

# ANÁLISE DO GRADIENTE VERTICAL DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO PELO MÉTODO DA RAZÃO DE BOWEN EM UM POMAR DE MANGUEIRAS SOB CONDIÇÕES DE CERRADO

Nara Luísa Reis de Andrade<sup>1</sup>, Segundo Durval P. Rezende<sup>1</sup>, Édina C. R. de Freitas Alves<sup>1</sup>,  
Guilherme Barros Seixas<sup>1</sup>, Flair José Carrilho Sobrinho<sup>1</sup>, Carlo Ralph de Musis<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso - UFMT

<sup>2</sup> Coordenação de Pesquisa (Cpq), Universidade de Cuiabá –UNIC

Apresentado no XVI Congresso Brasileiro de Agrometeorologia – 22 a 25 de Setembro de 2009 – GranDarrell Minas Hotel, Eventos e Convenções – Belo Horizonte – MG.

**Resumo** – O presente estudo foi conduzido na Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso (FAMEV-UFMT), no Município de Santo Antônio do Leveger (56° 04' 11" O; 15° 50' 54" S, e altitude: 153m), com o objetivo de analisar a variação espacial vertical da evapotranspiração da cultura (ET<sub>c</sub>) de um pomar de mangueiras (*Mangífera indica*), irrigado por microaspersão, sob condições de cerrado. O experimento foi realizado entre os meses de agosto e outubro de 2007. Uma torre micrometeorológica foi montada no meio do pomar para medidas de variáveis atmosféricas, equipada com um saldo radiômetro, três psicrômetro e um fluxímetro de calor no solo. A partir dos dados coletados, a ET<sub>c</sub> foi estimada pelo método da razão de Bowen, para três diferentes gradientes verticais de temperatura, e os respectivos resultados analisados no programa geostatístico Surfer (Golden Software, Inc.). Foram observados indícios de que a utilização de diferentes  $\Delta z$ 's, sob condições de heterogeneidade do gradiente vertical de temperatura, implicam em alterações nas estimativas de ET<sub>c</sub>.

**Palavras-chave:** Saldo de radiação, fluxos de calor latente, razão de Bowen, geostatística.

## INTRODUÇÃO

No Centro Oeste brasileiro, apesar das pesquisas e investimentos proporcionarem um crescimento na mangicultura matogrossense, são escassos os estudos relacionados ao uso do método para o cálculo da evapotranspiração, e a determinação da demanda hídrica é um dos principais parâmetros para o correto planejamento, sendo necessário o conhecimento da transferência de água, na forma de vapor, da superfície vegetada para a atmosfera, para uso eficiente de água e energia.

Estudos em todo o mundo (HELD et al., 1990; BAUSCH & BERNARD, 1992; CELLIER & OLIOSO, 1993) e no Brasil (ANDRÉ & VISWANADHAM, 1986; ÁVILA NETTO, 1997; MOURA, 2001) têm feito uso da aplicação do balanço de energia baseado no método da razão de Bowen para estimativa do fluxo de calor latente e, conseqüentemente, da evapotranspiração da cultura.

Como o método da razão de Bowen baseia-se na equação do balanço de energia e, conseqüentemente, nos gradientes de temperatura e umidade, erros no cômputo da mesma estão

mais susceptíveis a ocorrer em pomares, como estudo que aponta resultados inconsistentes do método verificados por DAAMEN et al., 1999, BRAUN et al., 2000 e LOPES et al., 2001.

A teoria dos gradientes dos fluxos assume que, no limite da camada superficial, em determinado tempo, o fluxo turbulento é constante e independente da distância vertical ( $\Delta z$ ) considerada, em condições isentas ou de baixa advecção, o que não é um comportamento constantemente observado em pomares. O objetivo deste trabalho foi analisar a influência do  $\Delta z$  considerado para obtenção do gradiente vertical da temperatura na estimativa da evapotranspiração, utilizando o método da razão de Bowen, para um pomar experimental de mangueiras (*Mangifera indica*) a partir de modelos geoestatísticos obtidos utilizando-se o software Surfer.

## MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado na Fazenda Experimental da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da Universidade Federal de Mato Grosso (FAMEV), localizada à 33 Km de Cuiabá/MT, no Município de Santo Antônio do Leveger (56° 04' 11" O; 15° 50' 54" S, e altitude: 153 m). O sítio experimental apresenta clima do tipo Aw, segundo a classificação de Köppen, solo Podzólico e vegetação de cerrado. A temperatura média mensal varia de 22°C a 27,2°C, e a precipitação média anual é de 1320 mm.ano<sup>-1</sup> (CASEIRO et al., 1997).

Os estudos foram conduzidos em um pomar de mangueira (*Mangifera indica*), com árvores de 4 anos de idade, com espaçamento de 6 x 8 m, irrigadas diariamente, por microaspersão, com rega de aproximadamente 30 L planta<sup>-1</sup>.

Entre os meses de agosto e outubro de 2007, em cinco dias alternados durante o ciclo da cultura, uma estação automática instalada no centro da área do pomar, forneceu os dados micrometeorológicos instantâneos que sempre foram coletados no período diurno, a cada um minuto, em intervalos situados entre 8:00h e 18:00h, e as médias foram computadas a cada dez minutos.

Em um mastro de 4m de altura, foram empregados sensores instalados em três níveis acima do dossel, correspondendo às alturas, 0,9m ( $h_1$ ); 1,3m ( $h_2$ ) e 1,7m ( $h_3$ ), padronizados para todos os dias de observação.

Para armazenamento e coleta dos dados, foram utilizados, respectivamente, um Datalogger modelo ELE (International, Bedfordshire, UK) modelo MM900, três psicrômetros com sensores de fio de platina TH0580 (PP SYSTEMS, Hitchin, UK), um Saldo-Radiômetro Done Net Radiometer 3032 – A (Novalynx, Co, Grass Valley, CA, USA), instalados acima do dossel da cultura e um Fluxímetro de calor no solo (G), HFT – 3 (Campbell Scientific Inc., Logan, UT, USA) a 2cm de profundidade, a 1,0m do mastro.

### *Estimativa de ETc pelo método de Bowen*

Para determinação da evapotranspiração da cultura (ETc), foram empregados dados de saldo de radiação (Rn), de fluxo de calor no solo (G) e dos gradientes de temperatura do ar ( $\Delta T$ ) e temperatura do bulbo úmido ( $\Delta Tu$ ), medidos em três alturas acima da superfície.

A partir dos valores coletados, o fluxo de calor latente (LE) foi obtido pelo método do balanço de energia baseado na razão de Bowen -  $\beta$  (BOWEN, 1926; TANNER, 1960), conforme a equação 1.

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

Sendo  $\beta$  obtido de acordo com a equação 2.

$$\beta = \frac{H}{LE} = \left[ \frac{(s + y)}{y \left( \frac{\Delta Tu}{\Delta Ts} \right)} - 1 \right]^{-1} \quad (2)$$

Em que, da equação 1,  $R_n$  ( $W m^{-2}$ ) é a radiação líquida,  $LE$  ( $W m^{-2}$ ) é o fluxo de calor latente e  $G$  ( $W m^{-2}$ ) é o fluxo de calor no solo, e  $\beta$  é a razão de Bowen. Na equação 2,  $H$  ( $W m^{-2}$ ) é o fluxo de calor sensível,  $s$  ( $kPa \cdot ^\circ C$ ) é a tangente à curva de pressão de vapor saturante,  $\gamma$  é a constante psicrométrica ( $kPa/^\circ C$ ),  $\Delta T_u$  ( $^\circ C$ ) é o gradiente de temperatura do bulbo úmido entre dois níveis de medida e  $\Delta T_s$  ( $^\circ C$ ) é o gradiente de temperatura do ar entre dois níveis de medida. Foram considerados os gradientes  $\Delta T_{1,2}$ ,  $\Delta T_{2,3}$  e  $\Delta T_{1,3}$  para validação das estimativas de  $LE$ , onde  $T_1$ ,  $T_2$  e  $T_3$  são as temperaturas referentes aos psicômetros instalados, respectivamente, nas alturas  $h_1$ ,  $h_2$ ,  $h_3$ .

Adotando simplificações propostas por PEREIRA et al., (1997), tem-se que:

$$\beta = \left[ \frac{\Delta T_u}{(1-W)\Delta T_s} - 1 \right]^{-1} \quad (3)$$

Em que  $W = s/(s+\gamma)$  é o fator de ponderação, e pode ser calculado por meio de equações propostas por WILSON & ROUSE (1972) apud PEREIRA et al., (1997) e VISWANADHAM et al., (1991).

Para a validação dos dados de  $\beta$ , seguiu-se a recomendação proposta por SOARES (2003), para situações de solo úmido, de modo que foram excluídos valores fora do intervalo  $-0,7 < \beta < 0,7$ .

O balanço de energia foi obtido através da equação 4 onde, desconsiderou-se os efeitos de advecção, as trocas de calor no dossel e a energia consumida no processo de fotossíntese. Os fluxos foram considerados negativos quando dirigidos para a copa da planta (do ar para a superfície).

$$R_n = H + LE + G \quad (4)$$

Foram considerados os valores do balanço de energia correspondentes ao período diurno e em que  $R_n$  se apresentou maior que zero (PRUEGER et al., 1997; SOARES et al., 2007).

Os resultados obtidos para  $ET_c$  foram estimados para três diferentes gradientes verticais de temperatura de acordo com as alturas dos psicômetros.

Por meio de análises geoestatísticas, foram observadas as variações espaciais de  $ET_c$ , em relação às alturas médias entre os equipamentos, sendo as médias de  $h_{1,2}$ ,  $h_{1,3}$  e  $h_{2,3}$  de 1,1m, 1,3m e 1,5m. Os mapas de isolinhas da evapotranspiração foram gerados a partir do programa Surfer (Surface Mapping System – Golden Software, Inc.).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período em estudo, foram observados os seguintes aspectos meteorológicos na região, de acordo com dados provenientes da estação climatológica Padre Ricardo Remetter: a temperatura média do ar foi de  $24,8^\circ C$  no mês de agosto,  $29,9^\circ C$  em setembro e  $29,5^\circ C$  em outubro, a umidade relativa do ar média de 57%, 49% e 62,84% e a velocidade do vento média de  $1,63m s^{-1}$ ,  $1,27m s^{-1}$  e  $1,56m s^{-1}$ , na mesma ordem cronológica. Vale destacar que os meses de agosto e setembro estão compreendidos na estação seca, com precipitação pluviométrica próxima a 0mm, e, no mês de outubro, inicia-se a transição entre as estações seca-chuvosa, com precipitação de 53mm.

A evapotranspiração da cultura estimada pelo método da razão de Bowen, para os  $\Delta T$ 's obtidos entre as diferentes alturas analisadas, apresentou os resultados descritos na Tabela 1. De um modo geral, o estrato  $h_{1,3}$  tendeu a apresentar maiores resultados em relação aos demais, sendo a  $ET_c$  da cultura no estrato  $h_{1,3}$  equivalente a +134% , +12,12%, 0%, +57,89% e -10,9% de  $h_{1,2}$  e +146,15%, +2,77%, -2,63%, +25% e -19,67% de  $h_{2,3}$ , respectivamente nos dias 20/08, 03/09, 17/09, 01/10 e 22/10.

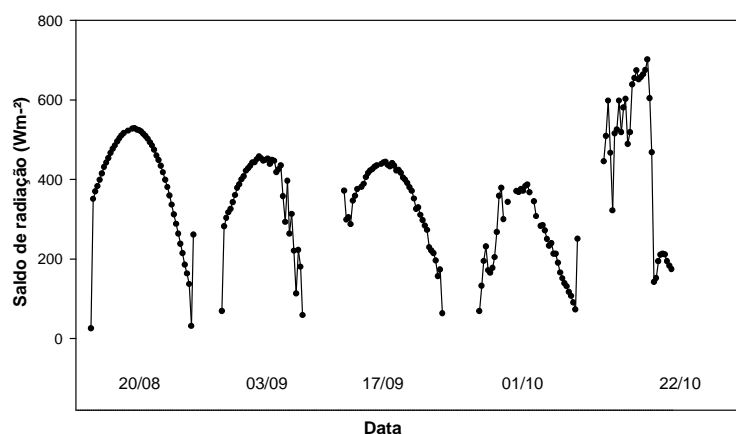
Baseado na literatura, os resultados obtidos para  $ET_c$  em  $h_{1,2}$  e  $h_{2,3}$  aparentam ser os mais apropriados (LOPES, 1999; AZEVEDO et al., 2002).

**Tabela 1:** Valores médios, mínimos e máximos de evapotranspiração da cultura (ETc) de um pomar de mangueiras irrigado, nos estratos verticais  $h_{1,2}$ ,  $h_{2,3}$  e  $h_{1,3}$  - Santo Antônio do Leverger, MT.

Data	ETc (mm.d <sup>-1</sup> )								
	$h_{1,2}$			$h_{1,3}$			$h_{2,3}$		
	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima	Média	Mínima	Máxima
	Mínima	Máxima							
20/08/2007	4,1	2,2	5,8	9,6	0,29	17,2	3,9	0,7	8,9
03/09/2007	3,3	0,5	4,5	3,7	0,7	10,0	3,6	0,5	5,0
17/09/2007	3,7	0,5	6,7	3,7	0,1	10,0	3,8	0,5	7,1
01/10/2007	1,9	0,1	3,6	3,0	0,3	7,2	2,4	0,8	3,6
22/10/2007	5,5	1,5	8,0	4,9	1,4	8,0	6,1	2,0	11,4

Dentre os elementos climáticos que estão mais relacionados à evapotranspiração, pode-se citar a radiação solar, responsável pelo aporte de energia necessária para que o processo físico ocorra, e umidade e temperatura do ar, que juntas definem o déficit de pressão de vapor próximo à superfície evaporante (LOPES, 1999).

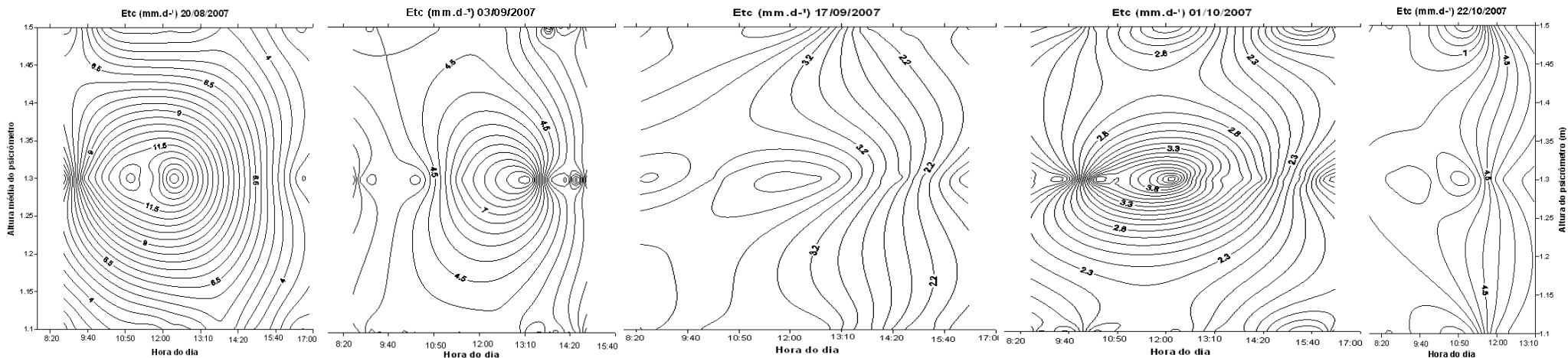
Deste modo, nos dias com maiores valores de saldo de radiação (Rn), como apresentado na Figura 1, também são encontrados maiores valores de ETc (20/08 e 22/10), enquanto nos dias 03/09, 17/09 e 01/10, onde a presença de nuvens e/ou aerossóis contribuíram para a atenuação de Rn, foram observados menores taxas evapotranspirativas.



**Figura 1:** Fluxos de energia de saldo de radiação (Rn) em um pomar de mangueiras irrigado, referentes ao ciclo diurno das 08:00h às 18:00h, nos dias 20/08 (n=38), 03/09 (n=37), 17/09 (n=44), 01/10 (n=40) e 22/10 (n=32) do ano de 2007 – Santo Antônio do Leverger, MT.

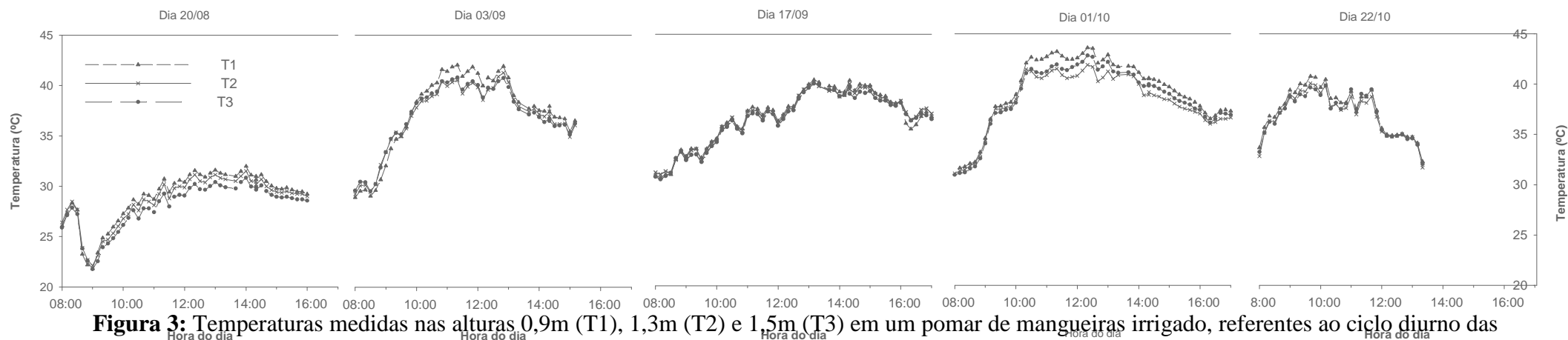
Analisando o isomapa de ETc (Figura 2), observa-se que, durante todo o período estudado, há um comportamento diário típico, nos três gradientes analisados, com incremento de ETc a partir das 8:00h, chegando a valores máximos em horários próximos às 12:00h. Ao final da tarde, esses valores tendem a decair.

Com relação à distribuição espacial vertical, os valores de ETc tendem a ser superestimados nos pontos médios do gradiente (próximo ao gradiente médio de 1,3m), como observado anteriormente na Tabela 1, o que representa a diferença entre as temperaturas T1 e T3. No entanto, essa variação aparenta estar diretamente relacionada às variações do gradiente vertical de temperatura, de modo que nos dias 20/08, 03/09 e 01/10, onde os as variações entre as temperaturas T1, T2 e T3 foram maiores do que nos demais dias (conforme Figura 3), a ETc, utilizando as temperaturas extremas T1 e T3, tendeu a ser superestimada, sugerindo uma influência devido ao maior  $\Delta z$ . Nos dias 17/09 e 22/10, onde o gradiente vertical de temperatura apresentou-se mais homogêneo, a ETc estimada nos diferentes gradientes apresentou-se também homogênea.



**Figura 2:** Isomapas de evapotranspiração da cultura (Etc) de um pomar de mangueiras irrigado estimada em diferentes gradientes, referentes ao ciclo diurno das 08:00h às 17:00h, nos dias 20/08, 03/09, 17/09, 01/10 e 22/10 do ano de 2007 – Santo Antônio do Leverger, MT.

\*Nos dias 17/09/2007 e 22/10/2007, os ciclos diários encerraram-se, respectivamente, às 15:00h e 13:00h.



**Figura 3:** Temperaturas medidas nas alturas 0,9m (T1), 1,3m (T2) e 1,5m (T3) em um pomar de mangueiras irrigado, referentes ao ciclo diurno das 08:00h às 17:00h, nos dias 20/08, 03/09, 17/09, 01/10 e 22/10 do ano de 2007 – Santo Antônio do Leverger, MT.

\*Nos dias 17/09/2007 e 22/10/2007, os ciclos diários encerraram-se, respectivamente, às 15:00h e 13:00h.

## CONCLUSÃO

A análise geoestatística, a partir dos isomapas, indicou haver influência do  $\Delta z$  adotado para obtenção das variações de temperaturas na estimativa da ETc pelo método da razão de Bowen, em especial em casos em que a temperatura apresentou comportamento vertical heterogêneo.

Portanto, sugere-se que sejam realizadas análises dos erros provenientes da variação do  $\Delta z$ , bem como a instalação de um maior número de sensores distribuídos verticalmente, a fim de testar a significância da influência dos diferentes estratos no cômputo de ETc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM, Y. Distribuição de energia numa vegetação de soja. **Revista Brasileira de Meteorologia**, Rio de Janeiro, v. 1, p. 29-37, 1986.
- ÁVILA NETTO, J. **Necessidades hídricas da videira na região do submédio São Francisco**. Campina Grande: UFPB, 1997. 86 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal da Paraíba, 1997.
- BAUSCH, W.C., BERNARD, T.M.,. Spatial averaging Bowen ratio system: description and lysimeter comparison. **ASAE paper no. 91-3026**, Vol. 35 (1), pp. 121–128,1992.
- BOWEN, I.S. The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any surface. **Physical Review**, New York, v. 27, p. 779-787, 1926.
- CASEIRO, F.T.; CAMPELO JUNIOR, J.H.; PRIANTE FILHO, N.Evapotranspiração máxima e coeficiente de cultura de milho (*Zea mays*, L.) no período seco, em Santo Antônio do Leverger – MT. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 5, n.2, p.177-182, 1997.
- CELLIER, P & OLIOSO, A. A simple system for automated log-term Bowen ratio measurement. **Agric. For. Meteorol.** 66, pp. 81–92, 1993.
- HELD, A.A.;STEDUTO, P.;ORGAZ, F.;MATISTA, A.; HSIAO, T.C. Bowen ratio energy-balance technique for estimating crop net CO<sub>2</sub> assimilation and comparison with a canopy chamber. **Theor. Appl. Climatol.** 42, pp. 203–213, 1990.
- LOPES, P. M. O. **Evapotranspiração da Mangueira na Região do Submédio São Francisco**. Campina Grande: DCA/CCT/UFPB, Dissertação de Mestrado, 108p, 1999.
- \_\_\_\_\_; DA SILVA, B. B.; AZEVEDO, P. V.; DA SILVA, V.P. R.; TEIXEIRA, A.R. C.; SOARES; ESPÍNOLA, J. Balanço de energia num pomar de mangueira irrigado. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.9, n.1, p. 1-8, 2001.
- MOURA, M.S.B. **Fenologia e consumo hídrico da goiabeira (*Psidium guava*, L.) irrigada**. Campina Grande: UFPB, 2001. 98 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia), Universidade Federal da Paraíba, 2001.
- PEREIRA, A.R.; VILLA NOVA, N.A.; SEDIYAMA, G.C. **Evapo(transpi)-ração**. 1 ed. Piracicaba: FEALQ. 183 p., 1997.
- PRUEGER, J. H.; HATFIELD, J. L.; AASE, J. K. et al. Bowen-ratio comparisons with lysimeter evapotranspiration. **Agronomy Journal, Madison**, v. 89, n.1, p. 730-736, 1997.
- SOARES, J. M.; DE AZEVEDO, P.V.; DA SILVA, B.B. Bowen ratio-energy balance associated errors in vineyards under dripping irrigation. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n.2, p. 233-240, 2007.
- TANNER, C.B. Energy approach to evapotranspiration from crops. **Soil Science of America Proceedings**, Madison, v, 24, p, 1-9, 1960.
- VISWANADHAM, Y.; SILVA FILHO, V. P.; ANDRE, R. G. B. The Priestley-Taylor parameter  $\alpha$  for the Amazon forest. **For. Ecol. Manage**, 38:211-255, 1991.
- WILSON, R.G., ROUSE, W.R. Moisture and temperature limits of the equilibrium evapotranspiration model. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 11, p. 436-442, 1972.