

Estimativa da evapotranspiração numa pastagem mista, em condições de cerrado, pelos métodos de razão de Bowen e Penman-Monteith

Marcelo Sacardi Biudes¹, Carla Maria Abido Valentini¹,
José Holanda Campelo Júnior¹, José de Souza Nogueira²

¹Programa de Pós-Graduação em Agricultura Tropical/FAMEV/UFMT
Av. Fernando Correa da Costa, s/n, Cuiabá, Mato Grosso - 78.060-900
e-mail: marcelo_biudes@yahoo.com.br

²Programa de Pós-Graduação em Física e Meio Ambiente/ICET/UFMT

Resumo

O objetivo deste trabalho foi determinar o balanço de energia e a evapotranspiração pelo método da razão de Bowen e comparar com a evapotranspiração de referência obtida pelo modelo de Penman-Monteith de uma pastagem mista composta de três tipos de espécies: *Panicum maximum*, *Elyonurus muticus* e *Brachiaria humidicola* em condições de cerrado, de setembro a dezembro de 2006. O experimento foi realizado na Fazenda Experimental da Universidade Federal de Mato Grosso, em Santo Antônio do Leveger – MT, onde está localizada a Estação Agroclimatológica Ricardo Remetter a 50 m do local de estudo. Os valores de temperatura e pressão de vapor foram medidos nas alturas 0,55, 1,00 e 1,55 m (níveis 1, 2 e 3). A estimativa do balanço de energia foi satisfatória quando se utilizou os gradientes dos níveis 1-2 e 1-3, com índice de confiança (c) de 0,87. No entanto, a estimativa do balanço de energia nos níveis 2-3, apresentou valores de razão de Bowen fora do limite de confiança (-0,5 e 0,5) e índice de confiança (c) de 0,73, sendo menor que os níveis 1-2 e 1-3. O saldo de radiação foi utilizado prioritariamente como calor latente, sendo afetado pelas variáveis meteorológicas e pela disponibilidade de água no solo. Palavras-chave: consumo hídrico, balanço de energia, índice de Willmott.

Summary

The objective of this work was to determine the energy balance and the evapotranspiration by the Bowen ratio method and to compare with the reference evapotranspiration obtained with the Penman-Monteith's Model of a mixed pasture composed of three types of species: *Panicum maximum*, *Elyonurus muticus* and *Brachiaria humidicola* in cerrado conditions, of september to december of 2006. The experiment was conducted in the Experimental Farm of the Universidade Federal de Mato Grosso, in Santo Antônio do Leveger - MT, where the Agrocilmatological Station Ricardo Remetter is located to 50 m of the study location. The temperature and vapor pressure values were measured in the heights 0,55, 1,00 and 1,55 m (levels 1, 2 and 3). The energy balance estimate was satisfactory when it used the levels gradients 1-2 and 1-3, with reliable index (c) of 0,87. However, the energy balance estimated in the levels 2-3 had values of the Bowen ratio outside the reliable limit (-0,5 and 0,5) and reliable index (c) of 0,73, being smaller than the levels 1-2 and 1-3. The radiation balance was used mainly as latent heat, being affected by the meteorological variable and by water availability in the soil.

Key words: water use, energy balance, Willmott index.

Introdução

A produção de bovinos em regime de pastagem tem se tornado uma forte tendência da pecuária mundial na atualidade. Embora apresente um menor custo de produção, esse sistema faz parte de um processo de interação entre crescimento da planta forrageira, utilização da forragem produzida, e sua conversão em produto animal (Teixeira et al., 2005).

Ecosistemas de pastagens são entidades bastante complexas, e possuem uma série de componentes bióticos e abióticos que interagem entre si de diferentes maneiras (Silva & Pedreira, 1997). Os ciclos de crescimento das gramíneas são em muito influenciados pelas variáveis meteorológicas, tais como temperatura, água e luz, os quais determinam todo o desenvolvimento dessas plantas, quando não considerado o potencial genético das mesmas (Soria, 2002).

A irrigação de pastagens no Brasil apresentou crescimento acentuado a partir da década de 1990, existindo, atualmente, dezenas de equipamentos do tipo pivô-central. Com essa nova prática, os pecuaristas, principalmente do Centro-Oeste e do Nordeste brasileiro, obtiveram, inicialmente, resultados satisfatórios. 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 (Silva et al., 2005).

A determinação do consumo hídrico, por meio da estimativa

da evapotranspiração, é de fundamental importância para a utilização de métodos que permitam estimar as perdas de água fornecida por irrigação, caso as chuvas não sejam suficientes (Vescove & Turco, 2005) e o correto manejo da irrigação, já que se buscam alternativas para racionalizar o uso da água em projetos agrícolas (Silva & Folegatti, 2001). Para tanto é necessário estimar a evapotranspiração da cultura (ET_c) a partir da evapotranspiração de referência (ET_0) e do coeficiente de cultura (K_c) (Cardoso et al., 2005). A ET_0 , no boletim da FAO-24, refere-se a evapotranspiração de uma área com vegetação rasteira, na qual são feitas as medições meteorológicas, para obtenção de um conjunto consistente de dados de coeficientes de cultura, para serem utilizados na determinação da evapotranspiração (ET) de outras culturas agrícolas (Sediyama, 1996).

Existem várias formas de estimativa da evapotranspiração, sendo amplamente utilizados os métodos das propriedades conservativas da camada limite, como o método da razão de Bowen, que tem condições de ser utilizado para valores horários, especialmente durante as horas de brilho solar (Sediyama, 1996). Esse método representa a contabilidade das interações dos diversos tipos de energia com a superfície, constituindo-se, basicamente, na partição do saldo de radiação nos fluxos de calor latente e sensível e no fluxo de calor no solo (Fontana, 1991). Outro método, adotado universalmente, é o de Penman-Monteith (método-padrão da FAO), que concilia os aspectos aerodinâmico e termodinâmico, incluindo também as resistências aerodinâmica (r_a), e a resistência à transferência de vapor d'água (r_c) (Pereira et al., 1997).

O ideal seria que um método para estimar a evapotranspiração incorporasse todos os fatores que influenciam à mesma, como a morfologia da planta, o índice de área foliar, estágio de crescimento, condições de solo, principalmente a forma com que as propriedades físicas do solo afetam diretamente a água disponível para a extração pelo sistema radicular e, ainda, as condições microclimáticas nos aspectos dos processos de transferências de massa e energia (Sediyama, 1996). Villa Nova (1987) ressalta que é difícil separar a ação de cada um dos elementos meteorológicos do solo e da planta, pois os mesmos agem simultaneamente na evapotranspiração, mas de maneira geral objetivando a simplificação de tais cálculos, definiu-se o conceito de evapotranspiração de referência (Allen et al., 1998), que necessita apenas de dados meteorológicos para sua quantificação, podendo ser ajustada posteriormente às condições específicas de vegetação e umidade do solo (Mantovani, 1993).

O objetivo deste trabalho foi determinar o balanço de energia e a evapotranspiração pelo método da razão de Bowen e comparar com a evapotranspiração de referência obtida pelo método de Penman-Monteith de uma pastagem mista composta de três tipos de gramíneas: capim tanzânia

(*Panicum maximum*), capim carona (*Elyonurus muticus*) e *Brachiaria humidicola* em condições de cerrado.

Material e métodos

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental da Fundação Universidade Federal de Mato Grosso com coordenadas geográficas de 15°47'11" de latitude sul e 56°04'47" de longitude oeste e altitude de 140 m acima do nível do mar, situada no município de Santo Antônio do Leverger – MT, distante 33 km de Cuiabá – MT. O clima da região é do tipo Aw (Clima de Cerrado), segundo classificação de Köppen. O solo da área experimental foi classificado como podzólico vermelho amarelo eutrófico.

Foram analisadas duas áreas experimentais vizinhas cobertas com forrageiras, uma mista com capim tanzânia (*Panicum maximum*), capim carona (*Elyonurus muticus*) e *Brachiária humidícola* durante os dias 08/09/2006, 06/10/2006, 03/11/2006 e 01/12/2006 e uma área com predominância de *Brachiária humidícola* durante os dias 22/09/2006, 20/10/2006 e 17/11/2006, sendo que durante este período não foi utilizado nenhum método de irrigação nas pastagens.

As condições macrometeorológicas foram acompanhadas diariamente por meio de observações de rotina da Estação Agroclimatológica Ricardo Remetter, localizada a 50 m do local de estudo.

As medidas micrometeorológicas foram realizadas em um mastro, localizado no centro das duas áreas experimentais, onde estavam instalados um saldo radiômetro (modelo 3032-A, NOVALINX), três psicrômetros em diferentes níveis (Figura 1) e um sensor de fluxo de calor no solo (modelo HFT-3, CAMPBELL). A coleta dos dados foi realizada a um intervalo de 10 segundos e armazenamento as médias utilizando um datalogger (modelo MM900, ELE).

A estimativa da evapotranspiração (ET) foi realizada pelo método da razão de Bowen, equação (1).

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

sendo que Rn é o saldo de radiação, G o fluxo de calor no solo, H o fluxo de calor sensível e LE o fluxo de calor latente. Todas as medidas e estimativas estavam na unidade de $MJ.m^2.s^{-1}$.

A razão de Bowen (β), para cada intervalo de tempo, foi determinada utilizando a equação (2).

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

sendo que ΔT é a diferença de temperatura de dois níveis ($^{\circ}C$), Δe é a dife-

rença de pressão de vapor d'água atual entre dois níveis (kPa) e γ é a constante psicrométrica ($0,0626 \text{ kPa}^\circ\text{C}^{-1}$).

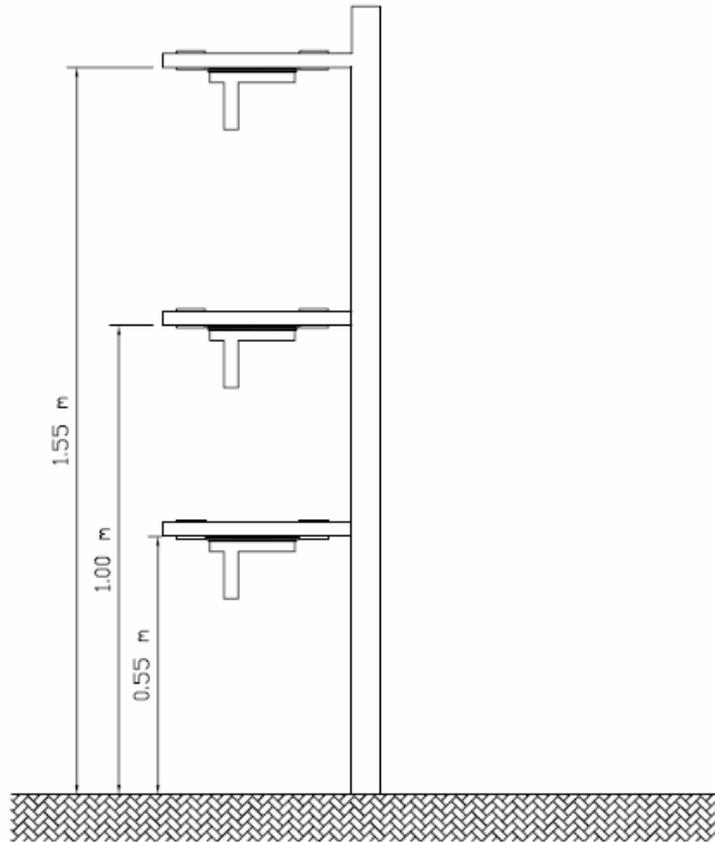


Figura 1. Detalhe das alturas dos psicrômetros utilizados no cálculo do balanço de energia pelo método da razão de Bowen.

A pressão de vapor d'água (e) para cada nível é dada pela equação (3).

$$e = e_{su} - \gamma(T - T_u) \quad (3)$$

sendo que T é a temperatura de bulbo seco ($^\circ\text{C}$), T_u é a temperatura de bulbo úmido ($^\circ\text{C}$) e e_{su} é a pressão de saturação de vapor d'água para a temperatura de bulbo úmido (kPa) obtida pela equação (4).

$$e_s = 0,6108 \cdot 10^{\left(\frac{7,5 \cdot T}{237,3 + T}\right)} \quad (4)$$

O fluxo de calor latente (LE) foi obtido por meio da equação (5).

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

Por meio da estimativa do fluxo de calor latente foi possível calcular a estimativa da evapotranspiração (ET) em valores diários.

A estimativa da evapotranspiração de referência foi calculada pela equação Penman-Monteith FAO-56 (Allen et al., 2006), equação (6).

$$ET_o = \frac{0.408.s.(Rn - G) + \gamma \cdot \frac{900}{T + 273} \cdot U_2 \cdot (e_s - e)}{s + \gamma \cdot (1 + 0.34 \cdot U_2)} \quad (6)$$

sendo que ET_o é a evapotranspiração de referência ($\text{mm} \cdot \text{dia}^{-1}$), s é a tangente à curva de pressão de saturação de vapor d'água, Rn é o saldo de radiação da cultura ($\text{MJ} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$), G é o fluxo de calor no solo ($\text{MJ} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$), γ é a constante psicrométrica ($\text{kPa} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$), U_2 é a velocidade do vento a 2,0 m de altura ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), e_s é a pressão de saturação de vapor d'água (kPa) e e é a pressão atual de vapor d'água (kPa).

A tangente à curva de saturação (s) foi calculada pela equação (7).

$$s = \frac{4098 \cdot e_s}{(T + 237,3)^2} \quad (7)$$

sendo que T é a temperatura média do ar ($^\circ\text{C}$) e e_s é a pressão de saturação de vapor d'água (kPa).

A velocidade do vento foi convertida à velocidade equivalente a 2,0 m de altura usando uma função empírica para compensar a rugosidade da superfície, equação (8).

$$U_2 = U_z \frac{\ln\left(\frac{2-d}{z_{om}}\right)}{\ln\left(\frac{z_m-d}{z_{om}}\right)} \quad (8)$$

sendo que U_2 é a velocidade do vento equivalente a velocidade do vento a 2,0 m ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), U_z é a velocidade do vento medida na altura z ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), d é o deslocamento ao plano zero da altura da superfície medida (m) e z_{om} é comprimento da rugosidade para a transferência de momentum (m).

O deslocamento do plano zero (d) e o parâmetro aerodinâmico

de rugosidade para transferência de momentum e calor para a cultura (z_{om}) foram estimados pelas equações (9) e (10), respectivamente.

$$z_{om} = 0,123.h_c \quad (9)$$

$$d = 0,67.h_c \quad (10)$$

sendo que h_c é a média da altura da vegetação (m).

Os valores de evapotranspiração estimados pelo método da razão de Bowen foram comparados com a evapotranspiração de referência obtidas pelo modelo FAO-56 Penman-Monteith. Para tanto foi considerado os índices de validade das equações: precisão; concordância; e confiança ou consistência.

A precisão é dada pelo coeficiente de correlação (r). É um índice estatístico que indica o grau de dispersão dos dados em relação a uma reta de regressão entre os valores de evapotranspiração medidos e estimados.

A concordância se refere à exatidão ou à aproximação dos dados estimados aos verdadeiros. Para quantificar matematicamente essa aproximação, Willmott (1982) propõe um coeficiente designado concordância ou exatidão (d). Seus valores variam de zero, para nenhuma concordância, a 1 para a concordância perfeita. O índice é dado pela equação (12).

$$d = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^N (P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^N (|P_i - O| + |O_i - O|)^2} \right] \quad (12)$$

sendo que P_i são os valores previstos ou estimados pelo método da razão de Bowen, O_i são os valores observados pela equação FAO-56 Penman-Monteith e O é a média dos valores observados.

O índice de confiança (c) reúne as indicações dos dois coeficientes, (r) e (d), corresponde à equação (13), sendo o valor zero de (c) para confiança nula e 1 significando confiança perfeita (Camargo & Camargo, 2000).

$$c = r.d \quad (13)$$

O critério adotado para interpretar o desempenho do método da razão de Bowen pelo índice (c), para os valores diários da evapotranspiração, foi representado na Tabela 1 (Camargo & Sentelhas, 1997).

Tabela 1. Critério de interpretação do desempenho do método da razão de Bowen, proposto por Camargo & Sentelhas (1997) através do índice (c).

Valor de (c)	Desempenho
> 0,85	Ótimo
0,76 a 0,85	Muito Bom
0,66 a 0,75	Bom
0,61 a 0,65	Mediano
0,51 a 0,60	Sofrível
0,41 a 0,50	Mau
d ⁿ 0,40	Péssimo

Resultados e discussão

Durante os dias de medida, a altura média da área de pastagem mista foi 0,41 m e na área com predominância de *brachiária humidícula* a altura média foi 0,18 m.

Os valores médios observados da velocidade do vento foram superiores a 2,0 m.s⁻¹, conforme recomendação de Viana (2001) para utilização do método da razão de Bowen.

Os fluxos de calor latente estimados entre os níveis 1-2, 2-3 e 1-3 foram comparados por meio da análise de variância (ANOVA), não diferindo significativamente entre si. Apesar disso, em alguns dias os valores da razão de Bowen (β) estiveram fora do limite de confiança para os níveis 2-3, devendo estar entre -0,5 e 0,5, como sugerido por Pereira et al. (1997). No interior da camada limite, os gradientes de temperatura e pressão de vapor d'água diminuem com a distância da superfície, enquanto que os coeficientes de difusão diminuem no mesmo sentido, de modo a manter os fluxos constantes (Hayashi et al., 2002). Quando estes gradientes foram obtidos com os dois níveis mais distantes da superfície, mostraram-se menores e em algumas horas invertendo o sentido do gradiente, acarretando em um número maior de erros em β .

A variação nos valores da razão de Bowen, considerando-se os níveis 1-3, pode ser visualizada na Figura 2.

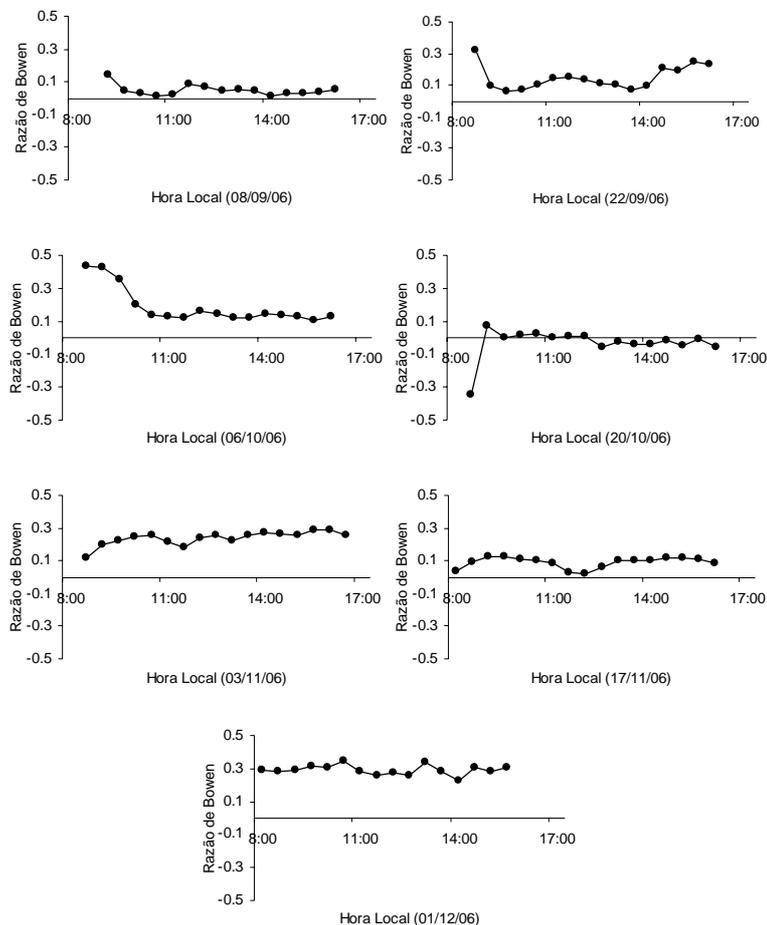


Figura 2. Valores da razão de Bowen para o cálculo da evapotranspiração nos dias de medida.

Pelas curvas caracterizadas para cada dia e os baixos valores de β , verifica-se que a maior parcela da energia recebida no sistema foi utilizada para evapotranspiração, indicando que o solo estava em condições de umidade adequada para suprir a demanda hídrica e a atmosfera apresentava condições de forte demanda evaporativa. Nota-se que apenas no dia 20/10/06, em grande parte do dia o β foi negativo, indicando o aporte de uma fonte adicional de calor no processo de mudança do estado físico da água. Isto também foi observado por Cunha et al. (1996) e Farias et al. (2004), ambos

os trabalhos com cultivo de milho, sendo que os valores de β em seus estudos decresceram durante o dia, e no início da manhã e final da tarde β apresentaram-se negativos em virtude da temperatura da superfície ter sido menor que a atmosférica.

Os valores totais da partição de energia disponível (R_n) em fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e densidade de fluxo de calor no solo (G), durante os sete dias de coleta de dados, podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores da partição de energia disponível (R_n) em fluxo de calor latente (LE), sensível (H) e densidade de fluxo de calor no solo (G).

Data	G/Rn	LE/Rn	H/Rn	LE/(Rn+G)
08/09/06	38.21	55.45	2.55	89.74
22/09/06	12.87	77.47	9.65	88.92
06/10/06	20.81	62.68	10.49	85.66
20/10/06	7.50	75.96	16.53	82.12
03/11/06	22.58	62.64	14.78	80.91
17/11/06	41.12	54.22	4.66	92.07
01/12/06	11.51	68.48	20.01	81.96

As pastagens foram mantidas em repouso do dia 08/09/06 a 20/10/06, sendo possível observar a diminuição da fração da energia disponível para o aquecimento do solo com o aumento do grau de cobertura do solo. No dia 24/10/06, houve a entrada de bovinos para o pastejo, aumentando a fração da energia disponível para o aquecimento do solo. Hayashi et al. (2002), em seus estudos com *Crotalaria juncea* L. pelo método da razão de Bowen, também mostraram que o fluxo de calor no solo registrado em todos os dias no decorrer do estudo apresentou-se predominantemente descendente, representando uma perda efetiva de energia do sistema nos períodos de observação.

O valor médio da quantidade de energia usada na evapotranspiração (LE), nos dias observados, para a pastagem mista foi de 62,31%, e para a braquiária de 69,22%. Esta ordem de grandeza tem sido o padrão nas determinações do balanço de energia de forrageiras que empregaram o método da razão de Bowen, como observado nos trabalhos de Meirelles et al. (2001), em pastagem e Silva et al. (2005) em capim-tanzânia.

Nota-se pela Figura 3 que o fluxo de calor latente (LE) sistematicamente foi o componente que consumiu a maior fração da energia disponível. Resultados similares foram encontrados por Villa Nova (1973), Campelo Júnior (1978), Cunha et al. (1993), Cunha & Bergamaschi (1994), Alves et al. (1998), Hayashi et al. (2002) e Farias et al. (2004), os quais observaram que a maior parte do saldo de radiação (Rn) foi utilizada na evapotranspiração da cultura.

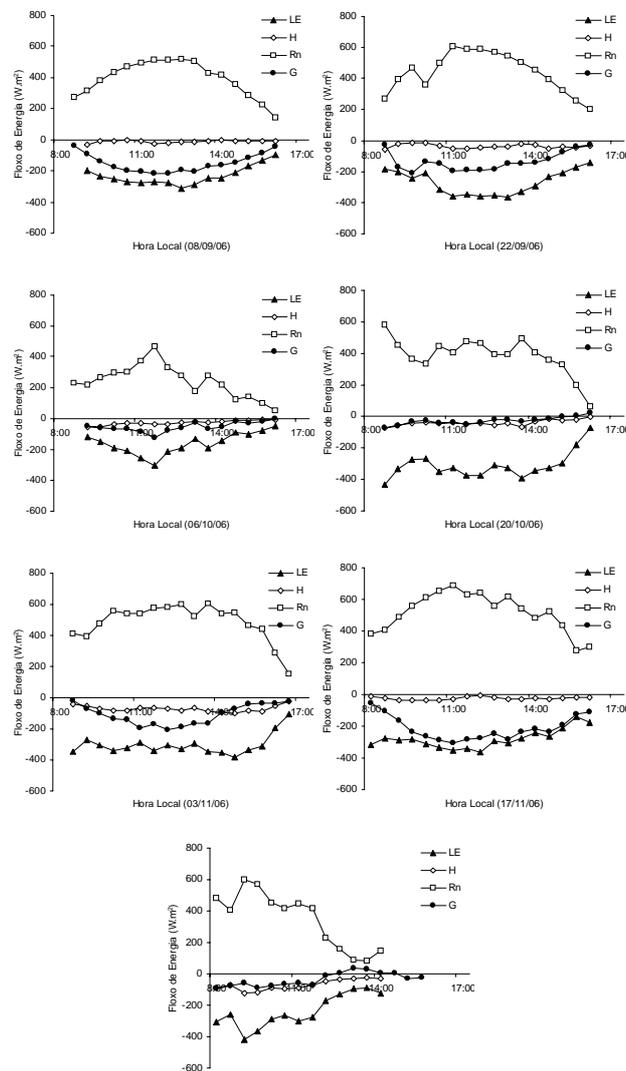


Figura 3. Variação do saldo de radiação (Rn), fluxo de calor latente (LE), fluxo de calor sensível (H) e densidade de fluxo de calor no solo (G) durante os dias de estudo.

Neste trabalho, a evapotranspiração foi calculada para o mesmo período de medida do Rn , pois segundo Oliveira & Leitão (2000), erros expressivos podem ser cometidos na estimativa da evapotranspiração (ET) quando Rn não é medido ou estimado corretamente para o mesmo período de tempo considerado para ET com diferenças de até $2,2 \text{ MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$.

A correlação entre os valores diários da evapotranspiração estimados pelo método FAO-56 Penman-Monteith e a evapotranspiração pelo método da razão de Bowen entre os níveis 1-2, para todos os dias do estudo, está apresentado na Figura 3. Pode-se observar que o valor do coeficiente de determinação foi de 0,81, implicando em uma boa correlação entre os valores estimados. O valor do coeficiente de Wilmott foi de 0,94 mostrando uma boa precisão entre as estimativas. Por conseguinte, o índice “c” apresentou um valor de 0,87, considerando um ótimo desempenho.

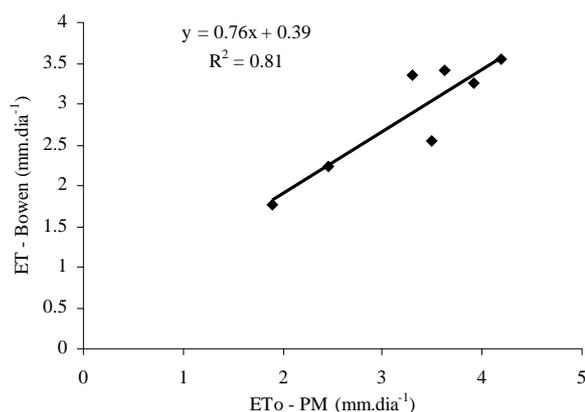


Figura 4. Correlação entre os valores de evapotranspiração de referência pelo modelo FAO-56 Penman-Monteith e a evapotranspiração obtida pelo método da razão de Bowen.

Os resultados mostram uma boa concordância dos valores de ET estimados com o método da razão de Bowen e os valores de ET_0 obtidos pelo modelo FAO-56 Penman-Monteith para os três níveis. O índice de concordância foi ótimo para os níveis 1-2 e 1-3, no entanto, para os níveis 2-3, este índice foi bom. Essa diferença, quando tomados os níveis mais altos, se deve à ausência de gradiente de temperatura e de pressão de vapor d'água, provocados pela diminuição da condução de calor da cultura e pelo aumento da velocidade do vento com o aumento da altura dos sensores.

Tabela 3. Resultados do teste de precisão (r), de exatidão (d) e de confiança (c) referentes ao modelo FAO-56 Penman-Monteith e ao método da razão de Bowen, para cada nível, para todos os dias de medida.

Níveis	d	r	c	
1 – 2	0.94	0.92	0.87	Ótimo
2 – 3	0.89	0.82	0.73	Bom
1 – 3	0.93	0.93	0.87	Ótimo

Os desempenhos bom a ótimo (tabela 3) mostrados na comparação entre os métodos da razão de Bowen e o modelo FAO-56 Penman-Monteith no período de coleta de dados, se referem aos níveis 1-2 e 1-3. Isto se deve ao fato de que ao se tomar a posição 1 (0,55 m), próxima a superfície da cultura, para o cálculo da evapotranspiração pelo método da razão de Bowen, com solo sob capacidade de campo, pode facilitar a ocorrência de gradiente de pressão de vapor d'água. No entanto, Cardoso et al. (2005), não obteve resultados semelhantes quando utilizou para o primeiro nível a altura de 0,25 m, porque em baixas alturas há, provavelmente, a ocorrência de menores valores de velocidades do vento.

Conclusões

A estimativa da evapotranspiração pelo método da razão de Bowen foi influenciada pela altura dos instrumentos utilizados. Quando se utilizou instrumentos nos níveis 2-3, esses não apresentaram gradiente de temperatura e pressão de vapor d'água suficiente para o cálculo da razão de Bowen.

O saldo de radiação na área de *Panicum maximum*, *Elyonurus muticus* e *brachiária humidícula* foi utilizada prioritariamente como calor latente.

A estimativa da evapotranspiração pelo método da razão de Bowen e pelo modelo FAO-56 Penman-Monteith apresentou uma boa correlação linear quando tomados os níveis 1-2 e 1-3, no entanto o índice de exatidão (d) apresentou-se inferior em alguns dias, diminuindo o coeficiente de confiança (c).

Referências bibliográficas

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. *Crop evapotranspiration: Guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO, 1998. 300 p. (Irrigation and Drainage Paper, 56).
- ALLEN, R. G., PEREIRA, L. S., RAES, D., SMITH, M. *Evapotranspiración del cultivo*. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. ESTUDIO FAO RIEGO Y DRENAJE 56. Roma: FAO, 2006. 323p.
- ALVES, A.V.; AZEVEDO, P.V.; SILVA, B. B. Balanço de energia e reflectância de um cultivo de melão. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 6, n. 2, p. 139-146, 1998.
- CAMARGO, A. P., SENTELHAS, P. C., Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no estado de São Paulo, Brasil. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 5, n. 1, p. 89-97, 1997.
- CAMPELO JÚNIOR, J.H. *Determinação de evapotranspiração pelo método do balanço de energia – Análise de erros instrumentais*. Piracicaba: USP, 1978. 79 p. Dissertação (Mestrado em Agrometeorologia) - Programa de Pós-Graduação em Agrometeorologia. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo. 1978.
- CARDOSO, G. B.; VIANA, T. V. A.; AZEVEDO, B. M. SOUSA, V. F.; SOUZA, F. Determinação da ET de referência pela razão de Bowen com psicômetros instalados a diferentes alturas. *Revista Ciência Agronômica*. v. 36, n.1, p. 16–23, 2005.
- CUNHA, G.R. et al. Balanço de radiação em alfafa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 1-10. 1993.
- CUNHA, G.R.; BERGAMASCHI, H. Balanço de energia em alfafa. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 2, p. 9-16, 1994.
- CUNHA, G.R. et al. Balanço de energia em cultura de milho. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-14. 1996.
- 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 de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 12, n. 2, p. 227-233, 2004.
- 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.

HAYASHI, M. M. S.; CAMPELO JR, J. H.; PRIANTE FILHO, N. NOGUEIRA, J. S.; VOURLITIS, G. L. – Balanço de energia da *Crotalaria Juncea* L. no período seco e úmido do ano, em condições de cerrado. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.10, n.2, p. 197-205, 2002.

MANTOVANI, E. C. *Desarrollo y evaluación de modelos para el manejo del riego: Estimación de la evapotranspiración y efectos de la uniformidad de aplicación del riego sobre la producción de los cultivos*. 1993. 184p. Tese de Doutorado - Universidad de Córdoba.

MEIRELLES, M. L.; FARIAS, S. E. M.; FRANCO, A. C. *Balanço de energia de uma pastagem cultivada no cerrado*. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 81. Planaltina-DF: EMBRAPA, 2003. 14 p.

OLIVEIRA, G. M. & LEITÃO, M. M. V. L. R. Estimativas de evapotranspiração e as conseqüências devido aos erros na determinação de saldo de radiação e efeitos advectivos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. Campina Grande, PB. v.4, n.3, p.343-347, 2000.

PEREIRA, A. R.; VILLA NOVA, N. A.; SEDIYAMA, G. C. *Evapo(transpi)ração*. 1. ed. Piracicaba, SP: FEALQ, 1997. 183p.

SEDIYAMA, G.C. Estimativa da evapotranspiração: histórico, evolução e análise crítica evapotranspiration estimate: historic, evolution and critical analysis. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. Santa Maria, v. 4, n. 1, p. 1-12, 1996.

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, *Anais...* Fortaleza, v.2, p.923.

SILVA, L. D. B. da, FOLEGATTI, M. V., VILLA NOVA, N. A. Evapotranspiration of Guinea grass using automated Bowen ratio system and lysimeter. *Revista Engenharia Agrícola*. v.25, n.3, p.705-712. 2005.

SORIA, L. G. T. *Produtividade do capim-tanzânia (*Panicum maximum* jacq. cv. Tanzânia) em função da lâmina de irrigação e adubação nitrogenada*. 2002. 167f. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

TEIXEIRA, F. A., PIRES, A. J. V., VELOSO, C. M., Intensidade de pastejo sobre a produção, qualidade e perdas em *Panicum maximum*.

Revista Eletrônica de Veterinária REDVET (<http://www.veterinaria.org/revistas/redvet>). v. 6, n. 10, 2005.

VESCOVE, H. V., E. P. TURCO, J. E. P. Comparação de três métodos de estimativa da evapotranspiração de referência para a região de Araraquara – SP. *Revista Engenharia Agrícola de Jaboticabal*. v. 25, n. 3, p. 713-721, 2005.

VIANA, T. V. A. *Evapotranspiração obtida como sistema razão de Bowen e um lisímetro de pesagem em ambiente protegido*. 2001. 138p. Tese (Doutorado em Irrigação e Drenagem) Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba.

VILLA NOVA, N.A. *Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz*. Piracicaba, SP: ESALQ-USP, 1973, 78p. Tese de Livre Docência

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.

WILLMOTT, C. J., Some comments on the evaluation of model performance. *Bulletin American Meteorological Society*, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.