

Revista Brasileira de Agrometeorologia, Santa Maria, v. 3, p. 93-96, 1995.

Aprovado para publicação em 15/12/94.

MODELO AGROMETEOROLÓGICO PARA ESTIMAR RENDIMENTO DE GRÃOS DE MILHO

AGROMETEOROLOGICAL MODEL TO ESTIMATE CORN YIELD.

Antonio Sergio Ferraudo¹, Romísio Geraldo Bouhid André² e Sheila Zambelo de Pinho³.

RESUMO

Este trabalho teve como finalidade a aplicação do modelo de DOORENBOS e KASSAM (1979) para estimar o rendimento de grãos da cultura do milho, na região de Ribeirão Preto, SP, no período de 1969 a 1988. O modelo faz uso da evapotranspiração potencial e da evapotranspiração real, estimadas pelo método de Linacre e do balanço hídrico, respectivamente. Foram utilizados, nesse período, dados meteorológicos de temperatura, umidade do ar e precipitação, bem como o rendimento anual de milho. Os resultados mostraram que o modelo estima satisfatoriamente o rendimento de grãos da cultura do milho nessa região, sendo portanto, recomendado para essa finalidade.

Palavras-chave: rendimento de grãos, balanço hídrico, cultura do milho.

SUMMARY

The objective of this research was to apply the DOORENBOS and KASSAM (1979) model to estimate corn yield in the Ribeirão Preto region (SP) from 1969 to 1988. The model uses potential and actual evapotranspiration, estimated by the Linacre method and the water balance, respectively. Meteorological data of temperature, relative humidity and rain, as well crop yield were used. The results showed that the model provide good estimates of corn yield, for the region, and therefore it is recommended for this purpose.

Key words: yield model, water balance, corn crop.

¹ Licenciado em Matemática, Prof. Assist. Dr., Dep. de Ciências Exatas da FCAV, UNESP

² Bel. Meteorologia, Prof. Assist. Dr., Dep. de Ciências Exatas da FCAV - UNESP. Rodovia Carlos Tonanni Km 5 CEP 14870-000, Jaboticabal, SP

³ Engº Agrº, Prof. Adjunto, Dep. de Matemática e Estatística do Instituto de Biociências - UNESP, Rubião Júnior, CEP 18618-000, Botucatu, SP.

INTRODUÇÃO

A água é um elemento de vital importância na relação solo-planta-atmosfera. Os primeiros estudos científicos, no sentido de esclarecer e quantificar as relações existentes entre produção e água utilizada pelas culturas agrícolas, mostraram claramente relação entre quantidade de matéria seca produzida e transpiração bem como entre evapotranspiração e quantidade de grãos. Um passo em frente foi a utilização de valores relativos de rendimento de grãos e de evapotranspiração, no sentido de reduzir o efeito do nível de produção e normalizar o efeito do clima. Neste sentido começaram a aparecer modelos de rendimento de grãos, baseados em parâmetros meteorológicos, classificados segundo BAIER (1979) em três categorias: "modelo estatístico empírico", que é construído a partir de séries históricas de dados de rendimento e dados meteorológicos de uma determinada região; "modelo de análise planta-clima", que tem por objetivo explicar com base nos processos físicos e fisiológicos (e/ou fenológicos) o efeito de uma ou mais variáveis meteorológicas numa resposta quantificável da planta, como crescimento, desenvolvimento ou rendimento (BAIER, 1973) e "modelo de simulação do crescimento da planta", que supõe uma simulação através de um conjunto de equações matemáticas, conhecidos os mecanismos biofísicos das plantas e o impacto das variáveis meteorológicas em processos específicos como fotossíntese, respiração ou transpiração.

O objetivo deste trabalho foi testar o modelo, proposto por DOORENBOS e KASSAM (1979), classificado como "modelo de análise planta-clima", para estimar o rendimento de grãos de milho na região de Ribeirão Preto, SP. Outros pesquisadores utilizaram-se de modelos planta-clima: PEDRO JÚNIOR et al. (1983) estimaram o rendimento de grãos de cultivares de soja de ciclo precoce (Davis e Paraná); MEDEIROS et al. (1991) avaliaram as relações entre rendimento de grãos de milho e evapotranspiração relativa para sete subperíodos e no ciclo para a localidade de Taquari, RS; PINHEIRO (1986) desenvolveu dois modelos de rendimento de grãos para diferentes variedades de trigo em regiões australianas; VAUX JÚNIOR e PRUITT (1983) fizeram uma revisão dos principais modelos de produtividade, até então utilizados, dando ênfase ao uso da água como fator principal da produção; COSTA et al. (1988) desenvolveram um modelo agrometeorológico, para prever o rendimento de grãos de soja, para regiões do triângulo mineiro e alto Paranaíba; e CUELLAR et al. (1990) utilizaram de um modelo agroclimatológico de rendimento de grãos de milho, para oito localidades do Estado de Minas Gerais.

MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o presente trabalho foram utilizados dois conjuntos de dados: dados meteorológicos de Ribeirão Preto, SP (21° 10' 42" S, 42° 48' 24" W - 535,8 m) obtidos junto a Estação Experimental do Instituto Agromômico de Campinas, da Secretaria de Agricultura do Estado de São Paulo e dados de

rendimento anual de grãos de milho, obtidos junto à Divisão Regional Agrícola - DIRA de Ribeirão Preto, ambos referentes ao período de 1969 a 1988 (outubro a fevereiro). Convém ressaltar dois fatos muito importantes: 1) estes dados foram obtidos de forma subjetiva, fato que leva a comparar estimativas com valores sujeitos a margens de erros não considerados; 2) embora subjetivos, trata-se de uma série de vários anos de dados regionais que são exigências dos modelos planta-clima.

O modelo utilizado neste trabalho foi o de DOORENBOS e KASSAM (1979) cuja expressão é a seguinte:

$$\left(1 - \frac{Y}{Y_m}\right) = \sum_{a=1}^N K_a \left(1 - \frac{ETR}{ET_m}\right)_1 \quad (1)$$

onde:

Y/Y_m é o rendimento relativo de grãos, Y o rendimento total de grãos estimado no ano (kg/ha), Y_m o rendimento máximo de grãos, correspondente à ET_m (kg/ha), K_a o coeficiente de sensibilidade relativa da planta ao déficit hídrico no estágio a , N o número de estádios do desenvolvimento anual da cultura, ETR/ET_m a evapotranspiração relativa, ETR a evapotranspiração real (mm) e ET_m a evapotranspiração máxima, ou demanda ideal, da cultura considerada (mm).

Neste trabalho a ET_m foi substituída pela evapotranspiração potencial (ETP).

As estimativas da ETP e da ETR foram calculadas para períodos de 10 dias em cada estágio e totalizadas para cada ano. O balanço hídrico de THORNTWAITE E MATTER (1955) foi utilizado para o cálculo da ETR. A estimativa da ETP, que foi utilizada no modelo de rendimento de grãos e no balanço hídrico, foi feita utilizando-se o método de Linacre (LINACRE, 1977), devidamente ajustado para a região através do método de Penman. Todas as estimativas foram obtidas utilizando-se o sistema computacional SAAGRI desenvolvido por FERRAUDO (1993).

Para a utilização do modelo proposto utilizou-se um conjunto com 19 anos de medidas diárias de temperatura e umidade relativa do ar e precipitação pluviométrica. Para utilização do método de Linacre, considerou-se a altitude de 538,5 m e a latitude de 21° 10' 42" S (Ribeirão Preto-SP). O ciclo da cultura de milho foi considerado como sendo de 140 dias, contados a partir de 1° de outubro de cada ano. O valor do rendimento máximo de grãos da região Y_m foi considerado o maior valor da série nesses 19 anos, ou seja 3924 kg/ha. Inicialmente foram processadas as estimativas de rendimento de grãos usando os dados observados, sem qualquer transformação. Os resultados obtidos não foram muito animadores o que resultou numa transformação desses valores, melhorando as estimativas, uma vez que o modelo não leva em conta fatores como evolução da tecnologia, aprimoramento de técnicas usadas e descoberta de novas técnicas. Ao se tentar eliminar estes efeitos as estimativas se aproximaram dos valores observados. Para esta transformação ajustou-se os dados iniciais de rendimento de grãos, em função do ano (de 1 a 19), obtendo um coeficiente de correlação linear (r) de 0,84. Passou-se então a considerar o rendimento de

grãos estimado ajustado para os fatores tecnológicos do último ano, assim:

$$\hat{Y} = a + 77,15(\text{ano}) \quad (2)$$

$$\hat{Y}_f = a + 77,15(\text{ano}_f) \quad (3)$$

onde \hat{Y}_f é a estimativa e ano_f o último ano considerado.

Logo, o rendimento de grãos ajustado é obtido, somando-se o rendimento de grãos de cada ano à quantidade:

$$\hat{Y}_f - \hat{Y} = 77,15(\text{ano}_f - \text{ano}) \quad (4)$$

Com isto, as estimativas do rendimento anual de grãos foram comparados com os rendimentos anuais ajustados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A duração dos diferentes estádios está mostrada na Tabela 1, bem como os valores do coeficiente de sensibilidade (K), para os diferentes estádios da cultura, o número de dias e a capacidade de água disponível (CAD), adotada (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

Tabela 1 - Coeficientes de sensibilidade nos diferentes estádios da cultura do milho e valores da capacidade de água disponível, utilizados na aplicação do modelo.

ESTÁDIOS	No.de dias	K	CAD (mm)
Vegetativo	60	0,4	50
Florescimento	20	1,5	50
Enchimento de grãos	20	0,5	50
Maturação fisiológica	20	0,2	50

Os valores das estimativas e os valores observados do rendimento de grãos estão descritos na Tabela 2. Tais estimativas mostram um razoável ajuste entre os valores estimados pelo modelo e os valores observados. Dos 19 anos considerados somente 4 apresentaram erros de estimativa acima de 10%. Isto se deve, provavelmente a ação de fatores naturais não levados em conta, o que define esses anos como

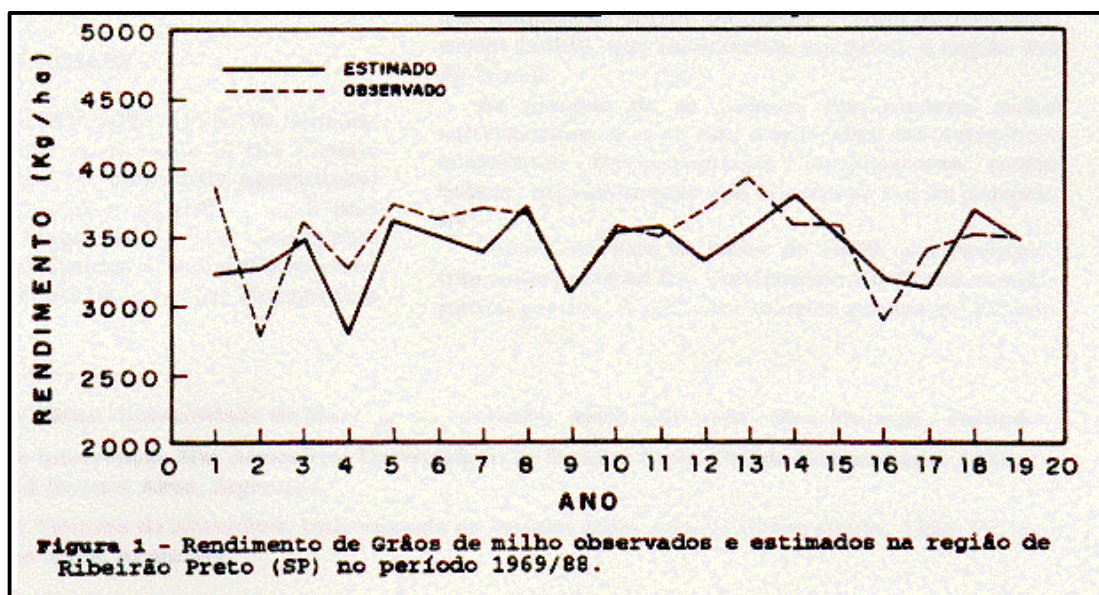
atípicos e, também, outras variáveis não consideradas.

Tabela 2 - Rendimento observado de grãos de milho (Y_r), rendimento estimado (Y_e) e respectivos desvios ($d=Y_e - Y_r$). Ribeirão Preto, SP.

SAFRA	(ANO)	Y_r (kg/ha)	Y_e (kg/ha)	d (%)
1969/70	(1)	3866	3228	(-16,5)
1970/71	(2)	2763	3269	(18,3)
1971/72	(3)	3604	3489	(-3,2)
1972/73	(4)	3268	2791	(-14,6)
1973/74	(5)	3731	3605	(-3,4)
1974/75	(6)	3624	3490	(-3,7)
1975/76	(7)	3703	3375	(-8,8)
1976/77	(8)	3656	3707	(1,4)
1977/78	(9)	3087	3096	(0,3)
1978/79	(10)	3574	3524	(-1,4)
1979/80	(11)	3496	3562	(1,9)
1980/81	(12)	3677	3321	(-9,7)
1981/82	(13)	3924	3538	(-9,8)
1982/83	(14)	3589	3791	(5,6)
1983/84	(15)	3578	3485	(-2,6)
1984/85	(16)	2883	3187	(10,6)
1985/86	(17)	3411	3118	(-8,6)
1986/87	(18)	3514	3682	(4,8)
1987/88	(19)	3491	3476	(-0,4)

PEDRO JR. et al. (1983) encontraram resultados que variaram de 8 a 25% para diferentes cultivares de soja e regiões estudadas, utilizando-se do mesmo modelo.

A Figura 1 mostra uma comparação entre os valores estimados e observados do rendimento de grãos de milho. Nota-se que as diferenças entre as estimativas e os valores observados foram, em termos práticos, aceitáveis, o que indica a aplicabilidade desse modelo.



Os resultados mostraram que o modelo de DOORENBOS e KASSAM (1979) modificado, permite esti-

mar satisfatoriamente o rendimento de grãos do milho para a região de Ribeirão Preto. Deve-se ressaltar a importância de outras variáveis neste estudo, como por exemplo, a mudança na tecnologia e nos procedimentos de manejo da cultura referentes a cada safra. Uma observação muito importante no estudo de modelos está na quantidade de dados que os tornem consistentes. Neste estudo a quantidade de anos com dados de rendimento de grãos observados é insuficiente para dar consistência ao modelo utilizado. Pode-se dizer que o modelo proposto por DOORENBOS e KASSAM mostrou razoável sensibilidade quando aplicado para anos não atípicos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BAIER, W. Crop-weather analysis model: review and model development. **Journal of Applied Meteorology**, Boston, v. 12, p. 937-947, 1973.
- BAIER, W. Note on the terminology of crop-weather models. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 20, p. 137-145, 1979.
- CUELLAR, V.E. et al. Estimativa da produtividade da cultura de milho em Minas Gerais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6, Salvador, 1990. **Anais...**, Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1990. p. 88-92.
- DOORENBOS, J., KASSAM, A.H. **Yield response to water. FAO Irrigation and Drainage**. Rome: FAO, 1979. 193 p. (Paper,33)
- FERRAUDO, A.S. **Sistema Computacional para estimativas da evapotranspiração (potencial e real) e produtividade de culturas através de parâmetros meteorológicos derivados**. Botucatu: Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, 1993. 83 p. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura).
- LINACRE, E.T. A simple formula for estimating evaporation rates in various climates, using temperature data alone. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 18, p. 409-424, 1977.
- MEDEIROS, L.P.S., WESTPHALEN, S.L., MATZENAUER, R. *et al* Relações entre evapotranspiração e rendimento de grãos de milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 26, n. 1, p. 1-10, 1991.
- PEDRO JUNIOR, M.J., CAMARGO, M.B.P., MIRANDA, M.A.C. *et al* . Teste de modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade da cultura da soja de ciclo precoce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, Campinas, 1983. **Anais...**, Campinas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984. p 11-17.
- PINHEIRO, F.M.A. **Estimating crop yield using climatological variables**. Australia: Macquarie University, 1986. 198 p. Tese (Doutorado).
- THORNTHWAITE, C.W., MATHER, J.R.. **The water balance**. Centerton, New Jersey: Laboratory of

Climatology, 1955. 104 p. (Climatology, v. 10, n. 3).

VAUX JUNIOR, H.J., PRUITT, W.O. **Crop-water production functions**. In: ADVANCED IN IRRIGATION. New York: Academic Press, 1993. v. 2, p. 61-93.