

INFLUÊNCIA DAS CONDIÇÕES HÍDRICAS DO SOLO E DO MICROCLIMA
NA TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE DE COBERTURAS VEGETAIS¹

Ângela Maria Soares²

Escola Superior de Agricultura de Lavras
Caixa Postal 37
37200 - LAVRAS - MG

RESUMO

A partir de um modelo de simulação e observações "in situ" realizadas sobre parcelas cultivadas com uma gramínea (*Dactylis glomerata* L.) e uma leguminosa (*Trifolium repens* L.) avaliou-se a influência do microclima e das condições hídricas do solo na temperatura de superfície de uma cobertura vegetal. O modelo utilizado é baseado na equação de continuidade do fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera e no balanço de energia. Os resultados obtidos evidenciaram as dificuldades de interpretação dos dados da temperatura de superfície em condições meteorológicas e hídricas do solo variáveis. A temperatura de superfície mostrou-se bastante dependente do déficit de pressão de vapor (radiação líquida) na presença de uma forte (fraca) demanda evaporativa da atmosfera.

ABSTRACT

The influence of various climatic variables and soil water status on canopy temperature of plant canopies were studied through a simulation model and observations performed on plots cultivate with cocksfoot, white clover. On the one hand the simulation model is based on the similarity between root water uptake and real evapotranspiration flux, and on the other hand on energy balance. The results showed difficulties in interpreting data from canopy temperature versus climatic conditions and from variable water soil conditions. Canopy temperature is rather dependent on the vapour pression deficit (net radiation) when an important evaporation is required (weak).

¹ Parte da tese apresentada na Université des Sciences et Techniques du Languedoc - MONTPELLIER - França para obtenção do título de Docteur.

² Bolsista recém-doutor CNPq.

I. INTRODUÇÃO

A transferência de água de uma superfície vegetal para atmosfera, ou seja a evapotranspiração, é dependente da temperatura da interface planta-atmosfera, em geral, denominada temperatura de superfície. Esta variável representa uma resposta às condições meteorológicas, responsáveis pela demanda evaporativa da atmosfera, e ao estado hídrico do solo, cujo déficit limita a transpiração.

O desenvolvimento de radio-termômetros de infra vermelho, ocorrido na última década, tornou possível a utilização da temperatura de superfície na avaliação do estresse hídrico (IDSO et alii [6], JACKSON et alii [8], IDSO et alii [7], JACKSON et alii [9]), e da evapotranspiração real (SOER [11], JACKSON et alii [10], HATFIELD et alii [4]). Alguns desses estudos apresentam uma dimensão regional, desprezando as medidas a nível do solo, graças ao transporte desses sensores em aviões ou satélites. Assim tem-se, num mesmo instante, a temperatura de superfície em vários pontos de uma região.

O objetivo desse estudo foi avaliar a influência das variáveis meteorológicas e das condições hídricas do solo na temperatura de superfície de uma cobertura vegetal, a partir de um modelo de simulação. O modelo, com base na equação de continuidade do fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera e no balanço de energia, foi controlado por dados experimentais obtidos em diferentes datas e em tratamentos hídricos contrastantes.

II. MATERIAL E MÉTODOS

O ensaio foi conduzido na área experimental do "Centre d'Etudes Phytosociologiques et Ecologiques (C.E.P.E.) Louis Emberger - CNRS" de Montpellier - França, no período de maio a setembro de 1984. Os dados de temperatura e precipitação registrados nas proximidades do experimento são representativos de um clima mediterrâneo.

Para as observações foram utilizados 3 blocos, 8,0 x 8,0 m, separados por uma área de 16 m² cultivada com a gramínea, *Dactylis glomerata* L.. Cada bloco era composto de 6 parcelas (2,0 x 2,0 m), assim cultivadas: três parcelas com uma gramínea (*Dactylis glomerata* L.) e três parcelas com uma leguminosa (*Trifolium repens* L.).

Dois tratamentos hídricos foram estudados: irrigado e não irrigado, dando origem a um bloco úmido e outro seco. No tratamento irrigado, a vegetação foi submetida a uma irrigação na véspera dos dias típicos, isto é, dias onde foram feitas observações da evolução da temperatura de superfície e do potencial hídrico.

drico foliar. A quantidade de água introduzida permitiu manter a evapotranspiração das parcelas próxima a evapotranspiração potencial.

Com o objetivo de manter o mesmo estado fisiológico da vegetação ao longo do período experimental foram realizados quatro cortes durante esse período. Após esses cortes toda vegetação era irrigada. O controle da irrigação foi feito baseando-se em dados de tensiômetros e de sonda de neutrons.

Nos dias típicos foram realizadas observações da temperatura de superfície (radiotermômetro AGA THERMO POINT 80) e do potencial hídrico foliar (PRESSURE CHAMBER PMS INSTRUMENT Co.). As medidas de temperatura de superfície foram feitas em intervalos de uma hora no período de 7:30 às 17:30 (hora local), exceto as 13:30. O termômetro infra vermelho (IV) foi instalado num tripé, para facilitar o deslocamento entre as parcelas. O ângulo de inclinação escolhido foi de 30°, em relação à superfície. Esse valor é próximo do valor ideal obtido por HUBAND & MONTEITH [5], 55° em relação à vertical. Devido a orientação das parcelas, foram feitas três observações a partir do SE e do SO, visando três pontos no centro da parcela. A média das observações representa a temperatura de superfície da parcela considerada. Antes de cada medida o termômetro foi calibrado com o valor da temperatura do ar. Para a emissividade da superfície foi considerado o valor de 0.95. As observações do potencial hídrico foliar foram feitas a cada duas horas no período de 7:00 às 17:00 horas.

Ao longo dos dias típicos foram também registrados os valores (instantâneos e médios em meia hora) da radiação global, radiação líquida, umidade relativa e temperatura do ar e velocidade do vento a 2,0 m acima do solo.

III. DESCRIÇÃO DO MODELO

O modelo desenvolvido é comparável aos modelos de SOER [11] e de CHOUDHURY [2]. Na primeira parte do modelo procura-se determinar o potencial hídrico foliar, ψ_f , que satisfaz a equação de continuidade do fluxo de água no sistema solo-planta-atmosfera, ou seja, quando a taxa de água extraída pelo sistema radicular E_r (eq. VAN DEN HORNET) é igual a evapotranspiração, E_t (eq. PENMAN-MONTEITH). As seguintes equações representam esses fluxos:

$$E_r = \frac{\psi_s - \psi_f}{R_s - R_p} \quad (1)$$

$$E_t = \frac{[\Delta R_L + \rho C_p (e_s - e_a) / r_a]}{\{L_v [\Delta + \gamma (1 + r_c / r_a)]\}} \quad (2)$$

O significado de cada termo encontra-se no anexo 1. Para essa parte do modelo

considera-se apenas a condição de neutralidade da atmosfera no cálculo da resistência aerodinâmica, r_a .

A resistência da cultura foi determinada a partir do índice de área foliar e a relação entre a resistência estomática (r_s) e o potencial hídrico foliar. Tal relação foi obtida através de medidas da resistência estomática (porômetro LICOR, LI 1600) e o potencial hídrico foliar (bomba de Scholander) nas duas espécies estudadas.

A taxa de evapotranspiração assim calculada, e o dado de radiação líquida permitem determinar o fluxo de calor sensível, como termo residual do balanço de energia. A temperatura de superfície pode, portanto, ser estimada.

Na segunda fase do modelo é introduzida a correção da resistência aerodinâmica para as condições de estabilidade ($T_s < T_a$) e instabilidade ($T_s > T_a$) da atmosfera. Para isso foram utilizadas as fórmulas empíricas baseadas no comprimento de MONIN-OBUKOV apresentadas por SOER [11] e VAUCLIN [12].

A temperatura de superfície determinada na primeira parte corresponde ao valor inicial de T_s para correção de r_a . O fluxo de calor sensível estimado com o valor de r_a corrigido, é utilizado para o cálculo do fluxo de calor latente, como termo residual do balanço de energia.

A partir desse valor e da equação de VAN DEN HORNET é feita a estimativa de ψ_f , que é necessário para o cálculo da evapotranspiração pela equação de PENMAN-MONTEITH. Por um processo iterativo, procura-se o valor da temperatura de superfície para a qual o fluxo assim determinado é igual ao obtido pelo balanço de energia.

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se nas Figuras 1 e 2, o comportamento da temperatura de superfície T_s e o potencial hídrico foliar tanto a nível das medidas como da simulação, para dois dias de observação. A evolução das variáveis microclimáticas correspondentes é também apresentada.

Em relação à temperatura T_s , em geral, os valores simulados no período de 11 às 16 horas são superiores aos valores medidos. Na Figura 1 observa-se uma temperatura T_s de 29°C às 14:30 horas na parcela irrigada da gramínea (DI) sendo o valor simulado de 32°C. Para a parcela TI (leguminosa irrigada), na mesma data, o valor observado e simulado é respectivamente 28,5°C e 32,5°C. Os desvios entre a observação e a simulação são menores (1°C no máximo) na presença de condições estáveis da atmosfera ($T_s < T_a$) ocorridas no início e no fim do dia para as duas datas apresentadas.

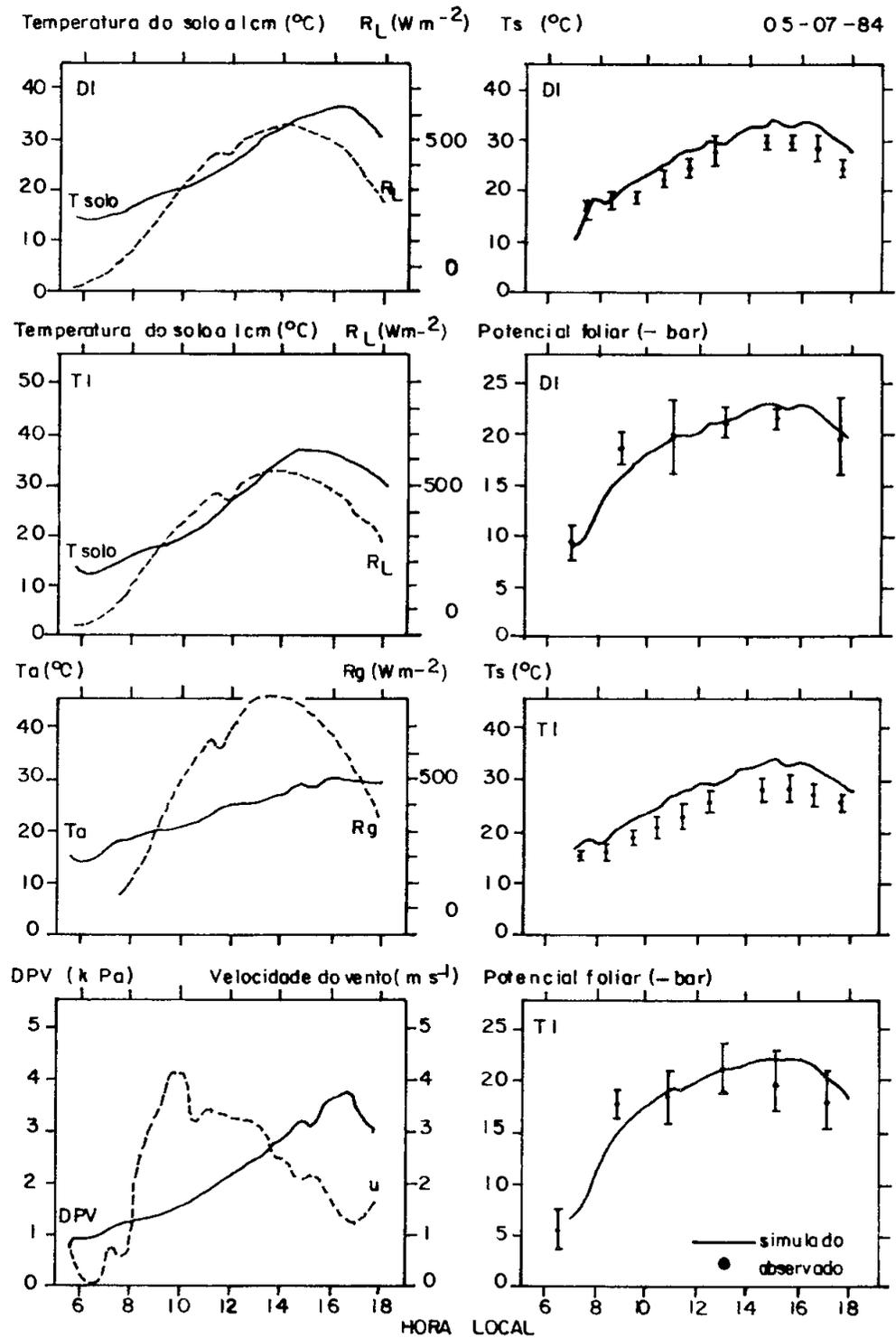


Figura 1. Evolução diária da velocidade do vento (u), do déficit de pressão de vapor (DPV), da radiação global (R_g) e líquida (R_L) da temperatura do ar (T_a), do solo a 1 cm de profundidade para as parcelas TNI (leguminosa não irrigada) e TI (leguminosa irrigada); evolução da temperatura de superfície (T_s) e do potencial hídrico foliar (ψ_f) simulado e observado para 5 de julho. Os valores observados são apresentados com o intervalo de confiança a 95% de probabilidade.

Em geral, verifica-se que a temperatura medida às 14:30 horas nas parcelas úmidas é inferior ou bem próxima à temperatura do ar. O modelo, entretanto, fornece valores de T_s superiores à temperatura do ar. Esse fato pode ser atribuído a uma superestimativa da resistência da cultura devido tanto às limitações da relação entre a resistência estomática e o potencial hídrico foliar, como ao índice de área foliar utilizado para simulação.

No início do dia, quando a radiação líquida é fraca, o tratamento hídrico tem pouca importância na temperatura de superfície. O valor simulado é bem próximo da temperatura do ar. Observa-se na Figura 2, às 7:30 horas que R_L foi aproximadamente igual a 50wm^{-2} , e a temperatura do ar 20°C . A temperatura observada e simulada é de 19°C para as duas parcelas. Um comportamento semelhante foi observado por CARTER & SHEAFFER [1] numa cultura de alfafa.

A evolução da temperatura de superfície observada em um dia nublado (Figura 2) apresenta pequena variação ao longo do dia, sendo pequenas as diferenças entre os dois tratamentos hídricos. Próximo ao meio dia solar para os valores medidos tem-se $T_s - T_a$ igual a -3°C , enquanto para os valores simulados a diferença $T_s - T_a$ máxima encontrada é de 1°C , na parcela TNI (leguminosa não irrigada).

Pode-se notar que na presença de um déficit de pressão de vapor (DPV) elevado (Figura 1), a temperatura de superfície simulada responde às variações de DPV de uma maneira mais acentuada que às de outras variáveis, enquanto o potencial hídrico foliar mostra-se menos sensível às variações de DPV. Esses resultados concordam com os obtidos por CHOUDHURY [2] e CHOUDHURY & IDSO [3]. Tal observação pode confirmar a validade dos índices de estresse hídrico desenvolvidos em zonas áridas e semi-áridas.

Para valores medidos essa observação é menos nítida. Isso pode ser explicado pelo fato que o cálculo considera valores médios e as observações são respondidas a valores instantâneos.

Num dia, caracterizado por um DPV fraco, Figura 2, a temperatura de superfície mostra-se mais sensível às flutuações da radiação líquida que ao DPV. Esse fato sugere que em condições de baixa demanda atmosférica, a radiação líquida tem um papel mais importante que o DPV na evapotranspiração, portanto na temperatura de superfície.

Com a análise da evolução do potencial hídrico foliar constata-se uma boa concordância do comportamento de ψ_f e T_s simulado: ao aumentar T_s verifica-se que ψ_f diminui. Esse fato confirma que a temperatura de superfície é uma resposta às condições hídricas da planta, como já foi constatado em numerosos estudos.

Para um dia nublado (Figura 2) o potencial hídrico foliar (valores simu

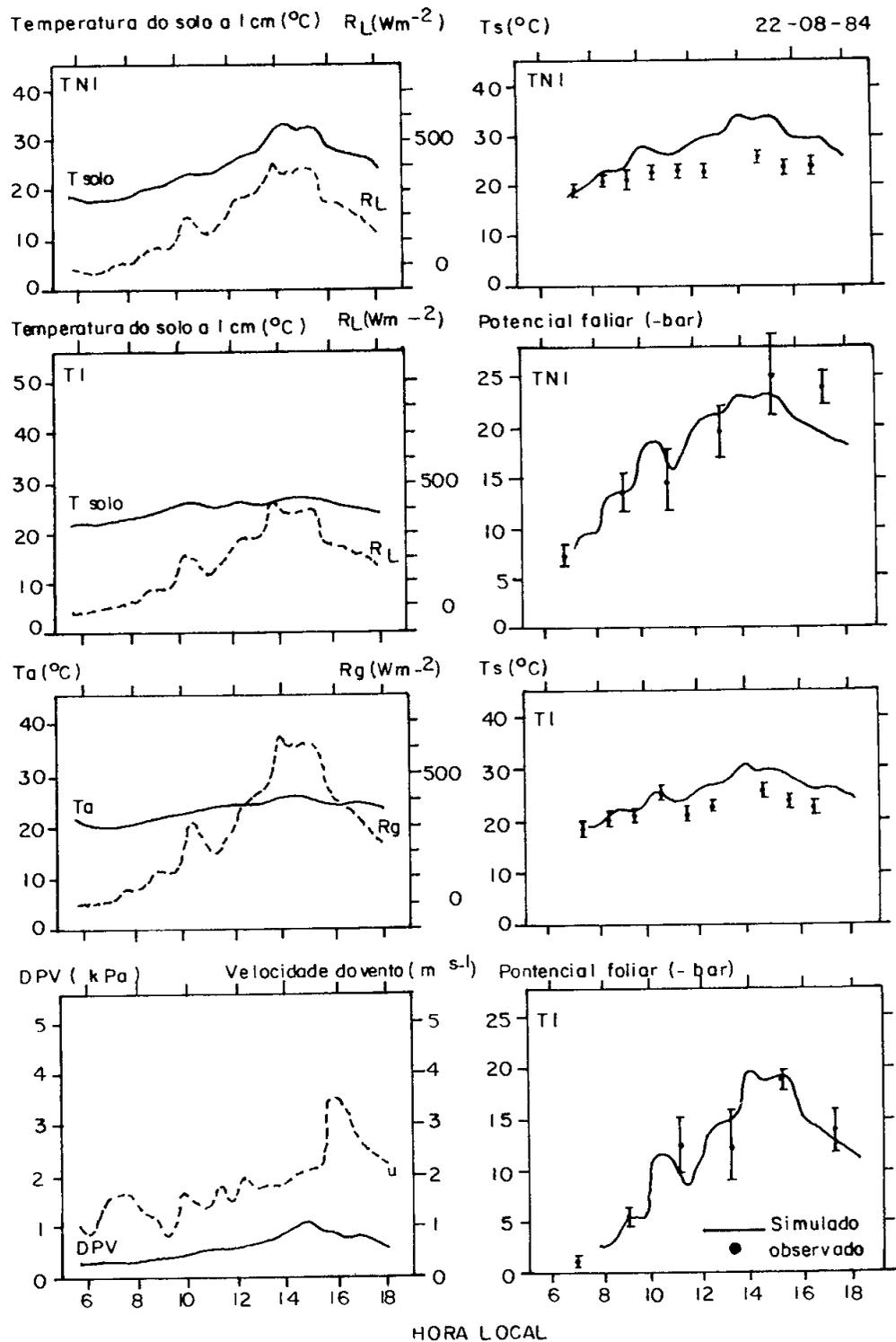


Figura 2. Evolução diãria da velocidade do vento (u), do dẽfĩcit de pressãõ de vapor (DPV), da radiaãõ global (R_g) e lĩquida (R_L) da temperatura do ar (T_a), do solo a 1 cm de profundidade para as parcelas TNI (leguminosa nãõ irrigada) e TI (leguminosa irrigada);

evoluãõ da temperatura de superfĩcie (T_s) e do potencial hĩdrico foliar (ψ_f) simulado e observado para 22 de agosto.

Os valores observados sãõ apresentados com o intervalo de confianãa a 95% de probabilidade.

lados e medidos) varia mais ao longo do dia que a temperatura de superfície. Esse fato pode indicar que o potencial hídrico foliar é mais adequado para a avaliação do estresse hídrico em condições climáticas úmidas, concordando portanto, com as considerações feitas por WALKER & HATFIELD [13] sobre a utilização da T_s como um indicador de estresse hídrico da planta em regiões frias e úmidas.

V. CONCLUSÃO

Nesse estudo foi possível verificar a influência do microclima e das condições hídricas do solo na temperatura de superfície de uma cobertura vegetal. A simulação de T_s evidenciou a necessidade de considerar as condições microclimáticas na interpretação do seu comportamento, portanto da medida realizada com o termômetro infra-vermelho.

A temperatura de superfície mostrou-se bastante sensível às variações do déficit de pressão de vapor (DPV) quando a demanda evaporativa da atmosfera é elevada. No caso contrário a temperatura de superfície é mais sensível às flutuações da radiação líquida.

A resposta da temperatura de superfície às condições meteorológicas e ao estado hídrico do solo acompanha o comportamento do potencial hídrico foliar, o que justifica sua utilização como um indicador do estado hídrico do vegetal. Entretanto, em condições úmidas o potencial hídrico foliar apresenta uma melhor resposta às condições ambientais.

VI. BIBLIOGRAFIA

1. CARTER, P.R. & SHEAFFER, C.C. Alfafa response to soil water deficits. II. Plant water potential, leaf conductance and canopy temperature relationships. Crop. Sci., 23:676-80. 1983.
2. CHOUDHURY, B.J. Simulating the effects of weather variables and soil water potential on a corn canopy temperature. Agric. Meteorol., 29:169-82. 1983.
3. _____ & IDS0, S.B. Evaluating plant and canopy resistances of field grown wheat from concurrent diurnal observations of leaf water potential, stomatal resistance canopy temperature and evapotranspiration flux. Agric. For. Meteorol., 34:67-76. 1985a.

4. HATFIELD, J.L.; REGINATO, R.J. & IDSO, S.D. Evaluation of canopy temperature-evapotranspiration models over various surfaces. Agric. For. Meteorol. 32:41-53. 1984.
5. HUBAND, N.S.D. & MONTEITH, J.L. Radiative surface temperature and energy balance of a wheat canopy. I. Comparison of radiative and aerodynamic canopy temperature. Boundary-Layer Meteorol., 36:1-17.
6. IDSO, S.B.; JACKSON, R.D. & REGINATO, R.J. Remote sensing of crop yields. Science, 196:19-25. 1977.
7. _____; _____ & _____. Extending the "degree day" concept of plant phenological development to include water stress effects. Ecology, 59:431-3. 1978.
8. JACKSON, R.D.; REGINATO, R.J. & IDSO, S.B. Wheat canopy temperature: a practical |00| for evaluating water requirements. Water Resour. Res., 13:651-6. 1977.
9. _____; IDSO, S.B.; REGINATO, R.J. & PINTER, P.J. Jr. Canopy temperature as a crop water stress indicator. Water Resour. Res., 17:1133-8. 1981.
10. _____; HATFIELD, J.L.; REGINATO, R.J.; IDSO, S.B. & PINTER, P.J. Jr. Estimation of daily evapotranspiration from one time-of-day measurements. Agric. Water Mgt., 7:351-62. 1983.
11. SOER, J.R. The THERGA-model. A mathematical model for the simulation of behaviour of crop surface and actual evapotranspiration. Inst. Culture in Waterhuishouding Wageningen. Nota 1014, 44p. 1977.
12. VAUCLIN, M. Modélisation des transferts de masse et de chaleur entre le sol et l'atmosphère. J. Rech. Atmos., 12:135-42.
13. WALKER, G.K. & HATFIELD, J.L. Stress measurement using foliage temperatures. Agron. J., 75:623-9. 1983.

ANEXO 1

Lista de símbolos

C_p	Calor específico do ar a pressão constante ($J\ kg^{-1}\ ^\circ C$)
E_r	Taxa de extração de água pelas raízes (ms^{-1})
E_t	Taxa de evapotranspiração (ms^{-1})
e_a	Pressão atual de vapor d'água da atmosfera (kPa)
e_s	Pressão de saturação de vapor à temperatura do ar (kPa)
L_v	Calor latente de vaporização d'água ($J\ kg^{-1}$)
R_L	Radiação líquida (wm^{-2})
R_p	Resistência ao fluxo de água das raízes para os estômatos (s)
R_s	Resistência ao fluxo de água do solo para as raízes (s)
r_a	Resistência aerodinâmica (sm^{-1})
r_c	Resistência da cultura (sm^{-1})
γ	Constante psicrométrica ($kPa\ ^\circ C^{-1}$)
Δ	Tangente à curva de pressão de saturação e temperatura ($kPa\ ^\circ C^{-1}$)
ρ	Densidade do ar ($kg\ m^{-3}$)
ψ_f	Potencial hídrico foliar (bars ou m)
ψ_s	Potencial total d'água no solo (bars ou m)