

**COMPARAÇÃO ENTRE DOIS MODELOS USADOS NA ESTIMATIVA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO REAL DA CULTURA DA SOJA**

Henrique Luís Pierdoná<sup>1</sup>, Adriano Cesar Pereira de Paula<sup>2</sup>, Cícero Lopes da Silva<sup>3</sup>, Morris Scherer Warren<sup>4</sup> & Lineu Neiva Rodrigues<sup>5</sup>

1 - Engenheiro Agrônomo, UnB, Brasília-DF. *E-mail*: hl.2000@hotmail.com.

2 - Engenheiro Agrônomo, Mestre em Agronomia, UnB, Brasília-DF. *E-mail*: cesar.adriano087@gmail.com.

3 - Engenheiro Agrícola, Doutor, Professor da Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária da UnB, Brasília-DF. *E-mail*: cicero@unb.br.

4 - Geógrafo, Doutor, Especialista em Geoprocessamento da Agência Nacional de Águas, Brasília-DF. *E-mail*: morris@ana.gov.br.

5 - Engenheiro Agrícola, Doutor, Pesquisador da Embrapa Cerrados, Brasília-DF. *E-mail*: lineu.rodrigues@embrapa.br.

**Palavras-chave:**

agrometeorologia  
evapotranspiração de referência  
fluxo de calor sensível  
resistência superficial

**RESUMO**

Qualquer tentativa de melhoria da eficiência do uso da água na agricultura deve ser fundamentada em estimativas confiáveis da evapotranspiração real das culturas. Entre as metodologias aplicadas para esse propósito, a mais utilizada é aquela que se baseia no coeficiente de cultivo e na evapotranspiração de referência, a qual é difícil de ser adequadamente estimada em razão da falta de padronização das estações meteorológicas. O objetivo principal deste trabalho foi analisar as principais limitações dos métodos de Penman-Monteith 1965 e da razão de Bowen utilizados na estimativa da evapotranspiração real de uma cultura de soja. Os dados micrometeorológicos necessários aos métodos avaliados procederam de estações automáticas instaladas no interior da área irrigada por um pivô central localizado numa bacia hidrográfica de Brasília – Distrito Federal. A evapotranspiração real obtida pelo método de Penman-Monteith de 1965 ficou abaixo da obtida pelo método da razão de Bowen. Uma das razões para essa discrepância pode estar associada ao uso de valores de resistência superficial diferentes dos que realmente ocorreram durante o experimento. Pelo fato de o método da razão de Bowen não fazer uso da resistência superficial, sugere-se que este foi, neste trabalho, mais apropriado para estimar os valores da evapotranspiração real da cultura da soja.

**Keywords:**

agrometeorology  
reference evapotranspiration  
sensitive heat flow  
surface resistance

**COMPARISON BETWEEN TWO MODELS USED IN THE ESTIMATIVE OF THE ACTUAL SOYBEAN EVAPOTRANSPIRATION****ABSTRACT**

Any attempt to improve the efficiency of water use in agriculture should be based on reliable estimates of actual crop evapotranspiration. Among the methodologies applied for this purpose, the one most used is the one that uses the crop coefficient and the reference evapotranspiration, which is difficult to estimate properly due to the lack of standardized meteorological stations. The aim of this work was to analyze the main limitations of the Penman-Monteith 1965 and Bowen ratio methods used to estimate soybean actual evapotranspiration. Micrometeorological data needed for using these methods were provided by automatic stations installed within the irrigated area of a central pivot located in a basin in Brasília - DF. The actual evapotranspiration obtained by the Penman-Monteith 1965 method was smaller than that obtained by Bowen ratio method. These differences can be associated with the discrepancy between the values of surface resistance used in this study and those actually happened during the experiment. Due to Bowen ratio method not using surface resistance it suggests, in this work, that the Bowen ratio method was more appropriated in estimating soybean actual evapotranspiration.

## INTRODUÇÃO

A quantificação da demanda hídrica pelos cultivos agrícolas é importante em estudos de manejo de irrigação, zoneamento agrícola, estimativas de produção e estudos hidrológicos em geral (LENA *et al.*, 2011). A evapotranspiração é uma das variáveis mais ativas no ciclo hidrológico e principal componente do balanço hídrico em ecossistemas agrícolas (CARVALHO *et al.*, 2015), portanto, o conhecimento preciso dessa variável permite a adequada reposição hídrica necessária às culturas. Conforme RÁCZ *et al.* (2013), a evapotranspiração é limitada pela água possível de ser evaporada, bem como pelas características da cobertura vegetal do solo.

O manejo adequado da irrigação começa, entre outros fatores, com uma adequada estimativa da evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>). Segundo LI *et al.* (2013), o modelo de Penman-Monteith é uma das alternativas mais precisas e conhecidas para estimativa da ET<sub>o</sub>, embora o conhecimento do valor apropriado de ET<sub>o</sub> não seja garantia de obtenção de valores adequados da evapotranspiração da cultura. SKAGGS & IRMAK (2012) afirmam que a principal dificuldade para estimativa deste parâmetro começa com a determinação de ET<sub>o</sub> com base em dados climáticos de estações não padronizadas. O maior problema, de acordo com os autores supracitados, advém da grama, no que se refere à altura de corte e à não irrigação durante a estação de seca, afetando tanto os parâmetros aerodinâmicos quanto os energéticos.

Para contornar o problema citado, torna-se interessante o uso de equações que forneçam diretamente o valor da evapotranspiração real da cultura (ET<sub>rc</sub>), e uma metodologia possível de ser usada é o modelo original de Penman-Monteith de 1965 (PM65). Esta equação pode ser utilizada para o cálculo direto da evapotranspiração de qualquer cultura, desde que se determine adequadamente a resistência superficial ( $r_s$ ) e a resistência aerodinâmica do ar ( $r_a$ ). O modelo original de Penman-Monteith assume que todas as folhas se comportam como resistências em paralelo e que a

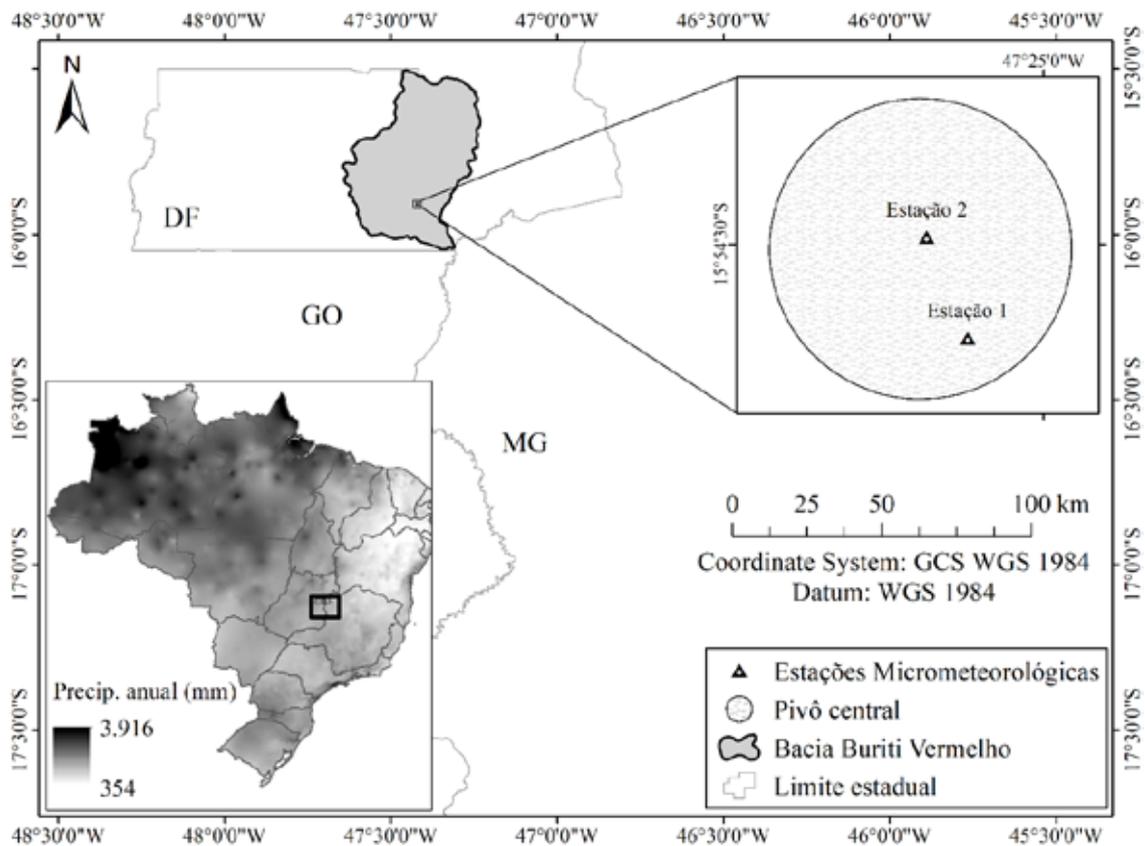
resistência superficial é igual à mínima resistência estomática dividida pela área da folha envolvida na troca de energia (GHARSALLAH *et al.*, 2013). Conforme os autores, o modelo aplica-se apenas a condições de solo bem irrigado, já que a resistência superficial modelada não leva em consideração o estado da água do solo ou da cultura.

Um método alternativo à equação PM65 que pode ser aplicado diretamente na estimativa da ET<sub>rc</sub> é o do balanço de energia fundamentado na razão de Bowen (RB) (BOWEN, 1926), que estabelece relação entre os fluxos de calor sensível e latente de uma superfície, dada pela razão entre a temperatura vertical do ar e os gradientes de pressão de vapor (IRMAK *et al.*, 2014). O método possui alta precisão e é frequentemente utilizado como referência para calibração de outros métodos usados no cálculo da evapotranspiração real (HU *et al.*, 2014). Entretanto, a consideração de fluxos somente na direção vertical e eventuais imprecisões nos gradientes de vapor podem prejudicar o desempenho do método (EUSER *et al.*, 2014).

Dada a importância da obtenção de estimativas mais precisas da evapotranspiração, o objetivo deste trabalho foi analisar a estimativa da evapotranspiração real de uma cultura de soja pelo modelo original de Penman-Monteith e pelo método da razão de Bowen a partir de variáveis micrometeorológicas tomadas em duas alturas, bem como analisar as principais limitações nas estimativas dadas pelos dois métodos.

## MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo de soja foi conduzido em uma área agrícola na bacia hidrográfica do Ribeirão Buriti Vermelho, localizada na região do Programa de Assentamento Dirigido do Distrito Federal (PAD-DF) (Figura 1). A área irrigada consistia de pivô central com capacidade para irrigar 90,6 hectares, com posição geográfica 15° 54' 31" S e 47° 25' 12" W e altitude média de 940 m. Segundo a classificação climática de Köppen, a região apresenta clima do tipo Aw, definido como tropical de savana com precipitação anual média de 1.400 mm (ALVARES *et al.*, 2013).



**Figura 1.** Localização da área experimental e disposição das estações micrometeorológicas no interior do pivô central cultivado com soja na bacia do Ribeirão Buriti Vermelho entre os meses de novembro de 2015 e fevereiro de 2016

A variedade de soja cultivada foi a “BMX Desafio RR”, semeada em 26/10/2015 e colhida em 12/02/2016. Os dados micrometeorológicos necessários aos métodos avaliados foram obtidos por duas estações automáticas instaladas no interior da área irrigada, posicionadas a 220 e 480 m da borda do pivô, conforme Figura 1. As estações foram montadas em 05/11/2015 e permaneceram no local até 12/02/2016, totalizando 100 dias de observação e garantindo o monitoramento da evapotranspiração em todo o ciclo da cultura. Os equipamentos referentes às estações micrometeorológicas constituíram-se de sensores de umidade relativa e temperatura do ar (083E Relative Humidity and Temperature Sensor), velocidade do vento (Met One 014A Wind Speed Sensor), saldo de radiação (CNR4 Net Radiometer), fluxo de calor no solo (HFP01 Soil Heat Flux Plate), conteúdo volumétrico de água no solo (CS650 Water Content Reflectometers) e pluviômetros (TB4 Rain Gage).

Os sensores de umidade relativa, temperatura do ar e velocidade do vento foram instalados a 1,0 e 2,0 m acima do nível do solo, correspondendo aos níveis 1 e 2, respectivamente. A altura padrão para determinação da temperatura do ar a ser usada na equação de PM65 é 1,5 m, por esse motivo, e em função das alturas dos sensores usados neste estudo, os valores da temperatura obtidos foram interpolados para obtenção de valores compatíveis com a altura padrão. Com relação à velocidade do vento, foram adotados os valores medidos a 2,0 m de altura. A radiação líquida foi obtida por um saldo radiômetro instalado a 1,8 m, e as placas de fluxo de calor no solo foram enterradas a 2,0 cm de profundidade. Todos os sensores foram conectados a um sistema automático de aquisição de dados (CR 3000 Measurement and Control System) programado para o armazenamento dos dados médios a cada intervalo de dez minutos.

Os cálculos referentes à ETrc pela razão de Bowen foram realizados por meio de planilhas

eletrônicas para cada período de dez minutos, determinando-se as diferenças de temperatura ( $\Delta T$ ) e de pressão real de vapor do ar ( $\Delta e$ ) entre os níveis 1 e 2, permitindo o cálculo da razão de Bowen ( $\beta$ ) pela equação 1.

$$\beta = \gamma \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (1)$$

em que,

$\Delta e$  = diferença da pressão real de vapor do ar entre os níveis 1 e 2, em kPa;

$\Delta T$  = diferença de temperatura do ar entre os níveis 1 e 2, em °C; e

$\gamma$  = constante psicrométrica, a qual em função da altitude da região estudada equivale a 0,06 kPa °C<sup>-1</sup>.

Visando à obtenção de valores adequados dos fluxos de calor latente e sensível, foram adotados critérios de filtragem de dados. Foram mantidos apenas aqueles dados em que as variações da leitura em dois momentos consecutivos ultrapassavam 0,01°C para temperatura e 0,1% para umidade relativa do ar, justificado pela precisão do equipamento e em conformidade com PEREZ *et al.* (1999). Além desses, também foram adotados os critérios sugeridos por PAYERO *et al.* (2003) e ORTEGA-FARIAS *et al.* (1996). Os eventuais valores de calor latente negativos no período entre 07 e 19 horas também foram descartados, admitindo-se que estes dados sejam advindos de momentos de condensação em virtude das precipitações e eventuais irrigações, evitando assim a propagação de erros. Nos casos em que os valores de  $\beta$  foram descartados, foi tomado o valor médio entre o antecedente e o precedente, preenchendo assim as falhas entre os momentos de aquisição dos dados.

Os fluxos de calor latente (LE) para cada estação foram obtidos pela equação 2 em intervalos de dez minutos e confrontados, para verificação da correlação dos valores de LE por meio da declividade, do intercepto e do coeficiente de determinação da equação da reta gerada.

$$LE = \frac{Rn - G}{1 + \beta} \quad (2)$$

em que,

Rn = saldo de radiação, em MJ m<sup>-2</sup>; e

G = Fluxo de calor no solo, em MJ m<sup>-2</sup>.

A partir de LE e do calor latente de vaporização da água ( $\lambda$ ), foi possível a determinação da evapotranspiração real da cultura (ETrc) por meio da equação 3 para cada intervalo de dez minutos. Em seguida, os valores foram acumulados para períodos de 24 horas e adotada a média entre as duas estações micrometeorológicas, obtendo-se assim a média diária de ETrc.

$$ETrc = \frac{LE \times 600}{\lambda} \quad (3)$$

em que,

ETrc = evapotranspiração real da cultura em um período de 10 minutos, em mm; e

$\lambda$  = calor latente de vaporização da água, em MJ kg<sup>-1</sup>.

A evapotranspiração real da cultura da soja pelo modelo original de Penman-Monteith em períodos de dez minutos foi calculada conforme equação 4. Os resultados também foram agrupados em períodos de 24 horas, para obtenção da evapotranspiração diária, e, da mesma maneira do caso anterior, obtiveram-se os valores médios diários de ETrc.

$$ETrc = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho_a c_p \left( \frac{e_s - e_a}{r_a} \right)}{\Delta + \gamma \left( 1 + \frac{r_s}{r_a} \right)} \quad (4)$$

em que,

$r_a$  = resistência aerodinâmica, em s m<sup>-1</sup>;

$r_s$  = resistência superficial, em s m<sup>-1</sup>;

$\Delta$  = declividade da curva de pressão de vapor, em kPa °C<sup>-1</sup>;

$c_p$  = calor específico do ar (0,001013 MJ kg<sup>-1</sup> °C<sup>-1</sup>); e

$\rho_a$  = densidade do ar, em kg m<sup>-3</sup>.

Os parâmetros  $\Delta$ ,  $c_p$  e  $\rho_a$  foram calculados de acordo com ALLEN *et al.* (1998). A resistência aerodinâmica do ar e a resistência superficial foram calculadas, respectivamente, pelas equações 5 e 6, também de acordo com ALLEN (1986).

$$r_a = \frac{\ln\left[\frac{z_v - d}{z_{ov}}\right] \ln\left[\frac{z_{UR} - d}{z_{oUR}}\right]}{k^2 u_z} \quad (5)$$

$$r_s = \frac{500 - 20,3R_n}{IAF} \quad (6)$$

em que:

$z_v$  = altura de medida da velocidade do vento, em m;

$z_{UR}$  = altura de medida da umidade relativa do ar, em m;

$d$  = altura de deslocamento do plano zero, em m;

$z_{ov}$  = comprimento da rugosidade de transferência de domínio do momentum, em m;

$z_{oUR}$  = comprimento da rugosidade transferência de domínio de calor e vapor, em m;

$k$  = constante de von Karman (0,41);

$u_z$  = velocidade do vento medida ( $m\ s^{-1}$ ); e

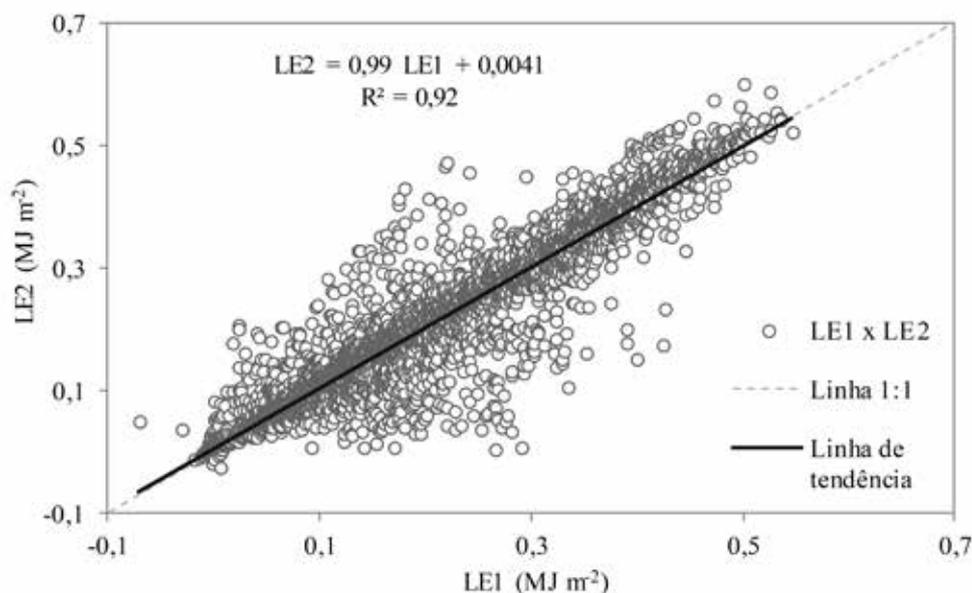
$IAF$  = índice de área foliar.

Para o uso de  $IAF$  e da altura da cultura, foi necessário interpolar os valores medidos em razão de esses dados terem sido obtidos em intervalos bissemanais. A determinação de  $d$ ,  $z_{ov}$  e  $z_{oUR}$ , no presente trabalho, também foi realizada seguindo recomendações de acordo ALLEN et al. (1998). A evapotranspiração real obtida pelos dois métodos

foi comparada para todo período de duração do experimento e para cada estágio fenológico de crescimento da cultura, adotando-se os períodos de 10 dias para a fase inicial, 30 dias para a fase de desenvolvimento, 40 dias para a fase reprodutiva e 20 dias para a fase final, conforme sugerido por CRUZ et al. (2010).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 2 apresenta a comparação dos valores de LE verificados nas duas estações, na qual se observa um coeficiente de correlação  $R^2$  igual a 0,92, indicando uma boa concordância entre os valores de LE obtidos. Além disso, a declividade da reta foi próxima à unidade e o intercepto próximo de zero, indicando que dentro de um mesmo intervalo de tempo LE apresentou valores semelhantes nas duas estações. Este comportamento, de acordo com EUSER et al. (2014), evidencia que as variáveis climáticas obtidas em duas alturas se apresentaram viáveis para utilização da razão de Bowen na estimativa de  $E_{Trc}$ . Ressalta-se aqui que a obtenção das variáveis climáticas em dois pontos, em detrimento de múltiplos pontos verticais, permite aplicação mais simples do método da razão de Bowen.



**Figura 2.** Correlação dos fluxos de calor latente (LE) no período de dez minutos das estações instaladas no interior do pivô central localizado na região da Bacia do Ribeirão Buriti Vermelho entre os meses de novembro de 2015 e fevereiro de 2016

No presente trabalho, o valor médio de  $\beta$  foi 0,07, enquanto as médias diárias de G e Rn foram, respectivamente, 0,40 e 15,86 MJ m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>. Os baixos valores de  $\beta$  e G observados, quando comparados com os valores de Rn, indicam que a maior parte do saldo de radiação foi consumida no processo de vaporização da água.

A Tabela 1 apresenta os resultados da evapotranspiração real da cultura da soja calculados pelos métodos estudados nos diferentes estádios fenológicos da cultura. A evapotranspiração real média total entre as duas estações foi 354 mm pelo método PM65 e 475 mm pelo método RB, correspondendo à média diária igual a 3,6 e 4,8 mm, respectivamente. Previamente ao início do experimento, determinou-se o conteúdo de umidade correspondente à capacidade de campo do solo trabalhado encontrando em base volumétrica o valor de 0,320 m<sup>-3</sup> m<sup>-3</sup>. Posteriormente, a cada duas semanas, determinou-se o conteúdo de umidade do solo, com a finalidade de calibrar os amostradores de umidade do solo das respectivas estações micrometeorológicas. No entanto, observou-se que em 88% das vezes o conteúdo de umidade encontrado foi maior ou igual ao correspondente à capacidade de campo, permitindo afirmar que os valores de ET<sub>rc</sub> encontrados poderiam se aproximar da evapotranspiração potencial da cultura.

Verificou-se que, durante o período estudado, o método PM65 subestimou os valores de ET<sub>rc</sub> em 25,4%, quando comparado com o método da RB, sendo que a subestimava foi maior no estágio

inicial da cultura (58,1%) e menor no final (6,3%). A explicação para isso é o baixo índice de área foliar da cultura na fase inicial, implicando elevados valores de  $r_s$  que contribuem para que os valores de ET<sub>rc</sub> sejam baixos. LHOMME & MONTES (2014) afirmam que, de maneira geral, o método de Penman-Monteith subestima os valores de ET<sub>rc</sub>, e uma razão para isso é que este método negligencia a evaporação direta do solo.

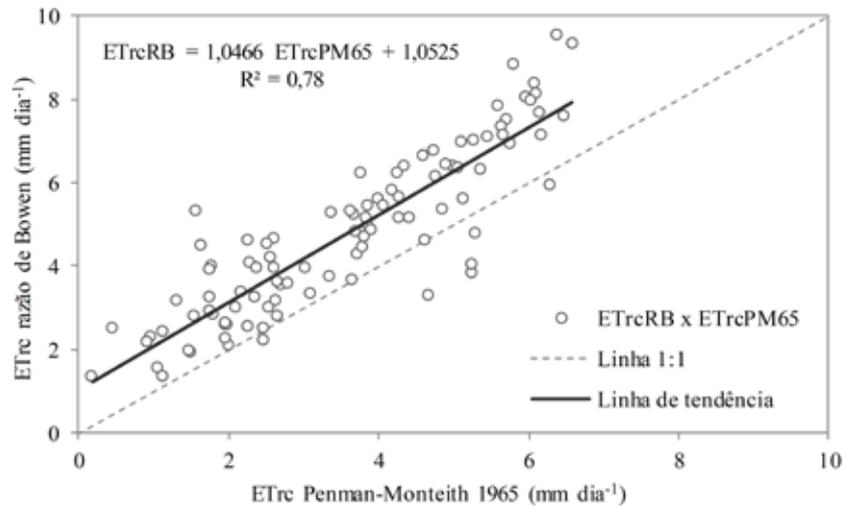
A Figura 3 apresenta a dispersão dos valores da evaporação calculados pelo método PM65 *versus* os valores calculados pelo método RB, sendo possível verificar que a declividade da reta próxima a 1,0 indica consistência entre os valores calculados, isto é, quando um variava o outro variava quase na mesma proporção. No entanto, o intercepto foi de aproximadamente 1,05, valor inferior a 1,2 verificado na Tabela 1. Isto significa que a subestimativa apontada pelo método PM65 ocorreu principalmente nos menores valores de ET<sub>rc</sub>, os quais foram observados no estágio inicial da cultura, quando o IAF era baixo.

SILVA *et al.* (2016), em um estudo realizado em Piracicaba-SP, verificaram que o método de Penman-Monteith (1965) subestimou os valores de ET<sub>rc</sub> da cultura da soja em comparação com os valores encontrados pela RB. GOMIDE *et al.* (2012) também verificaram uma superestimativa da evapotranspiração obtida pela razão de Bowen quando comparada ao método de Penman-Monteith nas culturas de milho e feijão na região de Sete Lagoas-MG.

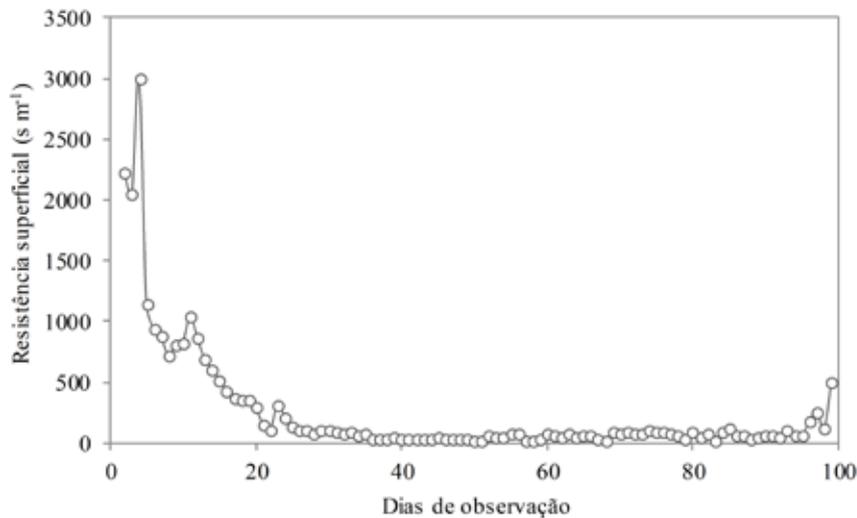
**Tabela 1.** Valores médios de ET<sub>rc</sub> e diferença em cada estágio de desenvolvimento da cultura da soja, bem como para todo ciclo conforme os métodos da razão de Bowen e de Penman-Monteith

Estádio de crescimento	Duração do ciclo (dias)	ET <sub>rc</sub> total (mm)	ET <sub>rc</sub> médio (mm dia <sup>-1</sup> )	Diferença entre métodos (mm)
Inicial	10	34 <sup>1</sup>	3,4 <sup>1</sup>	2,0
		10 <sup>2</sup>	1,4 <sup>2</sup>	
Desenvolvimento	30	149 <sup>1</sup>	5,0 <sup>1</sup>	1,5
		105 <sup>2</sup>	3,5 <sup>2</sup>	
Intermediário	40	210 <sup>1</sup>	5,3 <sup>1</sup>	1,3
		158 <sup>2</sup>	4,0 <sup>2</sup>	
Final	20	82 <sup>1</sup>	4,3 <sup>1</sup>	0,3
		76 <sup>2</sup>	4,0 <sup>2</sup>	
Ciclo total	100	475 <sup>1</sup>	4,8 <sup>1</sup>	1,2
		354 <sup>2</sup>	3,6 <sup>2</sup>	

<sup>1</sup>Resultados de ET<sub>rc</sub> dados pelo método da razão de Bowen. <sup>2</sup>Resultados de ET<sub>rc</sub> dados pela equação original de Penman-Monteith.



**Figura 3.** Correlação da evapotranspiração real da cultura da soja para todo ciclo da cultura, bem como a inserção da linha 1:1, com o intuito de realçar a visualização da sobrestimativa apresentada pelo método da razão de Bowen com relação ao método de Penman-Monteith de 1965



**Figura 4.** Comportamento da resistência superficial da cultura da soja conforme o índice de área foliar nas duas estações micrometeorológicas

A Figura 4 ilustra como os valores de  $r_s$  foram elevados na fase inicial, caindo à medida que a cultura se desenvolvia até atingir um valor médio de  $45 \text{ s m}^{-1}$  correspondente às fases de desenvolvimento e reprodutiva da cultura. Na fase final, este parâmetro se eleva novamente e alcança um valor médio de  $140 \text{ s m}^{-1}$ . Este comportamento é explicado pelos baixos valores de IAF comuns na fase inicial e final da cultura. Em um experimento com a cultura da soja realizado no estado de Nebraska, EUA, IRMAK et al. (2013) encontraram valores de  $r_s$  iguais a  $101,43$  e  $70 \text{ s m}^{-1}$  para os estádios inicial, desenvolvimento-reprodutivo e final, respectivamente. Comparando-se os resultados

de  $r_s$  encontrados e usados neste trabalho com os apresentados pelos autores citados, evidencia-se concordância nos valores a partir do vigésimo dia de observação e discordância acentuada nos valores de  $r_s$  durante o estágio inicial da cultura. A discrepância mencionada explica, em parte, os menores valores de ETrc dados pelo método de PM 65, mas são insuficientes para explicar como justificativa única as diferenças observadas para todo o ciclo da cultura. É, portanto, conveniente sugerir que novas pesquisas sejam feitas para obtenção de valores de  $r_s$  referentes à cultura estudada.

Afirmar que um método foi melhor que o outro no presente trabalho não é conveniente, pois a suposta afirmação só valeria se os resultados obtidos tivessem sido confrontados com resultados advindos de um lisímetro de pesagem, impossíveis de serem obtidos na condição em que o experimento foi conduzido. Em contrapartida, pelo fato de o método da razão de Bowen não necessitar do uso da resistência superficial da cultura, este apresentou maior facilidade de uso.

## CONCLUSÕES

- A obtenção das variáveis climáticas necessárias ao método da razão de Bowen em duas alturas mostrou viabilidade técnica para estimativa da evapotranspiração real da cultura da soja.
- Pela simplicidade do método da razão de Bowen, evidenciou-se, neste trabalho, vantagem na sua utilização em comparação com o método de Penman-Monteith 1965 na estimativa da evapotranspiração real da cultura da soja.
- A evapotranspiração real da cultura da soja estimada pelo método de Penman-Monteith 1965 foi 25,4% menor que aquela estimada pela razão de Bowen.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALLEN, R.G. A Penman for all seasons. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.112, n.4, p.348-368, 1986.

ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper 56. Rome: FAO. 1998. 300p.

ALVARES, C.A.; STAPE, J.L.; SENTELHAS, P.C.; GONÇALVES, J.L. de M.; SPAROVEK, G. Köppen's climate classification map for Brazil. **Meteorologische Zeitschrift**, v.22, p.711-728, 2013.

BOWEN, S. The ratio of heat losses by conduction

and by evaporation from any water surface. **Physical Review**, Ithaca, v.27, p.779-787, 1926.

CARVALHO, D.F.; ROCHA, H.S.; BONOMO, R.; SOUZA, A.P. Estimativa da evapotranspiração de referência a partir de dados meteorológicos limitados. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.50, n.1, p.1-11, 2015.

CRUZ, T.V.; PEIXOTO, C.P.; MARTINS, M.C. Crescimento e produtividade de soja em diferentes épocas de semeadura no oeste da Bahia. **Scientia Agraria**, Curitiba, v.11, n.1, p.033-042, 2010.

EUSER, T.; LUXEMBURG, W.M.J.; EVERSON, C.S.; MENGISTU, M.G.; CLULOW, A.D.; BASTIAANSEN, W.G.M. A new method to measure Bowen ratios using high-resolution vertical dry and wet bulb temperature profiles. **Hydrology and Earth System Sciences**, v.18, p.2021-2032, 2014.

GHARSALLAH, O.; FACCHI, A.; GANDOLF, C. Comparison of six evapotranspiration models for a surface irrigated maize agro-ecosystem in Northern Italy. **Agricultural Water Management**, v.130, p.119-130, 2013.

GOMIDE, R.L.; KOBAYASHI, M.K.; BORATTO, I.M.P. Monitoramento automático da necessidade hídrica das culturas do feijoeiro e milho por meio do balanço de energia / razão de Bowen. **Irriga**, Botucatu, n. Edição Especial, p.453-466, 2012.

HU, S.; ZHAO, C.; LI, J.; WANG, F.; CHEN, Y. Discussion and reassessment of the method used for accepting or rejecting data observed by a Bowen ratio system. **Hydrological Processes**, v.28, p.4506-4510, 2014.

IRMAK, S.; MUTIIBWA, D.; PAYERO, J.; MAREK, T.; PETER, D. Modeling soybean canopy resistance from micrometeorological and plant variables for estimating evapotranspiration using one-step Penman-Monteith approach. **Journal of Hydrology**, v.507 p.1-18, 2013.

IRMAK, S.; SKAGGS, K.E.; CHATTERJEE, S. A

review of the Bowen ratio surface energy balance method for quantifying evapotranspiration and other energy fluxes. *Transactions of the ASABE*, v.57, p.1657-1674, 2014.

LENA, B.P.; FLUMIGNAN, D.L.; FARIA, R.T. Evapotranspiração e coeficiente de cultivo de cafeeiros adultos. ***Pesquisa Agropecuária Brasileira***, Brasília, v.46, n.8, p.905-911, 2011.

LI, S.; KANG, S.; ZHANG, L.; ORTEGA-FARIAS, S.; LI, F.; DU, T.; TONG, L.; WANG, S.; MARK, I.; GUO, W. Measuring and modeling maize evapotranspiration under plastic film-mulching condition. ***Journal of Hydrology***, v.503, p.153-168, 2013.

LHOMME, J.P.; MONTES, C. Generalized combination equations for canopy evapotranspiration under dry and wet conditions. ***Hydrological Earth System***, v.18 p.1137-1149, 2014.

ORTEGA-FARIAS, S.O.; CUENCA, R.H.; EK, M. Daytime variation of sensible heat flux estimated by the bulk aerodynamic method over a grass canopy. ***Agricultural and Forest Meteorology***, Amsterdam, v.81, n.1-2, p.131-143, 1996.

PAYERO, J.O.; NEALE, C.M.U.; WRIGHT, J.L.; ALLEN, R.G. Guidelines for validating Bowen ratio data. ***Transactions of the ASAE***, v.46, n.4, p.1051-1060, 2003.

PEREZ, P.J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J.I. Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes. ***Agricultural and Forest Meteorology***, Amsterdam, v.97, n.3, p.141-150, 1999.

RÁCZ, C.; NAGY, J.; DOBOS, A.C. Comparison of several methods for calculation of reference evapotranspiration. ***Acta Silvatica & Lignaria Hungarica***, v.9, p.9-24, 2013.

SILVA, L.D.B.; LYRA, G.B.; SILVA, J.B.G.; PINHO, C.F.; NASCENTES, A.L.; ALMEIDA, G.V.; FOLEGATTI, M.V. Desempenho do método do balanço de energia - Razão de Bowen na estimativa da evapotranspiração de referência. ***Irriga***, Botucatu, v.21, n.3, p.516-529, 2016.

SKAGGS, K.E.; IRMAK, S. Analysis of microclimate data measured over grass and soybean canopy and their impacts on Penman-Monteith grass and alfalfa reference evapotranspiration. ***Journal of Irrigation and Drainage Engineering***, v.138, p.120-134, 2012.