE, D.; FLITCROFT, I.D.; KANEMASU, E.T. Performance of Bowen ratio systems on a slope. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.59, n.3-4, p.165-81, 1992.
- PENMAN, H.L. Evaporation: Introduction survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v.4, n.1, p.9-29, 1956.
- SILVA, F.C. *Determinação da evapotranspiração utilizando o método do balanço de energia e lisímetro de pesagem*. 2000. 72 f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- SILVA, L.D.B.; FOLEGATTI, M.V. Determinação da evapotranspiração do capim Tanzânia, utilizando um sistema automático de razão de Bowen e um lisímetro de pesagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 12., REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 3., 2001, Fortaleza. *Anais...* v.2, p.923.
- STEDUTO, P.; HSIAO, T.C. Maize canopies under two soil water regimes. IV. Validity of Bowen ratio-energy balance technique for measuring water vapor and carbon dioxide fluxes at 5-min intervals. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.89, p.215-28, 1998.
- TANNER, B.D.; GREENE, J.P.; BINGHAM, G.E. A Bowen-ratio design for long term measurements. *Transactions of the ASAE*, St. Joseph, p.1-6, 1987.
- UHLAND, H.E.; HOUSER, P.R.; SHUTTLEWORTH, W.J.; YANG, Z.L. Surface flux measurement and modelling at a semi-arid Sonoran Desert site. *Agricultural and Forest Meteorology*, Amsterdam, v.82, n.1, p.119-53, 1996.
- VILLA NOVA, N.A. *Principais métodos de estimativa de aplicação de água de irrigação*. Piracicaba: Departamento de Física e Meteorologia, ESALQ/USP, 1987. 22 p.