

**PARAMETRIZAÇÃO DA RESISTÊNCIA DO DOSSEL DA CULTURA DO FEIJOEIRO (*Phaseolus vulgaris* L.) UTILIZANDO RAZÃO DE BOWEN (BALANÇO DE ENERGIA) ASSOCIADA À TERMOMETRIA A INFRAVERMELHO<sup>1</sup>**

M. K. KOBAYASHI<sup>2</sup>, R. L. GOMIDE<sup>3</sup>, G. C. SEDIYAMA<sup>4</sup>, P. C. MAGALHÃES<sup>5</sup>

Escrito para apresentação no  
XXXI Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2002  
Salvador-BA, 29 de julho a 02 de agosto de 2002

**RESUMO:** O trabalho teve como objetivo calcular a resistência do dossel da cultura ( $r_c$ ) do feijoeiro parametrizada em função de características da planta e da atmosfera e comparar os valores de evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ), calculada utilizando-se esse  $r_c$ , com valores obtidos pelo método da Razão de Bowen (RB). Foi desenvolvida uma equação empírica de uma linha base não estressada, que relaciona déficit de pressão de vapor (DPV) e a diferença entre temperatura do dossel da cultura ( $T_c$ ) e do ar ( $T_a$ ), quando a cultura estava evapotranspirando potencialmente, com 100% de cobertura vegetal. Essa equação foi usada para obter os valores de  $T_c - T_a$  a partir de DPV medido, que foram utilizados para o cálculo de  $r_c$ . Posteriormente, uma metodologia foi proposta para a correção de  $r_c$  em função do índice de área foliar e um fator de senescência, visando sua utilização em outras fases do ciclo fenológico da cultura. A  $ET_c$ , foi então, calculada, substituindo os valores de  $r_c$  na equação de Penman-Monteith (PM). O resultado relativo à obtenção da equação empírica da linha base não estressada indicou bom ajuste da equação ( $r^2$  de 0,842), e boa concordância (índice de concordância -  $I_c = 0,965$ ) entre os valores obtidos pela equação e os medidos no campo. Os valores de  $ET_c$  calculados com a equação de PM estão subestimados, a equação que relaciona a  $ET_c$  determinada por PM com a obtida por RB se mantém praticamente paralela à reta 1:1, com uma diferença média de  $-45 \text{ W.m}^{-2}$ , provavelmente devido à contribuição de energia advectiva proveniente de áreas externas.

**PALAVRAS-CHAVE:** temperatura do dossel, resistência do dossel e evapotranspiração da cultura, déficit de pressão de vapor do ar, feijoeiro.

**PARAMETRIZATION OF DRY BEAN CROP (*Phaseolus vulgaris* L.) CANOPY RESISTANCE BY MEANS OF BOWEN RATIO (ENERGY BALANCE) APPROACH ASSOCIATED WITH INFRARED THERMOMETRY FOR DETERMINING EVAPOTRANSPIRATION**

**SUMMARY:** The objective of the present work was to obtain the  $r_c$  values for dry bean canopy, using plants and atmosphere parameters; and to compare the calculated values of  $ET_c$  using the later  $r_c$ , to  $ET_c$  values obtained by BR technique. Typical days, in which the crop was evapotranspiring in such full-cover vegetation condition, were selected to develop an empirical equation of a non-water-stressed baseline using VPD data and the difference between  $T_c$  and  $T_a$ . The derived equation was used in order to obtain the values of  $T_c - T_a$ , from measured VPD used to calculate  $r_c$ . Afterwards, a methodology to correct  $r_c$  in function of the leaf area index and a plant senescence factor was proposed. The  $ET_c$  was then calculated, substituting the values of  $r_c$  in the PM equation. The results obtained from the empirical equation for non-water-stressed baseline indicated a good fit to the linear equation ( $r^2 = 0,842$ ) between the values obtained

<sup>1</sup> Parte da tese de Doutorado defendida na UFV, Departamento de Eng. Agrícola, pelo primeiro autor.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, D.Sc. Eng. Agrícola, Bolsista Recém-Doutor/CNPq, Embrapa Milho e Sorgo. Caixa Postal 151, CEP 35701-970, Sete Lagoas-MG. [mkoji@ig.com.br](mailto:mkoji@ig.com.br). Fone: (31)3779-1228.

<sup>3</sup> Engenharia de Irrigação: instrumentação e automação, Ph.D. Pesquisador Sênior da Embrapa Milho e Sorgo

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, Ph.D. Engenharia Agrícola, Prof. Titular UFV/ DEA.

<sup>5</sup> Fisiologia Vegetal, Ph.D. Pesquisador Sênior da Embrapa Milho e Sorgo

from the equation and those measured at the field crop conditions. The  $ET_c$  values calculated with the original PM equation were underestimated. The equation which related the  $ET_c$ , obtained from original PM, to the  $ET_c$  obtained by BR, was nearly parallel to the straight line 1:1, with an average deviation of  $-45 \text{ W.m}^{-2}$ , probably due to the contribution of the advective energy from adjacent areas.

**KEYWORDS:** crop canopy temperature, canopy resistance, crop evapotranspiration, water vapor pressure deficit of the air and dry bean crop

**INTRODUÇÃO:** Em um sistema agrícola irrigado, a necessidade hídrica das culturas é um dos fatores mais importantes a serem obtidos, principalmente porque a disponibilidade de água está cada vez menor, devido ao aumento da demanda de consumo pelos setores urbano, industrial e agrícola. Dessa forma, são necessários estudos no sentido de implementar determinações da evapotranspiração das culturas ( $ET_c$ ) que permitam a otimização da quantidade de água utilizada nos perímetros irrigados, em diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. Atualmente, é mais comum elaborar o cálculo da  $ET_c$  em duas etapas: primeiro, estima-se a evapotranspiração de referência ( $ET_o$ ) e, a seguir, multiplica-se esta  $ET_o$  por um coeficiente de cultura ( $K_c$ ). Uma forma mais vantajosa de cálculo de  $ET_c$  seria a sua estimativa em uma só etapa, eliminando a necessidade de utilização de  $K_c$ 's. A equação de Penman-Monteith (PM) pode ser utilizada, porém, sua aplicação prática é limitada pela falta de um método confiável para obter os valores de resistência do dossel da cultura ( $r_c$ ). Dessa forma, este trabalho teve como objetivos calcular a  $r_c$  do feijoeiro parametrizada em função de características da planta (temperatura do dossel da cultura- $T_c$ ) e da atmosfera (saldo de radiação- $R_n$ , déficit de pressão de vapor-DPV e temperatura do ar- $T_a$ ) e comparar os valores de  $ET_c$ , calculada utilizando-se esse  $r_c$ , com valores obtidos pelo método Razão de Bowen (RB).

**MATERIAL E MÉTODOS:** O experimento foi conduzido, em condições de campo, em uma área da EMBRAPA Milho e Sorgo de aproximadamente 1,2 ha, localizada em Sete Lagoas-MG. A cultivar de feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) utilizada foi o Jalo. O manejo da cultura com adubação, controle de pragas e doenças foram realizados conforme recomendação técnica para o feijão. A irrigação foi efetuada com um sistema de aspersão convencional e o cálculo da lâmina de água a ser aplicada foi realizado pelo método RB, usando um sistema da CAMPBELL SCIENTIFIC (1997), que gerenciava todo o processo de aquisição automática dos dados relativos ao balanço de energia e os armazenava a cada intervalo de 20 minutos. Foram selecionados dias em que a cultura estava evapotranspirando potencialmente, para o desenvolvimento de uma equação empírica de uma linha base não estressada com os dados medidos de DPV do ar e a diferença  $T_c-T_a$  (IDSO, 1981). Posteriormente essa equação foi usada para obter os valores de  $T_c-T_a$  a partir de DPV medido. Esses valores de  $T_c-T_a$  foram substituídos na equação  $r_{cp} = \frac{\{(\gamma r_a R_n / (\rho c_p)) - (T_c - T_a)(\Delta + \gamma) - DPV\}_{ra}}{\{[(T_c - T_a) - r_a R_n / (\rho c_p)]\}}$ , para a determinação de  $r_c$  ( $\text{s.m}^{-1}$ ), assumindo que esse é o valor mínimo de  $r_c$  ( $r_{cp}$ ) para essa condição climática; em que  $\gamma$  é constante psicrométrica ( $\text{Pa.}^\circ\text{C}^{-1}$ );  $R_n$  é o saldo de radiação ( $\text{W.m}^{-2}$ );  $\rho$  é a densidade absoluta do ar seco ( $\text{kg.m}^{-3}$ );  $c_p$  é a capacidade calorífica do ar seco ( $\text{J.kg}^{-1}.^\circ\text{C}^{-1}$ );  $DPV = e_a^* - e_a$ ;  $e_a^*$  é a pressão de saturação do vapor a  $T_a$  (Pa);  $e_a$  é a pressão parcial de vapor (Pa);  $\Delta$  é a declividade da curva de pressão de saturação de vapor ( $\text{Pa.}^\circ\text{C}^{-1}$ ); e  $r_a$  é resistência aerodinâmica ( $\text{s.m}^{-1}$ ). O valor de  $r_{cp}$  foi obtido para a condição de cobertura total do solo, em que a cultura apresentava índice de área foliar (IAF) de aproximadamente 4 e o início do processo de senescência ainda não estava evidente. Em diferentes fases de desenvolvimento da cultura, encontram-se diferentes condições de IAF, sombreamento e processo de senescência. Dessa maneira, foi realizada uma correção para IAF e senescência, a saber;  $r_c = r_{cp} \cdot f_{(IAFxSen)}$ ; em que  $f_{(IAFxSen)}$  é o fator de correção para IAF e senescência. O cálculo do fator  $f_{(IAFxSen)}$  foi obtido primeiramente calculando-se o IAF efetivo ( $IAF_{\text{efet}}$ ), ou seja, quando nem toda área foliar da cultura está contribuindo para a transpiração. Considerou-se que o processo de sombreamento e senescência torna-se significativo a partir do momento em que a cultura atingiu um IAF 4, com um fator de senescência ( $f_{\text{sen}}$ ) de forma exponencial até o final do ciclo;  $f_{\text{sen}} = a \cdot \exp(b \cdot \text{DAS})$ ; a e b são os coeficientes de regressão e DAS é dias após a

semeadura. A obtenção dos coeficientes  $a$  e  $b$  foi feita de tal forma que maximizassem o coeficiente de correlação da equação de regressão ( $r^2$ ) e o índice de concordância ( $I_c$ ), quando a  $ET_c$  calculada pela equação de PM foi comparada com a  $ET_c$  obtida pelo método RB. O IAF efetivo ( $IAF_{efet}$ ) foi calculado por  $IAF_{efet} = IAF/f_{sen}$  e depois  $f_{(IAFxSen)} = IAF_{efet}/IAF_{efet\ max}$ ; em que  $IAF_{efet\ max}$  é o  $IAF_{efet}$  máximo no ciclo fenológico da cultura. A  $ET_c$ , foi então, calculada, substituindo os valores de  $r_c$  na equação de PM. Os dados climáticos necessários foram coletados com o sistema RB da CAMPBELL SCIENTIFIC (1997). Os resultados obtidos foram comparados por meio de análises de gráficos e regressão linear simples dos valores de  $ET_c$  obtidos pelo sistema RB (considerado padrão) e estimados pelo modelo de Penman-Monteith. Para verificação do ajuste das equações foi utilizada análise do coeficiente de determinação ( $r^2$ ) e do índice de concordância ( $I_c$ ) (Willmott, 1981, citado por MAGGIOTTO, 1996), o valor de  $I_c$  pode variar de 0 (total discordância) a 1 (total concordância).

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** O resultado relacionado à obtenção da equação empírica da linha base não estressada, que relaciona a diferença  $T_c - T_a$  com DPV do ar, encontra-se na Figura 1. Os dados foram obtidos em condições de 100% de cobertura vegetal e evapotranspiração potencial da cultura, no período correspondente ao final da formação de vagem do feijoeiro (final do estágio R7, de acordo com a escala do Centro Internacional de Agricultura Tropical), isto é, entre os 46 e 50 dias após a semeadura. Observa-se um bom ajuste da equação ( $r^2$  de 0,842) indicando que houve boa correlação entre os valores estimados e medidos. A equação ajustada (Figura 1) apresentou um  $I_c = 0,96$ , significando que houve uma boa concordância entre os valores obtidos pela equação e medidos no campo. O índice  $I_c$  é mais sensível a erros sistemáticos e não sistemáticos dos modelos, daí a razão do uso deste índice nas análises. Essa equação foi usada no cálculo de valores de  $T_c - T_a$  a partir de valores medidos de DPV.

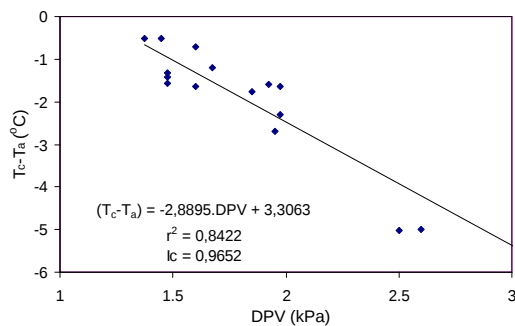


Figura 1 - Linha base não estressada, que relaciona a diferença entre as temperaturas do dossel da cultura e do ar ( $T_c - T_a$ ) com o déficit de pressão de vapor do ar (DPV).

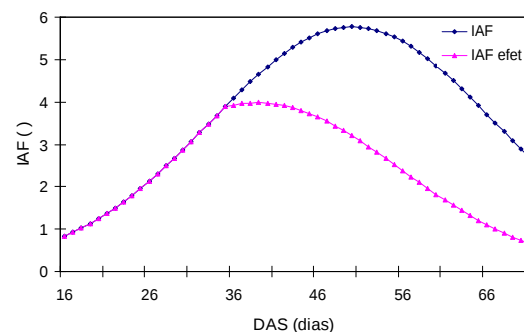


Figura 2 - Comportamento do índice de área foliar total (IAF) versus IAF efetivo ( $IAF_{efet}$ ), ao longo do ciclo fenológico da cultura do feijoeiro.

A equação obtida para o fator de senescência foi  $f_{sen} = 0,25341547 \exp(0,039220713 \cdot DAS)$ , que foi aplicada a partir de 35 DAS, quando o IAF atingiu aproximadamente 4. A Figura 2 mostra o comportamento de  $IAF_{efet}$  "versus" IAF, evidenciando que somente parte da área foliar contribui efetivamente para transpiração. A Figura 3 ilustra a variação diurna, aos 18 e 41 DAS, de alguns termos do balanço de energia (saldo radiação- $R_n$ , fluxo de calor sensível- $H$ , fluxo de calor latente  $ET_{cRB}$ ) e da  $ET_c$ , calculada pela equação de PM ( $ET_{cPM}$ ), velocidade do vento e a razão resistência climática/resistência aerodinâmica ( $r_i/r_a$ ). Os resultados relativos à  $ET_c$  mostram que os valores calculados subestimaram quando comparados com os valores medidos. Verificou-se, também que, em vários horários de medição, o fluxo de calor latente medido pelo sistema RB ultrapassou o valor do saldo de radiação, indicando a possibilidade de ter havido efeito de advecção. Pelo fato da contribuição da energia advectiva não ter sido medida diretamente, foi utilizada a razão entre a resistência climática ( $r_i$ ) e a resistência aerodinâmica, para indicar o efeito de contribuição de energia advectiva de áreas adjacentes à área experimental, conforme proposto por Thom (1975), citado por TODD (2000). Esses autores salientam que essa razão será muito grande caso seja muito forte o fluxo de ar seco sobre a vegetação, denominado de efeito oásis. Observa-se que o fluxo de calor sensível ( $H$ ) apresentou valores negativos no período da

tarde, que se tornaram mais evidente com o aumento de  $r_i/r_a$ , reforçando a hipótese de contribuição de energia de áreas adjacentes. A Figura 4 mostra a relação entre os valores de ETcRB e ETcPM, com o ajuste da regressão linear. Observa-se boa correlação entre os valores calculados e medidos de ETc. No entanto, de modo geral, os valores calculados com a equação de PM subestimaram a ETc. A equação ajustada mantém-se praticamente paralela à reta 1:1, com uma diferença média de  $-45 \text{ W.m}^{-2}$ .

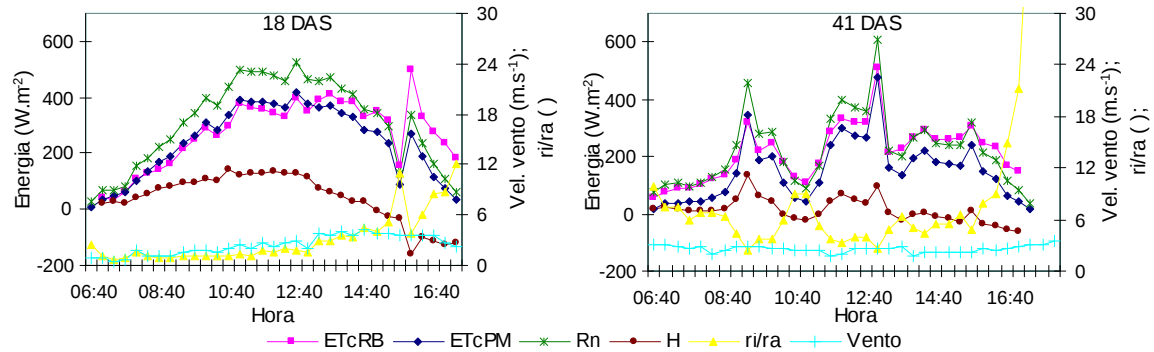


Figura 3 - Variação diurna de alguns termos do balanço de energia (saldo radiação-Rn, fluxo de calor sensível-H, fluxo de calor latente ETcRB) e da ETc calculada pela equação de Penman-Monteith (ETcPM), velocidade do vento (Vento) e a razão resistência climática/resistência aerodinâmica ( $r_i/r_a$ ).

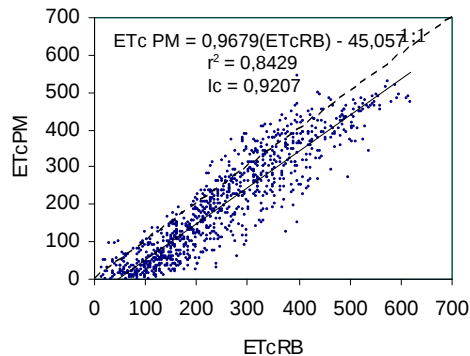


Figura 4 - Evapotranspiração da cultura calculada pela equação de Penman-Monteith (ETcPM) em relação a evapotranspiração da cultura medida pela razão de Bowen (ETcRB) com o índice de concordância (Ic).

**CONCLUSÕES:** A ETc calculada pela equação de PM, utilizando  $r_c$  calculada a partir da temperatura do dossel da cultura, foi subestimada, quando comparada com a obtida pelo método RB. O efeito da advecção afetou diretamente a correlação entre os valores calculados e medidos de ETc, dificultando a análise do método de cálculo de  $r_c$  que foi proposto.

**AGRADECIMENTOS:** Os autores agradecem à FAPEMIG pela concessão de recursos financeiros para a aquisição de equipamentos, à Embrapa Milho e Sorgo, Sete Lagoas, MG, pelo suporte e apoio às atividades de pesquisa e ao CNPq pela bolsa de doutorado do primeiro autor.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- CAMPBELL SCIENTIFIC, INC. **Bowen ratio instrumentation instruction manual**. Logan, Campbell Scientific. 1.1-2.10.1997.
- IDSO, S.B., JACKSON, R.D., PINTER, JR.P.J., REGINATO, R.J., HATFIELD, J.L. Normalizing the stress-degree-day parameter for environmental variability. **Agricultural Meteorology**, v.24, n.1, p.45-55, 1981.
- MAGGIOTTO, S.R. Estimativa da Evapotranspiração de referência pelo uso da termometria ao infravermelho. Piracicaba, 1996. 71p. (Dissertação – Mestrado em Agronomia).
- TODD, R.W., EVETT, S.R., HOWELL, T.A. The Bowen ratio-energy balance for estimating latent heat flux of irrigated alfalfa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.335-348. 2000.