

# Parametrização de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade da cultura do milho na região de Parnaíba, Piauí<sup>1</sup>

## Validation of meteorologic models for corn productivity estimation in Parnaíba region of Piauí State, Brazil

Aderson Soares de Andrade Júnior<sup>2</sup>, Luiz Gonzaga Medeiros de Figueredo Júnior<sup>3</sup>, Milton José Cardoso<sup>4</sup>  
e Valdenir Queiroz Ribeiro<sup>5</sup>

**Resumo** - O uso de modelos de culturas possibilitam uma economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para tomada de decisões no setor agrícola, por possibilitar uma previsão do processo de interesse e/ou um melhor entendimento do sistema em estudo. O presente trabalho teve por objetivo parametrizar alguns modelos agrometeorológicos para estimativa da produtividade de grãos de milho nas condições de solo e clima do município de Parnaíba, PI. Os dados agrometeorológicos e de produtividade de grãos de milho foram obtidos de experimentos conduzidos no período de 1994 a 2002, no município de Parnaíba, PI (03°05' S, 41°47' W e altitude de 46 m). Os modelos agrometeorológicos de estimativa da produtividade parametrizados foram: Jensen, Minhas e Stewart. Os modelos estudados podem ser utilizados com considerável grau de confiabilidade para estimar a produtividade de grãos de milho na região de Parnaíba, PI, sendo o modelo de Stewart et al. (1977), o mais recomendado para essas condições.

**Termos para indexação:** risco climático, modelagem, rendimento, balanço hídrico.

**Abstract** - The use of cultivation models enables a saving of time, work and amount of resources to make decisions in the agricultural sector. It also makes capable a forecast of the process of interest and/or a better agreement of the system in study. This paper aims to test some models to estimate the productivity of corn grains in the soil and climate conditions of the Parnaíba region, Piauí State, Brazil. The meteorological and corn productivity data were obtained from experiments plots from 1994 to 2002 in Parnaíba, Piauí State. The crop models tested to estimate the productivity were: Jensen (1968), Minhas et al. (1974) and Stewart et al. (1977). The tested models can be used with considerable degree of trustworthiness to estimate the productivity of corn grains in Parnaíba region. The Stewart et al. (1977) is the most recommended model for this work.

**Index terms:** climatic risk, crop model, yield, water balance.

---

<sup>1</sup> Recebido para publicação em 24/08/2005; aprovado em 28/12/2005.

<sup>2</sup> Eng. Agrônomo, D. Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, aderson@cpamn.embrapa.br

<sup>3</sup> Eng. Agrônomo, D. Sc., Prof. da Universidade Estadual do Piauí, Campus de Parnaíba, PI, fjunior@uespi.br

<sup>4</sup> Eng. Agrônomo, D. Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, milton@cpamn.embrapa.br

<sup>5</sup> Eng. Agrônomo, M.Sc., Pesquisador da Embrapa Meio-Norte, Teresina, PI, valdenir@cpamn.embrapa.br

## Introdução

Em função do valor nutritivo e dos altos rendimentos alcançados, o milho (*Zea mays* L.) é um dos cereais mais cultivados no mundo, assumindo grande importância social e econômica. No Brasil, o milho é cultivado em todas as regiões, ocupando uma área de aproximadamente 13 milhões de hectares (CONAB, 2004). No estado do Piauí, a área cultivada com este cereal alcançou, no ano agrícola de 2002/2003, aproximadamente 282.800 ha, com uma produção de 287.300 toneladas de grãos (CONAB, 2004).

Previsões de safra e outras estimativas envolvendo culturas agrícolas podem ser utilizadas com grande êxito em diversas situações a partir de modelos de simulação de culturas. Dentre as vantagens da utilização de modelos, destacam-se a economia de tempo, trabalho e quantidade de recursos para planejamento e tomada de decisões de manejo no setor agrícola.

As estimativas de produtividade tornam-se mais precisas quando os modelos de simulação são usados para simular a produção em grandes áreas (Lozarda & Ancelocci, 1999). Por outro lado, Hoogenboom (2000) afirma que a utilização de modelos, com fins de predição, pode ter aplicações, tanto previamente à semeadura, como durante o crescimento e desenvolvimento da cultura, podendo essa informação ser usada ao nível de propriedades rurais ou de instituições governamentais para planejamento de políticas agrícolas.

Diversos autores desenvolveram modelos para estimativa de produtividade de culturas com base em parâmetros agrometeorológicos (Jensen, 1968; Minhas et al., 1974; Stewart et al., 1977; Doorenbos & Kassam, 1979; Figueredo Júnior, 2004). A quantificação dos elementos do clima, portanto, pode ser utilizada para elaboração de modelos de simulação de crescimento e desenvolvimento de culturas, tornando-se um importante instrumento para pesquisa, planejamento e monitoramento de culturas (Pandolfo, 1995).

Para que um modelo seja utilizado em condições diferentes daquela em que foi desenvolvido, é necessário que seus parâmetros sejam testados e ajustados, sendo sua aplicação dependente dos resultados obtidos. Apesar da importância sócio-econômica da cultura de milho para o Estado do Piauí, ainda não foram conduzidos trabalhos visando à identificação de modelos de estimativa de produtividade em suas diferentes regiões produtoras.

Esse trabalho tem por objetivo parametrizar alguns modelos agrometeorológicos para estimativa da produtivi-

dade de grãos de milho nas condições de solo e clima do município de Parnaíba, situado na microrregião do Litoral Piauiense.

## Material e Métodos

Os dados de produtividade de grãos da cultura do milho foram obtidos dos experimentos do programa de melhoramento genético da Embrapa, executados no período de sequeiro, durante os anos de 1994 a 2002, pela Embrapa Meio-Norte, em Parnaíba, PI (03°05' S, 41°47' W). O período de semeadura ocorreu no mês de janeiro e as variedades utilizadas foram: BR 5011, BR 5028, BR 5033, BR 5037, BR 5039, BR 5052 e BRS 4150. Predominam na região os solos classificados como Neossolos Quartzarênicos, textura arenosa e de baixa fertilidade natural. A precipitação média anual é de 965 mm. O trimestre mais chuvoso é fevereiro/março/abril. A temperatura média anual é de 27,9°C (Bastos et al., 2000). Os dados meteorológicos diários foram obtidos na Estação Meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET; instalada no Campo Experimental da Embrapa Meio-Norte, em Parnaíba, PI. Consideraram-se quatro fases fenológicas para a cultura do milho (ciclo de 120 dias), definidas em função de dias após a emergência (DAE): I – Emergência (E) a 10% do desenvolvimento vegetativo (DV) (E a 20 DAE); II – 10% DV ao início do pendoamento (21 DAE a 55 DAE); III – início do pendoamento ao início da maturação (56 DAE a 95 DAE) e IV – início da maturação à colheita (96 DAE a 120 DAE).

Para a estimativa da disponibilidade hídrica no solo durante o ciclo da cultura, usou-se o método do balanço hídrico diário de Thornthwaite & Mather (1955), com a evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>) estimada por Penman – Monteith. Utilizou-se uma planilha eletrônica para o cálculo do balanço hídrico sequencial diário, com a capacidade de água disponível (CAD) no solo variável e em função das características físico-hídricas do solo: capacidade de campo (CC) = 9,78%, em massa; ponto de murcha permanente (PMP) = 2,94%, em massa; densidade do solo (Ds) = 1,42 g.cm<sup>-3</sup> e profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Z) = 10, 15, 25 e 35 cm para as fases I, II, III e IV, respectivamente (Andrade Júnior, 2000).

Os modelos agrometeorológicos de estimativa da produtividade parametrizados foram: Jensen (1968), Minhas et al. (1974) e Stewart et al. (1977), substituindo-se a evapotranspiração máxima da cultura (ET<sub>m</sub>) pela evapotranspiração de referência (ET<sub>o</sub>), dispensando-se o uso dos coeficientes de cultura (Kc). Essa simplificação foi necessária, já que não existem valores de Kc “medidos”

nas condições locais. O uso de valores de Kc tabelados pela FAO, normalmente, obtidos em condições climáticas totalmente distintas, podem implicar em erros de estimativa de produtividade dos modelos parametrizados, que poderiam ser até maiores que o fato de não usá-los. Além disso, a utilização de valores de ETo no lugar da ETm, facilita a generalização dos modelos de função de produção parametrizados, permitindo um certo grau de transferibilidade dos mesmos para outras regiões.

1. Modelo de Jensen (1968):

$$\frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left( \frac{ET_r}{ET_o} \right)_i^{\lambda_i} \quad (1)$$

2. Modelo de Minhas et al. (1974):

$$\frac{Y}{Y_m} = \prod_{i=1}^n \left[ 1 - \left( 1 - \frac{ET_r}{ET_o} \right)_i^{2^{b_i}} \right] \quad (2)$$

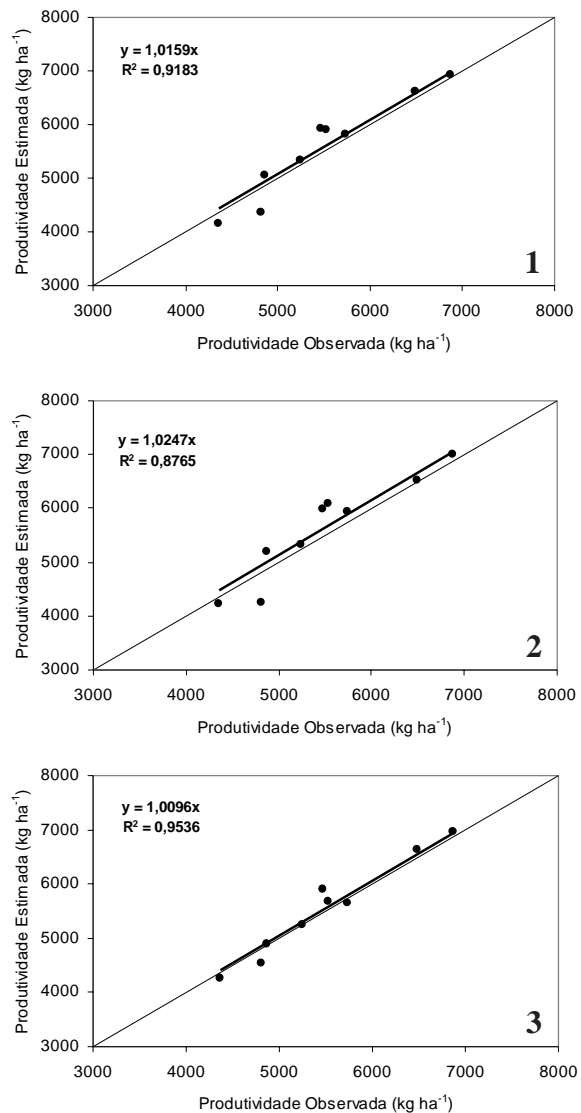
3. Modelo de Stewart et al. (1977):

$$\frac{Y}{Y_m} = 1 - \sum_{i=1}^n \beta_i \left( 1 - \frac{ET_r}{ET_o} \right)_i \quad (3)$$

em que, Y é a produtividade real estimada da cultura (kg ha<sup>-1</sup>); Ym é a produtividade máxima da cultura (kg ha<sup>-1</sup>); ETr é a evapotranspiração real da cultura (mm); λ, b, β os coeficientes empíricos dos modelos e i o índice relativo aos estádios de desenvolvimento da cultura. Os coeficientes empíricos dos modelos foram estimados por regressão linear múltipla, com intersecção igual a zero, considerando como produtividade real (Y) o valor de produtividade média observada para as cultivares avaliadas no período de estudo. No caso dos modelos de Jensen (1968) e Minhas et al. (1974), usaram-se as transformações logarítmicas das expressões 1 e 2. Assumiu-se como Ym, em cada ano agrícola, a produtividade máxima observada nos ensaios das cultivares para a região em estudo. Para avaliação do desempenho dos modelos, utilizaram-se os coeficientes de correlação de Pearson (R), índice “d” de concordância de Willmott (Willmott, 1981) e o coeficiente de confiança ou desempenho “c”, o qual é o produto entre “R” e “d”. Na Tabela 1 são apresentados os valores do índice “c” e sua classificação proposta por Camargo & Sentelhas (1997).

## Resultados e Discussão

A relação entre a produtividade observada e estimada pelos modelos parametrizados é apresentada na Tabela 3 e na Figura 1. Houve uma tendência de superestimativa da produtividade para todos os modelos avaliados, com valores médios de erro de 1,15%, 2,06% e 0,58% para os modelos 1 (Jensen, 1968), 2 (Minhas et al., 1974) e 3 (Stewart et al., 1977), respectivamente. Os coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>) obtidos da análise de regressão foram de 0,9183; 0,8765 e 0,9536, para os modelos 1, 2 e 3, respectivamente, indicando que considerável parte da



**Figura 1** - Produtividade observada e estimada pelos modelos testados: 1 - Jensen (1968); 2 - Minhas et al. (1974) e 3 - Stewart et al. (1977).

**Tabela 1** - Classificação do coeficiente de confiança ou desempenho (c) proposto por Camargo e Sentelhas (1997).

C	Desempenho
>0,90	Ótimo
0,81 a 0,90	Muito bom
0,71 a 0,80	Bom
0,51 a 0,70	Mediano
0,41 a 0,50	Sufrível
0,31 a 0,40	Mau
d ≤ 0,30	Péssimo

variância total dos valores de produtividade da cultura é explicada pelos modelos. Contudo, a adoção do R<sup>2</sup>, como único critério de definição da qualidade do método, não é muito adequada, pois não estabelece o tipo e a magnitude de possíveis covariâncias.

Os índices de desempenho dos modelos apresentaram valores elevados para o coeficiente de correlação de

Pearson (R), índice “d” de concordância de Willmott e eficiente “c”, especialmente o modelo de Stewart et al. (1977), com R = 0,9765; d = 0,9976 e c = 0,9742 (Tabela 2). Índices de desempenho semelhantes foram obtidos por Moraes (1998) com a cultura da soja, atribuindo-os ao fato desses modelos incorporarem índices de penalização da produtividade para cada estágio fenológico distinto.

Os altos índices de desempenho obtidos demonstram que os modelos parametrizados permitem realizar estimativas de produtividade da cultura de milho com elevada precisão e exatidão, conferindo-lhes desempenho estatístico “ótimo”, segundo escala adotada por Camargo & Sentelhas (1997) (Tabela 1). O modelo de Stewart et al. (1977) apresentou maior precisão (R = 0,9765) e exatidão (d = 0,9976) na estimativa da produtividade de grãos da cultura do milho, devendo ser preferencialmente utilizado.

A relação entre a produtividade relativa e a evapotranspiração relativa (razão entre a evapotranspiração

**Tabela 2** - Coeficientes empíricos (CE) e índices de desempenho estatístico dos modelos avaliados.

Modelos	Fases	CE <sup>1</sup>	d <sup>2</sup>	R <sup>3</sup>	c <sup>4</sup>
Jensen (1968)	I	0,17332	0,9957	0,9583	0,9541
	II	0,27041	-	-	-
	III	-0,31276	-	-	-
	IV	-0,14793	-	-	-
Minhas et al. (1974)	I	0,30875	0,9933	0,9362	0,9299
	II	0,52051	-	-	-
	III	-1,04610	-	-	-
	IV	-0,21897	-	-	-
Stewart et al. (1977)	I	0,26180	0,9976	0,9765	0,9742
	II	0,46219	-	-	-
	III	-0,35823	-	-	-
	IV	-0,32	-	-	-

<sup>1</sup> λ-Jensen (1968); b-Minhas et al. (1974) e β-Stewart et al. (1977); <sup>2</sup> d – Índice de concordância de Willmott; <sup>3</sup> R – Coeficiente de correlação de Pearson; <sup>4</sup> c – Coeficiente de confiança de Camargo & Sentelhas.

**Tabela 3** - Produtividade (kg.ha<sup>-1</sup>) de grãos de milho observada e estimada pelos modelos parametrizados e os respectivos erros (%).

Ano	Observada	Modelos / Produtividade de grãos (kg.ha <sup>-1</sup> )					
		Jensen		Minhas		Stewart	
		Estimada	Erro	Estimada	Erro	Estimada	Erro
1994	5473	5928	8,30	5978	9,21	5900	7,79
1995	5536	5886	6,31	6095	10,09	5688	2,74
1996	4813	4361	-9,39	4255	-11,58	4542	-5,62
1997	5248	5331	1,58	5318	1,34	5249	0,01
1998	4362	4165	-4,52	4223	-3,19	4263	-2,27
1999	4869	5061	3,96	5195	6,70	4898	0,60
2000	5738	5810	1,26	5944	3,59	5646	-1,60
2001	6874	6928	0,78	7005	1,90	6960	1,24
2002	6492	6624	2,04	6527	0,53	6646	2,36
Média	5489	5566	1,15	5615	2,06	5532	0,58

real e a evapotranspiração máxima) vem sendo utilizada em modelos de simulação de culturas que utilizam disponibilidades energética e hídrica, como os modelos parametrizados no presente trabalho, assumindo grande importância no planejamento das culturas irrigadas. Uma vez estabelecida à curva de resposta entre evapotranspiração relativa e produtividade, é possível avaliar a eficiência da irrigação sobre o rendimento, o que permite obter uma estimativa com e sem o uso da irrigação, a partir de dados do balanço hídrico.

Vale ressaltar que a utilização de um modelo deve ser recomendada com base em estudos que comprovem sua aplicação, sendo a parametrização ou calibração dos seus parâmetros, uma etapa importante na construção do conhecimento. Outra etapa a ser considerada, conforme Dourado Neto (1999), é a validação do modelo para as condições de interesse, normalmente empregada em seguida à calibração com um conjunto de dados distinto daquele utilizado para calibrar o modelo, tendo por finalidade comprovar e consolidar a eficiência de aplicação do modelo.

## Conclusão

Os modelos parametrizados podem ser utilizados com considerável grau de exatidão e precisão para estimar a produtividade de grãos de milho na região de Parnaíba, PI, sendo o modelo de Stewart et al. (1977) o mais recomendável para essas condições de clima e solo.

## Referências Bibliográficas

- ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Viabilidade da irrigação, sob risco climático e econômico, nas microrregiões de Teresina e Litoral Piauiense**. 2000. 566p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.
- BASTOS, E. A.; RODRIGUES, B. H. N.; ANDRADE JÚNIOR, A. S. **Dados agrometeorológicos para o município de Parnaíba, PI (1990-1999)**. Teresina: Embrapa Meio-Norte. 2000. 27p. (Embrapa Meio-Norte. Documentos, 46).
- CAMARGO, A. P.; SENTELHAS, P. C. Avaliação do desempenho de diferentes métodos de estimativa da evapotranspiração potencial no Estado de São Paulo, Brasil. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.5, n.1, p.89-97, 1997.
- CONAB. **Quinto levantamento safra 2003/2004** – junho de 2004. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acesso em: 18 ago 2004.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campina Grande: UFPB, 1994. 306p. (Estudos FAO: Irrigação e Drenagem, 33).
- DOURADO NETO, D. **Modelos fitotécnicos referentes à cultura do milho**. 1999. 229p. Tese (Livre-Docência) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1999.
- FIGUEREDO JÚNIOR, L. G. M. **Modelo para estimação da produtividade de grãos de milho no Estado de São Paulo**. 2004. 68p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.
- HOOGENBOOM, G. Contribution of agrometeorology to the simulation of crop production and its applications. **Agricultural and Forest Meteorology**, n.103, p.137-157, 2000.
- JENSEN, M. E. **Water consumption by agricultural plants**. New York: Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.
- LOZARDA, B. I.; ANGELOCI, L. R. Efeito da temperatura do ar e da disponibilidade hídrica do solo na duração de subperíodos e na produtividade de um híbrido de milho (*Zea mays*, L.). **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.7, n.1, p.37-43, 1999.
- MINHAS, B. S.; PARIKH, K. S.; SRINIVASAN, T. N. Towards the structure of a production function for wheat yields with dated inputs of irrigation water. **Water Resources Research**, v.10, p.383-393, 1974.
- MORAES, A. V. C. **Desenvolvimento e análise de modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade para a cultura da soja na região de Ribeirão Preto, SP**. 1998. 95p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1998.
- PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. 1995. 128p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Agronomia, Universidade do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1995.
- PATERNIANI, E. **Melhoramento e produção de milho no Brasil**. São Paulo: Fundação Cargill, 1978. 650p.
- STEWART, J. I.; HAGAN, R. M.; PRUITT, W. O.; HEANKS, R. J.; RILEY, J. P.; DANIELSON, R. E.; FRANKLIN, W. T.; JACKSON, E. B. **Optimizing crop production through control of water and salinity levels in the soil**. Utah State University, Logan: Utah Water Research Laboratory. 1977. 191p. (Publication n° PRWW151-1).
- THORNTON, C. W.; MATHER, J. R. **The water balance: publications in Climatology**. New Jersey: Drexel Institute of Technology, 1955. 104p.
- WILLMOTT, C. J. On the validation of models. **Physical Geography**, v.2, p.184-194, 1981.