

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 1, n. 1, p. 19-24.

Aprovado para publicação em 16/12/92.

RESISTÊNCIAS AERODINÂMICA E ESTOMÁTICA DA CULTURA DO ALGODÃO HERBÁCEO.

STOMATAL AND AERODYNAMIC RESISTANCES OF THE COTTON CROP.

Pedro Vieira de Azevedo¹, Tantravahi Venkata Ramana Rao¹, Malaquias da Silva
Amorim Neto², José Espínola Sobrinho³ e Girlene Figueiredo Maciel⁴.

RESUMO

Analisaram-se dados de experimento com algodão herbáceo irrigado, conduzido em Sousa-Pb, no período de agosto a dezembro de 1989. Objetivou-se o monitoramento das resistências estomática e aerodinâmica ao longo dos diferentes subperíodos de desenvolvimento, além de parâmetros atmosféricos e morfológicos do algodoeiro, visando identificar modelos apropriados à estimativa da resistência da cultura ao fluxo de vapor d'água para a atmosfera. A resistência aerodinâmica (r_{av}) foi estimada pelo modelo proposto por MONTEITH (1973). A resistência estomática (r_{sf}) das faces abaxial e adaxial de folhas isoladas foi medida diariamente com um porômetro de difusão (LI-1600 da LI-COR, Inc.). Foram também monitorados os componentes do balanço de radiação sobre a cultura e as temperaturas do ar e do dossel vegetativo. A r_{sf} mostrou-se decrescente com a radiação fotossinteticamente ativa (PAR), atingindo um mínimo ($r_{sf} \approx 0,4$ s/cm) para a saturação energética em torno de 400 W/m². A resistência estomática do dossel vegetativo ($r_c = r_{sf}/IAF$) foi estimada satisfatoriamente pelo modelo do gradiente vertical de vapor d'água, com um erro padrão de estimativa de $\mathcal{E} = 0,128$ s/cm.

¹ Professor Adjunto do Departamento de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal da Paraíba-UFPB. 58109-000, Campina Grande-PB.

² Pesquisador do Centro Nacional de Pesquisa do Algodão-CNPA/EMBRAPA. 58100-900, Campina Grande-PB.

³ Professor Adjunto da Escola Superior de Agricultura de Mossoró-ESAM. 59625-900-1, Mossoró-RN.

⁴ Mestrando em Meteorologia da Universidade Federal da Paraíba-UFPB. 58109-000, Campina Grande-PB.

Palavras-chave: Resistências estomática e aerodinâmica, algodão herbáceo.

SUMMARY

It was analyzed data from an experiment with irrigated cotton crop, conducted at Sousa-Pb in the period from August to December, 1989. Its objective was to observe the behaviour of the aerodynamic and stomatal resistances for the different phases of crop development, besides atmospheric and morphological parameters of the cotton crop, in order to identify suitable models for estimating crop canopy stomatal resistance to water vapor flux to the air (r_c). The water vapor aerodynamic resistance (r_{av}) was estimated by the model suggested by MONTEITH (1973). The leaf stomatal resistance (r_{sf}) from the abaxial and adaxial faces was daily measured with a diffusion porometer (LI- 1600 of the LI-COR, Inc.). The radiation balance components, and air and canopy temperatures were also measured in a daily basis. The r_{sf} decreased with respect to the photosynthetically active radiation (PAR), reaching a minimum ($r_{sf} \approx 0.4 \text{ s/cm}$) at energetic saturation around 400 W/m^2 . The crop canopy stomatal resistance ($r_c = r_{sf}/LAI$) was satisfactorily estimated by the water vapor vertical gradient model, with standard error of $\mathcal{E} = 0.128 \text{ s/cm}$.

Key-words: Stomatal and aerodynamic resistances, cotton crop.

INTRODUÇÃO

Os processos de transferência de vapor d'água dos vegetais para a atmosfera (transpiração) e de CO_2 do ar para as plantas (fotossíntese) são controlados pelas resistências estomática e aerodinâmica. A resistência aerodinâmica (r_{av}) é uma função da dissipação turbulenta de vapor d'água na interface entre a vegetação e o ar e pode ser estimada com base nas características aerodinâmica da cultura e no regime de ventos próximo à superfície. A resistência estomática do dossel vegetativo (r_c), por sua vez, é controlada pela ação de abertura e fechamento dos estômatos em função, principalmente do gradiente de pressão do vapor d'água entre o interior das células guardas e o ambiente e do nível de calor latente disponível à superfície da cultura. Além da variação ao longo da estação de cultivo, causada pelas alterações do teor de umidade do solo e das condições

atmosféricas, r_c varia também ao longo do período diurno, com valores máximos logo após o amanhecer e ao pôr-do-Sol e mínimos entre as primeiras horas e a metade da manhã (MILNE, 1979). Essas duas resistências atuam em série, influenciando direta e indiretamente nos processos de fotossíntese e evapotranspiração (COSTA *et al*, 1988).

Um dos modelos mais realístico na determinação da taxa de evapotranspiração de uma superfície vegetada é o de PENMAN (1948), modificado por MONTEITH (1965), porque considera tanto os efeitos ambientais quanto aqueles resultantes dos processos fisiológicos de funcionamento dos estômatos. Entretanto, a aplicação da equação de Penman-Monteith requer informações sobre a energia disponível (R_N), temperatura do ar (T_a), déficit de pressão de vapor (DPV) e as resistências aerodinâmica (r_{av}) e estomática do dossel vegetativo (r_c). Isto é, se r_{av} e r_c são especificadas, a evapotranspiração potencial pode facilmente ser estimada em função dos parâmetros atmosféricos medidos em um único nível acima da vegetação, onde $r_c = r_{sf}/IAF$ sendo IAF o índice de área foliar) e r_{sf} a resistência estomática de folhas individuais, em determinado estado de turgescência.

A resistência estomática é usualmente medida com porômetro de difusão que, além dos custos bastante elevados, são de difícil operação (NORMAN *et al*, 1981), necessitando de calibrações frequentes (BAILEY & DAVIES, 1981). Também, em condições de campo, as medições porométricas não podem ser automatizadas, o que impossibilita o uso de um esquema de amostragem suficientemente amplo para cobrir toda a variabilidade temporal e espacial da resistência estomática. Tais dificuldades conduzem a erros nas leituras porométricas que atingem 20% nos porômetros de difusão de estado constante e até 50% ou mais naqueles de estado transitório (PAW U & DAUGHTRY, 1984). Por essas razões, o emprego do porômetro fica restrito às pesquisas experimentais. Na prática necessita-se modelar r_c através de modelos que envolvem, principalmente o balanço de energia e a teoria dos gradientes que considera a analogia dos fluxos com a Lei de Ohm.

Este estudo objetivou: (1) monitorar as resistências aerodinâmica e estomática ao longo dos diferentes subperíodos de desenvolvimento, além de alguns parâmetros morfológicos do algodão herbáceo irrigado; (2) identificar modelos apropriados á estimativa da resistência estomática da vegetação.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de campo foram obtidos em experimento agrometeorológico instalado na área experimental do perímetro irrigado de São Gonçalo, Sousa-Pb (Latitude: 06°45'S; longitude: 38°13'W; Altitude: 233m), no

período de agosto a dezembro de 1989. A cultura utilizada foi o algodão herbáceo (**Gossypium hirsutum** r. latifolium), cultivar **CNPA precoce 1** irrigado, semeado numa parcela de 200 m X 35 m, obedecendo um espaçamento de 1,00 m entre fileiras e 0,20 m entre covas.

A altura das plantas (h) e o índice de área foliar (IAF) foram determinados a cada 3 dias, respectivamente pela média das alturas de 10 plantas escolhidas aleatoriamente e pelo produto da largura (L) pelo comprimento (C) das folhas contidas numa área unitária, multiplicado por um fator (ASHLEY *et al*, 1963). A resistência estomática de folhas isoladas ($r_{sf} = r_s(ad).r_s(ab)/(r_s(ad) + r_s(ab))$), onde $r_s(ad)$ e $r_s(ab)$ são respectivamente as resistências estomáticas das faces adaxial e abaxial da folha foi medida diariamente nos horários das 9h, 12h e 15h, com um porômetro de difusão (*LI-1600 da LI-COR, Inc., Lincoln, NE, USA*). A radiação fotossinteticamente ativa (PAR) foi medida simultaneamente com $r_s(ab)$, com um sensor de quantum (*LI-190-1 da LI-COR, Inc.*) acoplado ao porômetro. Em cada horário, as medições de $r_s(ad)$, $r_s(ab)$ e PAR foram tomadas em 03 (três) folhas com aproximadamente a mesma idade (quinta folha de cima para baixo). Os parâmetros ambientais monitorados foram: temperatura do ar (máxima, mínima, seca e úmida) e umidade relativa, com os termômetros e termohigrógrafo instalados em abrigo meteorológico posicionado dentro da área experimental; temperatura do dossel vegetativo para os horários das 9h, 12h e 15h, com um termômetro infravermelho (modelo *AG-52 da Telatemp*), posicionado sobre e ao longo das fileiras, a uma distância de aproximadamente 0,90m da folhagem; radiação solar global incidente (R_{si}) e refletida (R_{sr}), usando piranômetros (*Eppley estrelar da Eppley Laboratory, Inc.*) com as cúpulas voltadas para cima e para a vegetação, respectivamente; saldo de radiação (R_N) utilizando um *NetRadiometer (Model 3035 da Qualimetrics, Inc.)* e velocidade do vento a 2m acima da superfície vegetada. As irrigações foram efetuadas de acordo com as necessidades hídricas da cultura, ou seja, pela taxa diária acumulada de evapotranspiração máxima da cultura, medida através de um sistema de dois evapotranspirômetros de lençol freático constante instalado na área da parcela experimental, ocorrida desde a última irrigação até o momento em que o potencial de água no solo (monitorado com uma sonda de neutrons, marca *Troxler*) atingia 40% da lâmina correspondente à capacidade de campo (CC).

A resistência estomática do dossel vegetativo (r_c) foi obtida pela relação:

$$r_c = \bar{r}_{sf} / IAF \quad (1)$$

onde (—) denota a média para as três folhas consideradas.

A resistência aerodinâmica ao fluxo de vapor d'água no ar (r_{av}), para qualquer condição de estabilidade, foi estimada com base nas propriedades aerodinâmicas do dossel vegetativo, através da expressão (MONTEITH, 1973):

$$r_{av} = \frac{\{\ln [(Z - D) / Z_o]\}^2}{0,16U(Z)} \left[1 - \frac{5g(Z - d)(T_{kf} - T_{ka})}{T_k U(Z)^2} \right] \quad (2)$$

em que d e Z_o representam respectivamente, o deslocamento do plano zero e o coeficiente de rugosidade da superfície vegetada, obtidos em função da altura da vegetação por: $d=0,65 h$ e $Z_o=0,13 h$ (THOM, 1971); $U(Z)$ em cm/s é a velocidade média do vento ao nível Z acima da vegetação; g é a aceleração de gravidade (cm/s^2); e T_k é a média das temperaturas absolutas da folhagem (T_{kf}) e do ar (T_{ka}).

A resistência estomática r_c foi também estimada pelo método de gradiente vertical de vapor d'água, que leva em consideração a analogia com a Lei de Ohm e o balanço de energia (BAILEY & DAVIES, 1981; PAWU & DAUGHTRY, 1984):

$$r_c = \frac{\rho_a C_p [e_s(T_f) - e_z]}{g L E} r_{av} \quad (3)$$

em que ρ_a (densidade do ar) = $1,2 \times 10^{-3} g/cm^3$; C_p (calor específico do ar) = $0,24 cal/g^\circ C$; $e_s(T_f)$ (pressão de saturação do vapor d'água à temperatura da folhagem) T_f em $^\circ C$, e_s em mb ; P pressão atmosférica em mb ; γ (constante psicométrica) = $C_p P / (0,622L)$ em $mb/^\circ C$; e_z pressão do vapor d'água no ar ao nível Z , em mb ; L (calor latente de vaporização, em cal/g) = $585 + 0,51T_a$; e E taxa de evapotranspiração potencial, $g/cm^3 s$.

O termo $e_s(T_f)$ foi obtido pela expressão (ROSENBERG et al, 1983):

$$e_s(T_f) = 6,1078 \{ \exp[(17,269T_f) / (237,5 + T_f)] \} \quad (4)$$

em quanto que e_z foi calculado pela aproximação proposta por Harrison (ROSENBERG et al, 1983):

$$e_z(T_a) = e_s(T_f) - 66 \times 10^{-5} (1 + 115 \times 10^{-5} T_f)(T_a - T_w) \quad (1)$$

onde T_a e T_w são respectivamente, as temperaturas dos bulbos seco e úmido no nível Z , em °C.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 mostra a variação estacional da altura da cultura (h) e do índice de área foliar (IAF). O valor máximo de h (105cm) foi alcançado em 29/11/89, enquanto que IAF apresentou um incremento menor no início e mais acentuado no final do subperíodo de crescimento vegetativo. Depois voltou a aumentar mais lentamente no subperíodo de reprodução, atingindo um máximo de 7,0 em 14/11/89, decrescendo em seguida para atingir o valor de 3,8 no final das observações. A relação entre IAF e h é apresentada na Figura 2, onde foram identificadas, através da aplicação do pacote estatístico "curve fit" com 25 funções de ajuste, as seguintes equações: $IAF = 1,16 - 0,0782h + 0,0014h^2$, $r^2 = 0,99$, para o subperíodo vegetativo; $IAF = -206,9 + 4,46h - 0,0234h^2$, $r^2 = 0,98$, para o subperíodo reprodutivo da cultura.

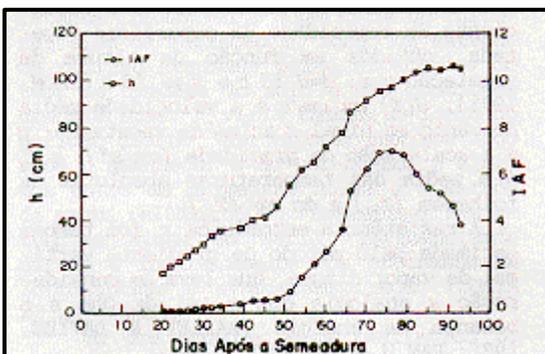


Figura 1 - Variação estacional da altura das plantas (h) e do índice de área foliar (IAF) para o algodão herbáceo irrigado.

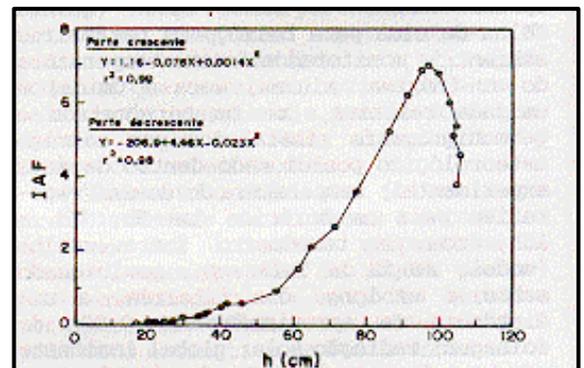


Figura 2 - Variação do índice de área foliar (IAF) com a altura da cultura (h) do algodoeiro.

Para um mesmo regime de ventos, r_{av} mostrou-se máximo no final do subperíodo vegetativo e, em geral, foi cinco a 10 vezes inferior à r_c . Para soja, BAILEY & DAVIES (1981) encontraram $r_c < 20 r_{av}$.

A variação da resistência estomática das folhas (r_{sf}) com a intensidade luminosa (PAR) é mostrada na Figura 3. Observa-se que r_{sf} é mínima ($r_{sf} \approx 0,4 \text{ s/cm}$) para níveis energéticos superiores a 400 W/m^2 e máxima ($r_{sf} \approx 4,0 \text{ s/cm}$) para $PAR \approx 50 \text{ W/m}^2$, observados no horário das 9 horas. A função de melhor ajuste ao conjunto de valores é dada por $r_{sf} = 87,55(PAR)^{-0,88}$, com $r^2=0,91$. Relação semelhante foi encontrada por BAILEY & DAVIES(1981) para um cultivo de soja. A acentuada dispersão dos pontos em torno da curva média pode ser atribuída à variação no estado de turgescência das folhas com o nível de umidade no solo (BAILEY & DAVIES, 1981; LU, 1989; RUSSELL, 1980; SIVAKUMAR & SHAW, 1978), ao longo do intervalo de tempo entre as irrigações.

A resistência estomática do dossel vegetativo (r_c) apresentou valores máximos e mínimos antes e após as irrigações, respectivamente. Em algodão sob condições de estresse severo, PETERSEN *et al* (1991) encontraram a condutância estomática das folhas variando entre 1/3 e 1/2 daquela obtida em condições semelhante de luz e suprimento adequado de água no solo. Em condições ótimas de energia e umidade no solo, r_c mostrou-se inversamente proporcional ao vento e ao déficit potencial de vapor d'água no ar.

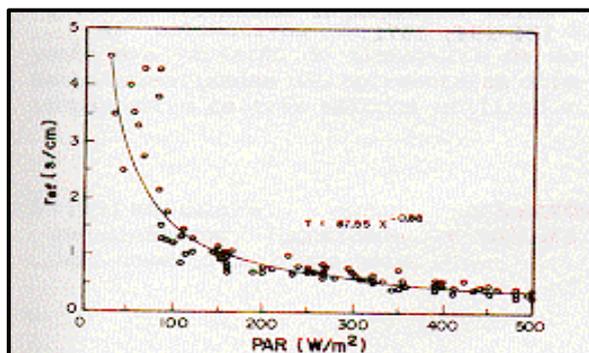


Figura 3 - Variação da resistência estomática de folhas (r_{sf}) do algodão herbáceo com a radiação fotossinteticamente ativa (PAR).

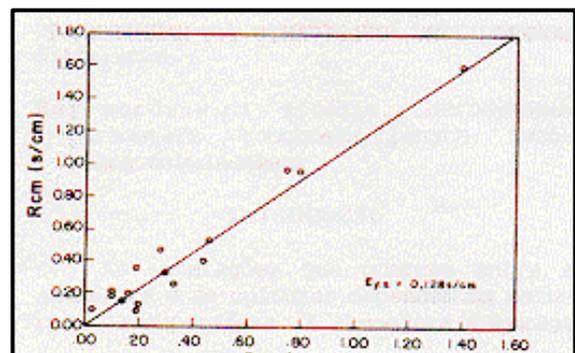


Figura 4 - Comparação dos valores da resistência estomática da cultura (R_{CM}) medidos àqueles estimados (R_{CE}) pelo modelo (Eq.3).

A Figura 4 compara os valores da resistência estomática do dossel vegetativo medidos (r_{CM}) aqueles

estimados (r_{CE}) pela equação(3). O erro padrão de estimativa foi de = 0,128s/cm.

CONCLUSÕES

Os resultados apresentados permitem concluir-se que:

- a) Nas condições ambientais reinantes no local e período do experimento e para as características aerodinâmicas da cultura; r_{av} é cinco a 10 vezes inferior à r_c ;
- b) A resistência estomática das folhas do algodão herbáceo (r_{sf}) apresenta um decréscimo exponencial com a intensidade luminosa;
- c) A resistência estomática do dossel vegetativo (r_c) é influenciada pelo teor de umidade no solo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASHLEY, D.A., DOSS, B.D., BENNETT, O.L. A method of determining leaf area in Cotton. **Agronomy Journal**, v. 55, p. 584-585, 1963.
- BAILEY, W.G., DAVIES, J.A. Bulk stomatal resistance control on evaporation. **Boundary Layer Meteorology**, v. 20, p.401-415, 1981.
- BAILEY, W.G., DAVIES, J.A. The effect of uncertainty in aerodynamic resistance on evaporation estimates from the combination model. **Boundary Layer Meteorology**, v. 20p. 187-199, 1981.
- COSTA, J.P.R.da, AZEVEDO, P.V.de, LIMA FILHO. J.M.P.,*et al.* Resistências de uma cultura de soja ao fluxo de vapor d'água para a atmosfera. IN: V CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1980, Rio de Janeiro - RJ. **Anais ...**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1988. p. 43-48.
- LU, Z.M. Ratio of stomatal resistance on two sides of wheat leaves as affected by soil water content. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 49, p. 1-7, 1989.
- MILNE, R. Water loss and canopy resistance of a young sitka spruce plantation. **Boundary layer Meteorology**, v. 16, p. 67-81, 1979.
- MONTEITH, J.L. Evaporation and environment. In: FOGG,G.F.(ed). **The state and movement of water in living organisms**. Nova York, Cambridge University Press, 1965. p.205-234.

- MONTEITH, J.L. **Principles of environmental physics**. Londres: Edward Arnold, 1973. 241p.
- NORMAN, J.M., SULLIVAN, C.Y., HARRISON, T. *et al* Comparison of four porometers under field conditions. **Agronomy Abstracts**, v. 73, p. 93, 1981.
- PAW U, K.T., DAUGHTRY, C.S.T. A new method for the estimation of diffusive resistance of leaves. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 33, p.141-155, 1984.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. **Proceedings Royal Society London, Serie A**, v. 193, p. 120-145, 1948.
- PETERSEN, K.L., MORESHET, S., FUCHS, M. Stomatal responses of field grown cotton to radiation and soil moisture. **Agronomy Journal**, v.83, p. 1059-1065, 1991.
- ROSENBERG, N.J., BLAD, B.L., VERMA, S.B. **Microclimate: the biological Environment**. 2^a ed., Nova York, John Wiley & Sons., 1983. 495 p.
- RUSSELL, G. Crop evaporation, surface resistance and soil water status. **Agricultural Meteorology**, v. 21, p. 219-226, 1980.
- SIVAKUMAR, M.V.K., SHAW, R.H. Relative evaluation of water stress indicators for soybeans. **Agronomy Journal**, v. 30, p. 619-623, 1978.
- THOM, A.S. Momentum, mass and heat exchange of vegetation. **Quarterly Journal Royal Meteorology Society**, v. 98, p. 124-134, 1971.