

# ÍNDICE DE ESTRESSE HÍDRICO DA CULTURA DO FEIJOEIRO OBTIDO COM TERMOMETRIA A INFRAVERMELHO PARA O MANEJO DA IRRIGAÇÃO<sup>1</sup>

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

**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 (ETc), calculada utilizando-se esse  $r_c$ , com valores obtidos pelo método da Razão de Bowen (RB). Foi desenvolvido 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 ( $T_a$ ), obtida com termometria a infravermelho, 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 ETc, 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 - Ic = 0,965) entre os valores obtidos pela equação e os medidos no campo. Os valores de ETc calculados com a equação de PM estão subestimados, a equação que relaciona a ETc 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-CHAVES:** temperatura do dossel, resistência do dossel e evapotranspiração da cultura, déficit de pressão de vapor do ar, feijoeiro.

## DRY BEAN CROP WATER STRESS INDEX OBTAINED WITH INFRARED THERMOMETRY FOR THE IRRIGATION MANAGEMENT

**ABSTRACT:** 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 ETc using the later  $r_c$ , to ETc 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  $T_a$  obtained with infrared thermometry. 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 ETc 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 from the equation and those measured at the field crop conditions. The ETc values calculated with the original PM equation were underestimated. The equation which related the ETc, obtained from original PM, to the ETc 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.

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

<sup>2</sup> Engenharia de Irrigação: instrumentação e automação, Ph.D. Pesquisador Sênior da Embrapa Milho e Sorgo (31 779-1228, gomide@cnpmis.embrapa.br).

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, D.S. Eng. Agrícola, Prof. Unimontes. Caixa Postal 91, CEP 39440-000, Janaúba-MG.

<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

**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 (ETc) 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 ETc em duas etapas: primeiro, estima-se a evapotranspiração de referência (ETo) e, a seguir, multiplica-se esta ETo por um coeficiente de cultura (Kc). Uma forma mais vantajosa de cálculo de ETc seria a sua estimativa em uma só etapa, eliminando a necessidade de utilização de Kc'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-Rn, déficit de pressão de vapor-DPV e temperatura do ar- $T_a$ ) e comparar os valores de ETc, 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  $r_{cp} = \left\{ \left[ \gamma r_a R_n / (\rho c_p) - (T_c - T_a) (\Delta + \gamma) - DPV \right] r_a \right\} / \left\{ \gamma [(T_c - T_a) - r_a R_n / (\rho c_p)] \right\}$ , para a determinação de  $r_c$  ( $s.m^{-1}$ ), assumindo que esse é o valor mínimo de  $r_c$  ( $r_{cp}$ ) para essa condição climática; em que  $\gamma$  é constante psicrométrica ( $Pa.^{\circ}C^{-1}$ );  $R_n$  é o saldo de radiação ( $W.m^{-2}$ );  $\rho$  é a densidade absoluta do ar seco ( $kg.m^{-3}$ );  $c_p$  é a capacidade calorífica do ar seco ( $J.kg^{-1}.^{\circ}C^{-1}$ );  $DPV = e_a^* - e_a$ ;  $e_a^*$  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 ( $Pa.^{\circ}C^{-1}$ ); e  $r_a$  é resistência aerodinâmica ( $s.m^{-1}$ ). 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;  $r_c = r_{cp} \cdot f_{(IAF \times Sen)}$ ; em que  $f_{(IAF \times Sen)}$  é o fator de correção para IAF e senescência. O cálculo do fator  $f_{(IAF \times Sen)}$  foi obtido primeiramente calculando-se o IAF efetivo ( $IAF_{efet}$ ), 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 ( $f_{sen}$ ) de forma exponencial até o final do ciclo;  $f_{Sen} = a \cdot \exp(b \cdot DAS)$ ; 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 (Ic), quando a ETc calculada pela equação de PM foi comparada com a ETc obtida pelo método RB. O IAF efetivo ( $IAF_{efet}$ ) foi calculado por  $IAF_{efet} = IAF / f_{Sen}$  e depois  $f_{(IAF \times Sen)} = IAF_{efet} / IAF_{efet \max}$ ; 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.

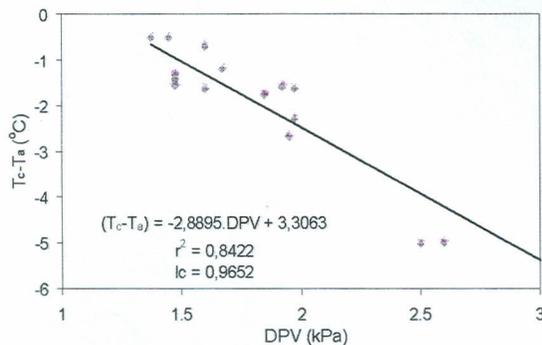


Figura 1. Linha base não estressada, que relaciona a diferença entre as temperaturas do dossel da cultura e do ar ( $T_c-T_a$ ) com o déficit de pressão de vapor do ar (DPV).

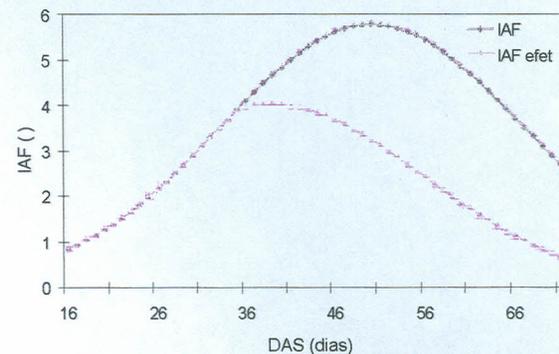


Figura 2. Comportamento do índice de área foliar total (IAF) versus IAF efetivo ( $IAF_{efet}$ ), ao longo do ciclo fenológico da cultura do feijoeiro.

A equação obtida para o fator de senescência foi  $f_{sen} = 0,25341547 \exp(0,039220713 * DAS)$ , 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  $ET_{cRB}$  e  $ET_{cPM}$ , com o ajuste da regressão linear. Observa-se boa correlação entre os valores calculados e medidos de  $ET_c$ .

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  $-45 \text{ W.m}^{-2}$ .

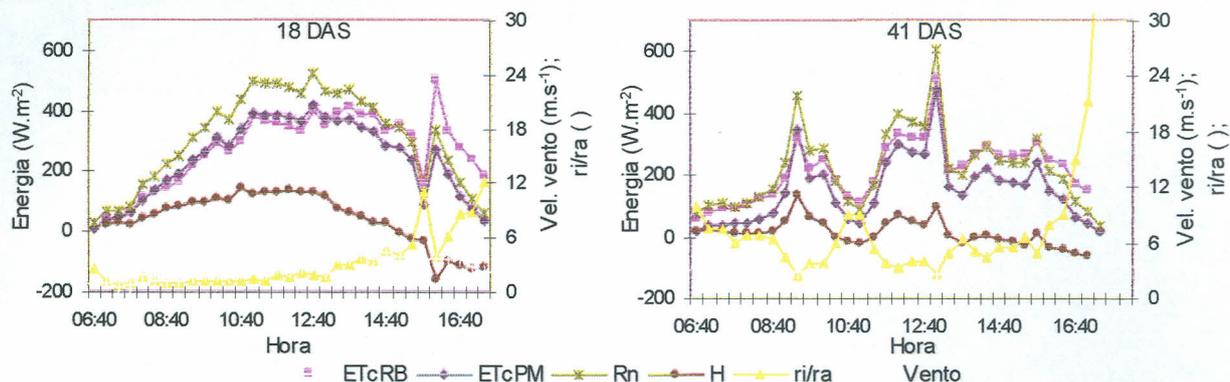


Figura 3. Variação diurna de alguns termos do balanço de energia (saldo radiação-Rn, fluxo de calor sensível-H, fluxo de calor latente ETcRB) e da ETc calculada pela equação de Penman-Monteith (ETcPM), velocidade do vento (Vento) e a razão resistência climática/resistência aerodinâmica ( $r_i/r_a$ ).

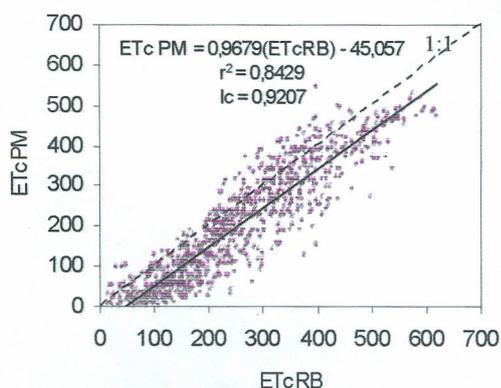


Figura 4. Evapotranspiração da cultura calculada pela equação de Penman-Monteith (ETcPM) em relação a evapotranspiração da cultura medida pela razão de Bowen (ETcRB) com o índice de concordância ( $I_c$ ).

**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:

- 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 alfafa evaluated in a semi-arid, advective environment. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.103, p.335-348. 2000.