

PROPRIEDADES AERODINÂMICAS DE CULTURAS DE SORGO

AZEVEDO, P.V.¹

VERMA, S.B.²

INTRODUÇÃO

A determinação dos fluxos da quantidade de movimento, calor sensível e latente, CO_2 , etc, sobre culturas torna-se extremamente limitada às aproximações dos métodos utilizados, particularmente o método do balanço de energia. O método de determinação dos fluxos turbulentos é extremamente preciso mas requer medições das flutuações verticais turbulentas da propriedade envolvida (CO_2 , temperatura, vento, vapor d'água), o que é bastante complicado pelo fato de utilizar instrumentação complexa e de difícil aquisição. Entretanto, o método do balanço de energia torna-se mais preciso e conveniente para ser aplicado sobre culturas, quando combinado com o método aerodinâmico. O fator limitante dessa combinação passa a ser a caracterização do coeficiente de transferência turbulenta (K_x) que é uma função do tipo e estágio de desenvolvimento das culturas, regime de ventos predominantes, estabilidade da atmosfera e uniformidade e homogeneidade do fluxo de ar em relação à área cultivada. A teoria da similaridade turbulenta permite caracterizar K_x , uma vez conhecidos os parâmetros aerodinâmicos da cultura.

Uma descrição das características aerodinâmicas de superfícies vegetadas é de importância fundamental para um entendimento completo das trocas turbulentas de energia e massa entre a vegetação e a atmosfera. As características aerodinâmicas de uma cultura podem ser expressas em termos de: parâmetro de rugosidade (Z_0), deslocamento do plano-zero (d) e do coeficiente de fricção da cultura (C_d). Estes parâmetros podem ser estimados a partir de perfis médios da velocidade do vento acima da cultura. Dependência funcional de Z_0 , d e C_d sobre a altura da cultura (h) tem sido estabelecida para várias culturas, principalmente para o estágio de completo desenvolvimento das culturas. Contudo, há muito pouca informação a cerca do comportamento desses parâmetros durante os primeiros estágios de desenvolvimento das culturas. Também a dependência de Z_0 , d e C_d sobre o regime de ventos predominantes não é bem estabelecida.

O sorgo é uma cultura de baixa exigência hídrica, alta tolerância a longas estiagens e de alta produtividade de matéria seca e grão, constituindo-se portanto, numa cultura de grande importância econômica para as regiões áridas e semi-áridas. No entanto, não há informações detalhadas sobre a aerodinâmica dessa cultura. Face ao exposto, o presente estudo teve como principal objetivo medições dos perfis de vento e temperatura acima da cultura, os quais foram utilizados no desenvolvimento de informações sobre o comportamento dos parâmetros aerodinâmicos da cultura de Sorgo (Z_0 , d e C_d) para vários estágios de desenvolvimento.

METODOLOGIA

— Métodos usados na Estimação das Características Aerodinâmicas (d , Z_0 e U^*)

a) Análise de Perfis Logarítmicos

D deslocamento do plano-zero (d) e o parâmetro de rugosidade (Z_0) foram estimados através da aplicação da relação do perfil logarítmico dado por:

¹ Professor Adjunto do Departamento de Ciências Atmosféricas da Universidade Federal da Paraíba, Paraíba, Brasil.

² Professor da Universidade de Nebraska-LINCOLN, U.S.A.

$$\bar{U}(z) = \frac{U_*}{k} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right), \text{ para } z > h \quad (1)$$

onde U_* é a velocidade de fricção e k (constante de von Karman) = 0,4. Este método consiste da plotagem de $\bar{U}(z)$ contra $\ln(z-d)$ para diferentes valores de d até que uma relação aproximadamente linear é alcançada. Então, z_0 e U_*/k são obtidos, respectivamente como a interseção e inclinação da reta.

b) *Método da Conservação de Massa*

Recentemente, Molion & Moore (1983) e deBruin & Moore (1983) utilizaram um método para estimativa de d e z_0 baseado no princípio da conservação de massa. Tal método pode ser expresso matematicamente por:

$$\int_0^{z_f} \bar{U}(z) dz = \int_{d+z_0}^{z_f} \frac{U_*}{k} \ln\left(\frac{z-d}{z_0}\right) dz \quad (2)$$

onde z_f é uma altura acima da subcamada de rugosidade. A integração da Eq. (2) resulta em:

$$d = z_f - \frac{z_m}{\{1 - \gamma_d^{-1} + [\gamma_d \exp(\gamma_d)]^{-1}\}} \quad (3)$$

$$e, \quad z_0 = (z_f - d) \exp(-\gamma_d). \quad (4)$$

O termo z_m é a altura na qual obtém-se a velocidade média do vento para a camada de ar acima e dentro da cultura. z_m é expresso por:

$$z_m = \frac{1}{\bar{U}(z_f)} \int_0^{z_f} \bar{U}(z) dz \quad (5)$$

e γ_d é um termo dimensional dado por:

$$\gamma_d = \ln\left(\frac{z_f - d}{z_0}\right) = \frac{k \bar{U}(z_f)}{U_*} \quad (6)$$

Neste estudo z_f foi tomado como o mais elevado nível de observações (2,75m) e z_m foi computado para 11 camadas igualmente espaçadas de 0,25m, empregando as regras trapezoidais sugeridas por Molion e Moore (1983).

c) Método proposto por Seginer:

Seginer (1974) descreveu outro método para estimativa de d e Z_0 em função do comprimento de mistura (l) e do coeficiente de fricção da cultura (C_d). O perfil logarítmico do vento acima da cultura (eq.1) em combinação com a relação do perfil exponencial do vento dentro da cultura (Inoue, 1963; Cionco, 1965) resulta em:

$$\frac{d}{h} = 1 - \frac{l(h)}{kh} \quad (7)$$

$$e, \quad \frac{Z_0}{h} = \frac{l(h)}{kh} \exp \left\{ - \left[\frac{2k^3}{l(h) C_d^2 A} \right]^{1/3} \right\} \quad (8)$$

RESULTADOS E CONCLUSÕES

3.1 - Parâmetro de Rugosidade e Deslocamento do Plano-Zero

a) Variação estacional

Como é esperado, tanto Z_0 como d aumentaram com o aumento de h . Entretanto, a razão de aumento desses parâmetros mostrou uma certa dependência do estágio de desenvolvimento da cultura. Durante o estágio vegetativo (antes da emergência dos pendões), Z_0 e d tiveram um aumento praticamente proporcional ao aumento de h . Por outro lado, durante o estágio de emergência e desenvolvimento dos pendões, Z_0 e d mostraram uma razão de aumento inferior aquela verificada no período vegetativo. A medida que as culturas tornaram-se completamente desenvolvidas ($h \approx 1,30m$), Z_0 e d tenderam para valores assintoticamente constantes. Durante o estágio vegetativo, d e Z_0 aumentaram relativamente mais rápido do que h , atingindo valores máximos quando da época da emergência dos pendões. Estes resultados concordam, em geral, com aqueles de Norman (mencionados em Verma e Barfield, 1979). Durante o período de emergência e desenvolvimento dos pendões ($0,95 < h/w < 1,60$ em 1982 e $0,80 < h/w < 1,45$ em 1983), a taxa de aumento de d foi menor do que a de h , resultando num decréscimo de d/h com o tempo. No mesmo período Z_0/h mostrou um ligeiro decréscimo em 1982 e permaneceu aproximadamente constante em 1983.

No estágio de completo desenvolvimento ($h/w = 1.71$), Z_0/h , sob condições de ventos moderados, atingiu 0,096 em 1982 e 0,076 em 1983. Os valores correspondentes para d/h foram 0,61 e 0,54. Estes valores estão dentro do espectro de resultados apresentados na literatura. Os valores de d/h obtidos pelos métodos alternativos mostraram-se um pouco inferiores à aqueles obtidos da análise dos perfis logarítmicos. Essa diferença pode ser devido ao fato de que a análise dos perfis logarítmicos usa apenas os perfis da velocidade do vento acima da cultura, ao passo que os outros dois métodos empregam ambos os perfis (acima e dentro da cultura) da velocidade do vento. Os menores valores de d/h foram obtidos pelo método da fórmula de Seginer. Essa substituição ocorreu, possivelmente pelo fato do comprimento de mistura, estimado para o topo da cultura, ser assumido constante para toda a camada ocupada pela vegetação. Valores de Z_0/h obtidos pelos métodos alternativos mostraram-se superiores à aqueles obtidos pela análise dos perfis logarítmicos pelas mesmas razões discutidas acima.

b) Dependência da Velocidade do Vento

Em ambos os anos, foi observado um decréscimo em d com o aumento de U^* , provavelmente como um resultado do efeito de tombamento do vento sobre as plantas. Resultado semelhante é apresentado nos trabalhos de Rauner (1976), Uchijima (1976), Bache e Unsworth (1977) e Molion e Moore (1983).

Em 1982, d/h variou de 0,61 em baixa velocidade ($U^* < 0,30ms^{-1}$) a 0,48 em al

ta velocidade ($U_* > 0,60 \text{ms}^{-1}$). Na cultura mais esparsa (1983) essa variação foi de 0,55 (baixa velocidade do vento) a 0,42 (alta velocidade). Essas variações podem ser expressas em termos de regressões lineares do tipo: $d/h = 0,65 - 0,23U_*$ em 1982 e $d/h = 0,55 - 0,2 U_*$ em 1983.

Em 1982, Z_0/h variou de 0,13 em baixo vento a 0,08 em alto vento. Em 1983, essa variação foi de, respectivamente 0,13 a 0,05. As variações em Z_0/h aqui apresentadas podem ser expressas por funções exponenciais do tipo $Z_0/h = 0,68 U_*^{-0,345}$ para 1982 e $Z_0/h = 0,035 U_*^{-0,8}$ para 1983. A dependência da velocidade do vento sobre Z_0/h apresentada neste estudo pode ser atribuída a flexibilidade das folhas de Sorgo, as quais curvam-se mais na direção do fluxo de ar, reduzindo Z_0 . A maior dependência da velocidade do vento sobre Z_0 observada em 1983 foi provavelmente devido ao maior efeito de ondulação. Esses resultados estão de conformidade com aqueles apresentados por Inoue (1963), Thom (1971), Businger (1975), Hichs (1976), Saugier e Ripley (1978), Aase e Siddoway (1980), Legg et alii (1981) e Molion e Moore (1983). Oliver (1971), Munro e Oke (1973), Leuning e Attiwill (1978) e Baldocchi et alii (1983), contudo, não detectaram qualquer dependência da velocidade do vento sobre Z_0/h .

3.2 - Coeficiente de Fricção

O Coeficiente de fricção da cultura (C_d) foi calculado através da razão entre a velocidade de fricção (U_*) e a velocidade média do vento a um nível de referência ($Z_r = 1,50\text{m}$) acima da cultura. Em ambos os anos, C_d decresceu com o aumento de U_* . Em 1982, C_d decresceu de 0,10 em baixa para 0,046 em alta velocidade do vento, com um valor médio de 0,055 sob condições de ventos moderados. Correspondentemente, C_d variou, em 1983, de 0,064 a 0,026, com um valor médio de 0,035. O efeito da velocidade do vento sobre C_d depende da flexibilidade dos elementos da cultura (folha, caule, pedúnculo, etc). Os resultados apresentados aqui sugerem que, em condições de ventos fortes, a vegetação é distorcida e torna-se mais uniforme do ponto de vista aerodinâmico. Semelhante redução de C_d com o aumento da velocidade do vento tem sido apresentada por vários autores Uchijima (1976) para milho e arroz; Ripley e Redman, (1976) para terreno de pastagens). Por outro lado, resultados por denHartog e shaw (1975) para milho, Garratt (1977) para árvores esparsas, Leuning e Attiwill (1978) para florestas de eucaliptos e Legg et alii. (1981) para feijão e batata não evidenciam qualquer dependência da velocidade do vento sobre C_d .

Como pode-se observar os valores de C_d obtidos no plantio mais esparsa (1983) foram menores do que aqueles do plantio mais denso (1982). Isto se deveu ao aumento de porosidade da vegetação, causada pela redução da densidade de plantas. O efeito da porosidade da vegetação sobre a magnitude do coeficiente de fricção foi estudado por Thom (1971), Bergen (1975) e Seginer et alii (1976).

SUMMARY

Wind speeds were measured above grain sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench cv. DK - 57) canopies at Mead, Nebraska, during the 1982 and 1983 growing seasons. The crop was planted in north-south oriented rows 0,76m apart. The plant population ha^{-1} was about 276,000 in 1982 and 118,500 in 1983. Data included in this study are for periods of time when wind direction (measured at 3m) ranged from southeast to southwest.

Above-canopy wind speed profiles under nearly neutral conditions ($|Ri| < 0.003$) were employed to estimate the aerodynamics of a sorghum crop (Z_0 , a and C_d). The dependence of Z_0 , d and C_d on wind speed was also studied.

The roughness parameter (Z_0) and the zero-plane displacement (d) increased with increasing crop height (h). The rate of increase, however, appeared to be dependent on the stage of crop growth. The emergence of the heads played an important role in the seasonal variation of Z_0 and d . Z_0/h and d/h reached maximum values at the time of the emergence of the heads, asymptotically decreasing to constant values

as the crop approached full development. Mean values of z_0/h and d/h for the fully developed and denser sorghum crop at moderate windness were 0,096 and 0,60, respectively. Corresponding values in 1983 (sparser crop) were 0,076 and 0,54. In both years, z_0/h and d/h values at full crop development decreased with increasing wind speed.

Mean values of the crop drag coefficient (C_d) for fully developed canopies at moderate windness were 0,055 in 1982 and 0,035 in 1983. In both years, C_d decreased with increasing wind speed according to the following relationships: $C_d=0,03U_*^{-0,435}$ in 1982 and $C_d = 0,0177U_*^{-0,743}$ in 1983.

PUBLICAÇÕES CONSULTADAS

- Aase, J.K. and F.H. Siddoway. Stubble height effects on seasonal microclimate, water balance, and plant development of no-till winter wheat. *Agric. Meteorol.*, 21:1-20.
- Bache, D.H. and M.H. Unsworth. 1977. Some aerodynamic features of a cotton canopy. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 103: 121-134.
- Baldocchi, D.D., S.B. Verma, and N.J. Rosenberg. 1983. Characteristics of air flow above and within soybean canopies.
- Bergen, J.D., 1975. An approximate analysis on the momentum balance for the airflow in a pine stand. In: D.A. Vries and N.H. Afgan (eds.). *Heat and mass transfer in the biosphere*. Scripta Book Co., Washington. pp. 287-298.
- Businger, J.A., 1975. Aerodynamics of vegetated surfaces. In: D. A. Vries and N.H. Afgan (eds.). *Heat and Mass Transfer in the Biosphere*. Scripta Book Co., Washington. pp. 139-163.
- Cionco, R.M. 1965. A mathematical model for air flow in a vegetative canopy. *J. Appl. Meteorol.*, 4:517-522
- Deacon, E.L., 1973. The wind profile under low- u_* conditions. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 99: 391-393.
- deBruin, H.A.R. and C.J. Moore. 1983. Zero-plane displacement and roughness length for tall vegetation, derived from a simple mass conservation hypothesis. Presented at Forest Environmental measurements Conference, Oak Ridge, TN.
- DenHartog, G. and R.H. Shaw. 1975. A field study of atmospheric exchange processes within a vegetative canopy. In: *Heat and mass transfer in the biosphere*. D.A. Vries and N.H. Afgan (eds). Scripta Book Co., Washington. pp 299-309.
- Garratt, J.R., 1977. Aerodynamic roughness and monthly surface stress over Australia. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO). Paper no. 29 Australia. pp. 19.
- Hicks, B.B., 1976. Wind profile relationships from the Wangara Experiment. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* 102:535-551.
- Inoue, E., 1963. On the turbulent structure of airflow within crop canopies. *J. Meteorol. Soc. Japan*, Ser. 2, 41: 317-326.
- Legg, B.J., I.F. Long and P.J. Zemrock. 1981. Aerodynamic properties of field bean and potato crops. *Agric. Meteorol.*, 23:21-43.

- Leuning, R. and P.M. Attiwill. 1978. Mass, heat and momentum exchange between a mature eucalyptus forest and atmosphere.
- Molion, L.C.B. and C.J. Moore. 1983. Estimating the zero-plane displacement for tall vegetation using a mass conservation method. *Boundary Layer Meteorol.*, 26:115-125.
- Munro, D. S. and T.R. Oke. 1973. Estimating wind profile parameters for tall dense crops. *Agric. Meteorol.*, 11:223-228.
- Oliver, H.R., 1971. Wind profiles in and above a forest canopy. *Quart. J.R. Meteorol. Soc.*, 97: 548-553.
- Rauner, J.U. L., 1976. Deciduous forests. In: *Vegetation and the atmosphere*. J.L. Monteith (ed.), Vol. 2. Academic Press. pp. 241-264.
- Ripley, E.A. and R.E. Redmann. 1976. Grassland. In: *vegetation and the atmosphere*. J.L. Monteith (ed.), Vol. 2. Academic Press pp. 379-398.
- Saugier, B. and E.A. Ripley. 1978. Evaluation of the aerodynamic method of determining fluxes over mature grassland. *Quart. J.R. Meteorol. Soc.*, 104:257-270.
- Seginer, I., 1974. Aerodynamic roughness of vegetated surfaces. *Boundary Layer Meteorol.*, 5: 383-393.
- Seginer, L., P. J. Mulhearn, E.F. Bradley, and J.J. Funnigan 1976. Turbulent flow in a model plant canopy. *Boundary Layer Meteorol.*, 10: 423-453.
- Thom, A.S., 1971. Momentum absorption by vegetation. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 97: 414-428.
- Uchijima, Z., 1976. Maize and rice. In: *Vegetation and the atmosphere*. J. L. Monteith (ed.), Vol. 2. Academic Press, New York. pp. 33-64.
- Verma, S.V. and B.J. Barfield. 1979. Aerial and crop resistances affecting energy transport. In: *Modification of the aerial environmental of plants*. Barfield, B.J. and J.F. Gerber (eds.). *Amer. Soc. Agric. Engr.*, St. Joseph, MI. pp.230-248.