

# ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE DE ARROZ IRRIGADO POR INUNDAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA DO AR E DA RADIAÇÃO SOLAR

M.J. PEDRO JÚNIOR<sup>1,3</sup>; P.C. SENTELHAS<sup>1</sup>; A.V.C.MORAES<sup>1</sup>; O.V. VILLELA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Agrônomo-IAC, C.P. 28, CEP: 13001-970, Campinas, SP

<sup>2</sup>Estação Experimental de Pindamonhangaba-IAC, C.P. 28, CEP: 13001-970, Campinas, SP

<sup>3</sup>Bolsista do CNPq

**RESUMO:** Foram desenvolvidas duas equações de estimativa da produtividade do arroz irrigado por inundação, para as variedades: IAC-242, IAC-100, IAC-101 e IAC-102, em função da temperatura do ar e da radiação solar, no período crítico de formação da produção, para a região de Pindamonhangaba (SP). Os valores de temperatura do ar e de radiação solar ótimos encontrados para as variedades foram, respectivamente, 25,0°C e 475 cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>. O modelo agrometeorológico desenvolvido para previsão da produtividade da cultura que apresentou melhores resultados quando testado com dados independentes foi o que relacionou o menor desvio dos dois elementos climáticos em relação ao valor ótimo obtido através de uma equação de regressão linear múltipla. Os valores de produtividade estimados pelo modelo mostraram diferenças menores que 10% quando comparados com os valores obtidos no campo.

**Descritores:** arroz irrigado por inundação, modelo agrometeorológico, IAC-242, IAC-100, IAC-101, IAC-102

## LOWLAND RICE YIELD ESTIMATES BASED ON AIR TEMPERATURE AND SOLAR RADIATION

**ABSTRACT:** Two regression equations were developed to estimate lowland rice yield as a function of air temperature and incoming solar radiation, during the crop yield production period in Pindamonhangaba, SP, Brazil. The following rice cultivars were used: IAC-242, IAC-100, IAC-101 and IAC-102. The value of optimum air temperature obtained was 25.0°C and of optimum global solar radiation was 475 cal.cm<sup>-2</sup>.day<sup>-1</sup>. The best agrometeorological model was the one that related least deviation of air temperature and solar radiation in relation to the optimum value obtained through a multiple linear regression. The yield values estimated by the model showed good fit to actual yields of lowland rice (less than 10%).

**Key Words:** lowland rice, agrometeorological model, IAC-242, IAC-100, IAC-101, IAC-102

### INTRODUÇÃO

A cultura do arroz irrigado por inundação na região do Vale do Paraíba permite ao rizicultor obter elevadas produtividades, tornando as áreas de várzea sistematizadas altamente rentáveis.

Com o desenvolvimento de novas cultivares como a IAC-100, IAC-101 e IAC-102 de alto potencial de produção (superior a 6000 kg/ha), elevadas produtividades podem ser alcançadas, porém, nota-se que a variabilidade nessas é, normalmente, devida ao clima.

Consequentemente, o desenvolvimento de modelos agrometeorológicos para quantificar o efeito dos elementos climáticos na produtividade

pode tornar-se importante ferramenta aos vários segmentos da agricultura, por permitir estimativas dessa produtividade com relativa antecedência à data da colheita.

OLDEMAN *et al.* (1986) mostraram que o arroz cultivado em áreas inundadas, onde a disponibilidade de água não restringe o crescimento e o desenvolvimento da cultura, e onde os estresses biológicos e as condições adversas do solo são mínimos, a produtividade potencial está relacionada, principalmente, à temperatura do ar e radiação solar.

MURATA (1966) analisou a influência da radiação solar e da temperatura do ar sobre as diferenças de produtividade de arroz irrigado por inundação no Japão. O autor verificou que o perío-

do crítico para formação da produção ocorre nos meses de agosto e setembro, naquele país, correspondendo à fase de floração e enchimento de grãos.

Na mesma época, HANYU *et al.* (1966) utilizaram o número de horas de insolação, ao invés da radiação solar, para avaliar o efeito na produtividade do arroz irrigado por inundação. O período crítico adotado foi de 40 dias após o cacheamento, ao invés de períodos fixos do calendário. A relação entre produtividade, número de horas de insolação e temperatura, foi chamada de índice climático de produtividade para colheita, porque representaria o potencial climático das diferentes regiões para induzir a produção de grãos.

MURATA (1975) reviu uma série de estudos estatísticos e de simulação do efeito dos elementos climáticos na produtividade do arroz irrigado por inundação no Japão, mostrando que aqueles limitantes à produção do arroz eram radiação solar ou número de horas de insolação durante o período: emborrachamento - enchimento de grãos, nas regiões sul e centro, daquele país, enquanto, a temperatura do ar média nesse mesmo período foi mais importante na região norte. Modelos de estimativa de produtividade que utilizaram a radiação solar e a temperatura, ocorridas durante o período de enchimento dos grãos, foram os que mostraram melhor ajuste aos valores reais de produção.

MOTA & SILVA (1981) correlacionaram a produção de arroz irrigado por inundação em Pelotas, no Rio Grande do Sul, com elementos climáticos, notando o efeito do total do número de horas de insolação nos meses de fevereiro e março, correspondendo ao enchimento de grãos, e das médias das temperaturas mínimas de novembro a janeiro, correspondendo ao florescimento, na produtividade.

A radiação solar e a temperatura mínima média do ar para avaliar a produtividade econômica do arroz irrigado por inundação também foi utilizado por SESHU & CADY (1984).

Apesar dessas constatações, nem sempre a combinação radiação solar-temperatura do ar interpreta adequadamente as interações clima-produtividade. Além disso, VENKATARAMAN (1986), usando vários tipos de modelos agrometeorológicos para estimativa de produtividade de arroz, ressaltou que cuidados devem ser tomados quando esses modelos são utilizados em diferentes regiões, mesmo sendo cultura irrigada por inundação.

Levando-se em consideração as informações obtidas na literatura, foi feito este trabalho com o objetivo de avaliar o efeito da temperatura do ar e da radiação solar na produção e desenvolver modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade de arroz irrigado por inundação na região de Pindamonhangaba (SP), Vale do Paraíba.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental de Pindamonhangaba (latitude: 22°55'S; longitude: 45°30'W e altitude: 560m) do Instituto Agrônomo de Campinas, durante os anos agrícolas de 1991/92 e 1992/93.

As cultivares de arroz: IAC-242; IAC-100; IAC-101 e IAC-102, foram semeadas em várzeas inundadas nas seguintes épocas de plantio: 15/08, 15/09, 15/10, 15/11, 15/12 e 15/01. Os canteiros, com três repetições, constituíram-se de 7 linhas de 5 m com espaçamento de 0,3 m sendo as linhas centrais as úteis para avaliação da época da floração e da produtividade de arroz com casca (Kg/ha)

Os dados meteorológicos: temperatura média do ar, baseada em máxima e mínima, e horas de insolação foram obtidos no posto agrometeorológico da Estação Experimental situado a 300 m do experimento. As horas de insolação foram utilizadas para estimar a radiação solar global através da equação desenvolvida por CERVELLINI *et al.* (1966) para Pindamonhangaba.

Os valores médios de temperatura do ar e radiação solar no período de quarenta dias, período de formação da produção, que compreende os 10 dias anteriores e 30 posteriores a floração (MURATA, 1966), foram analisados com a produtividade relativa (percentagem em relação à produtividade máxima de cada cultivar no ano) para determinação dos níveis ótimos, através de regressão quadrática.

Para estimativa da produtividade, foi utilizado o modelo proposto por MURATA (1966):

$$\frac{P}{RS_{40}} = a + b * (Tmed_{40} - Tótima)^2$$

e um modelo desenvolvido com os mesmos parâmetros mas através de regressão múltipla:

$$P = a + b * (Tmed_{40} - T\acute{o}tima)^2 + c * (RS_{40} - RS\acute{o}tima)^2$$

onde: P - produtividade (kg em casca/ha); Tmed<sub>40</sub> - temperatura do ar média (°C) no período de 40 dias; RS<sub>40</sub> - radiação solar (cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>) média no período de 40 dias; Tótima - temperatura ótima para produtividade (°C); RSótima - Radiação solar ótima para produtividade (cal.cm<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>).

A validação dos modelos foi feita com dados independentes, das 4 cultivares em diferentes épocas de plantio nos anos de 1991/92 e 1992/93, que não foram utilizados na determinação dos coeficientes de ajuste das equações, a saber: IAC-242: 15/09/91 e 15/01/93; IAC-100: 15/11/91 e 15/01/93; IAC-101: 15/07/91 e 15/10/92; IAC-102: 15/12/91 e 15/09/92). A avaliação dos modelos foi feita através da análise de regressão; do índice de concordância de Willmott "d" (WILLMOTT *et al.*, 1985); e do erro absoluto médio.

**RESULTADOS, DISCUSSÃO E CONCLUSÕES**

Na Figura 1 é apresentada a relação entre os valores de temperatura média do ar durante o período crítico e a produtividade relativa (%). A análise dos dados das cultivares em conjunto, através da regressão quadrática permitiu obter o seguinte valor de temperatura ótima: 25,0°C.

Este valor difere do encontrado por MURATA (1966), 21,5°C, provavelmente, devido às diferentes características genéticas das cultivares japonesas originárias de regiões de clima temperado. Porém, se aproximam dos apresentados por VENKATARAMAN (1986) que ao avaliar o efeito da temperatura nas diferentes fases de desenvolvimento do arroz (cultivar indica, originária de regiões de clima tropical) cita como sendo temperaturas ótimas para: a iniciação floral: 25-30°C durante o dia e 20-25°C durante a noite; antese: 30°C e maturação: 23°C.

A dispersão, dos pontos com relação à curva da regressão quadrática (Figura 1), cujo valor do coeficiente de correlação é de 0,76, também foi encontrada por MURATA (1966) e por SANSUL HUDA *et al.* (1975).

Durante o período crítico da formação da produção, existe um efeito depreciativo da temperatura do ar na produtividade quando ocorre

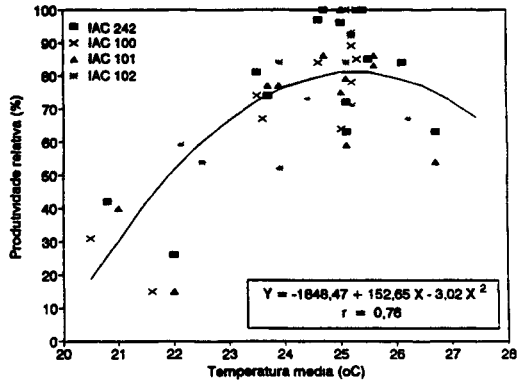


Figura 1. Temperatura média ótima durante os 40 dias em torno da floração para diferentes cultivares de arroz irrigado por inundação, em função da produtividade relativa observada durante os anos agrícolas de 1991/92 e 1992/93 em Pindamonhangaba, SP.

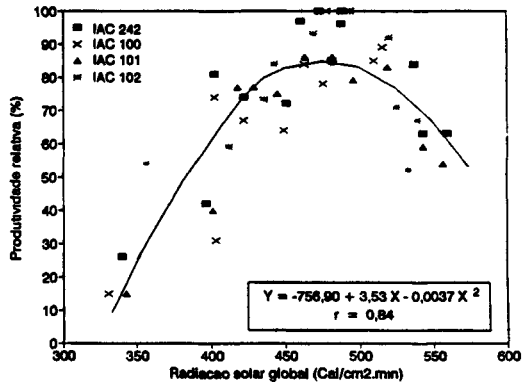


Figura 2. Radiação solar média ótima durante os 40 dias em torno da floração para diferentes cultivares de arroz irrigado por inundação, em função da produtividade relativa observada durante os anos agrícolas de 1991/92 e 1992/93 em Pindamonhangaba, SP.

um aumento ou diminuição em relação ao valor da temperatura ótima. Comportamento semelhante ocorre com relação a radiação solar (Figura 2), devido à temperatura do ar nos trópicos e subtropicais estar estreitamente correlacionada com a radiação solar. Portanto nessas regiões, de acordo

com CHANG & OKA (1976), a produtividade do arroz irrigado é influenciada, também, por este elemento. Além disso, VERGARA (1976) mostrou que a produção de grãos está positivamente correlacionada com a radiação solar incidente durante os estádios mais tardios de desenvolvimento da cultura. A regressão quadrática obtida (Figura 2), permitiu avaliar a radiação solar ótima como sendo  $475 \text{ cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ .

Levando-se em consideração os efeitos da temperatura do ar e da radiação solar na produtividade do arroz irrigado, foram desenvolvidas equações de estimativa:

a) Modelo 1: regressão linear simples entre a razão produtividade/radiação solar e o desvio da temperatura do ar em relação ao valor ótimo, como sugerido por MURATA (1966);

b) Modelo 2: regressão linear múltipla entre a produtividade e os desvios da temperatura do ar e da radiação solar em relação aos valores ótimos:

As equações obtidas, foram:

Modelo 1:

$$P = [ 17,79 - 0,81 * (Tmed_{40} - Tótima)^2 ] * RS_{40}$$

Modelo 2:

$$P = 8.932,13 - 199,58 * (Tmed_{40} - Tótima)^2 - 0,27 * (RS_{40} - RSótima)^2$$

Os coeficientes de determinação das equações de regressão sendo respectivamente 0,46 e 0,81.

A validação dos modelos é apresentada nas figuras 3a e 3b. Pode-se verificar que o Modelo 1 (Figura 3a) proposto por MURATA (1966), não apresentou ajuste razoável com grande dispersão das estimativas em relação à reta da equação linear,  $R^2 = 0,56$ , e em relação à reta 1:1,  $d = 0,74$ . Conseqüentemente, o Modelo 1 apresentou estimativas com erros médios mais elevados, em torno de 1938 kg/ha, restringindo sua utilização para as cultivares estudadas. Por outro lado, o Modelo 2 (Figura 3b), desenvolvido através de regressão múltipla, apresentou melhor ajuste, com estimativas mais precisas ( $R^2 = 0,84$ ) e exatas ( $d = 0,91$ ) que o anterior, com erros médios das estimativas menores, por volta de 800 kg/ha, ou seja aproximadamente 10% da produtividade

média. Dessa forma, o Modelo 2 mostrou ser mais viável para utilização nas condições de Pindamonhagaba e para as cultivares estudadas, porém, para sua utilização em outros locais e para diferentes variedades necessitaria de novos testes e ajustes.

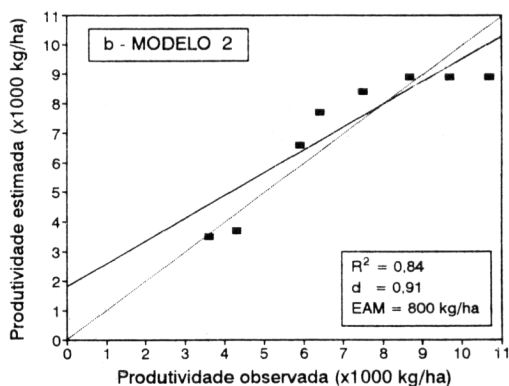
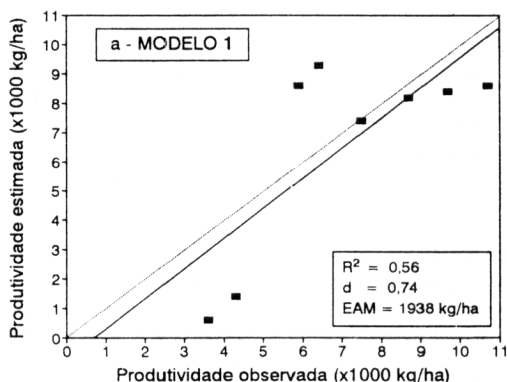


Figura 3. Comparação das produtividades observadas e estimadas pelo Modelo 1 (a) e Modelo 2 (b) para os cultivares de arroz irrigado por inundação em Pindamonhagaba, SP.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CERVellini, A.; SALATI, E.; GODOY, H. Estimativas da distribuição da energia solar no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas. v.25, p.31-40. 1966.

- CHANG, T.T.; OKA, H.I. Genetic variousness in the climatic adaptation of rice cultivars. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CLIMATE AND RICE, 1976, Los Baños. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1976. p.87-111.
- HANYU, J.; UCHIJIMA, T.; SUGAWARA, S. Studies on the agroclimatological method for expressing the paddy rice products. I. An agro-climatic index for expressing the quantity of ripening of the paddy rice. **Bulletin Tokohu National Agriculture of Experimental Station**, Tokyo, v.34, p.27-36, 1966.
- MOTA, F.S.; SILVA, J.B. Um modelo clima-tecnologia-fenologia para previsão do rendimento do arroz irrigado em Pelotas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1981, Pelotas. **Resumos...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, Universidade Federal de Pelotas, 1981. p.197-198.
- MURATA, Y. On the influence of solar radiation and air temperature upon the local differences in the productivity of paddy rice in Japan. **International Rice Commission Newsletter**, Tokyo, v.15, p.20-30, 1966.
- MURATA, Y. Estimation and simulation of rice yield from climatic factors. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.15, p.117-131, 1975.
- OLDEMAN, L.R.; SESHU, D.V.; CADY, F.B. Response of rice to weather variables. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE IMPACT OF WEATHER PARAMETERS ON GROWTH AND YIELD OF RICE. 1986, Los Baños. **Weather and rice, proceedings...** Los Baños: IRRI, 1986. p.5-39.
- SAMSUL HUDA, A.K.; GHILDYAL, B.P.; TOMAR, V.S.; JAIN, R.C. Contribution of climatic variables in predicting rice yield. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.15, p.71-86, 1975.
- SESHU, D.V.; CADY, F.B. Response of rice to solar radiation and temperature estimated from international yield trials. **Crop Science**, Madison, v.24, p.649-654, 1984.
- VENKATARAMAN, S. Agrometeorological aspects of growth, yield and water relations, with special reference to rice. In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON THE IMPACT OF WEATHER PARAMETERS ON GROWTH AND YIELD OF RICE. 1986, Los Baños. **Weather and Rice, proceedings...** Los Baños: IRRI, 1986. p.47-54.
- VERGARA, B.S. Physiological and morphological adaptability of rice varieties to climate. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM OF CLIMATE AND RICE. 1976, Los Baños. **Proceedings...** Los Baños: IRRI, 1976. p.67-86.
- WILLMOTT, C.J.; ACKLESON, S.G.; DAVIS, R.E.; FEDDEMA, J.J.; KLINK, K.M.; LEGATES, D.R.; O'DENNEL, J.; ROWE, C.W. Statistics for the evaluation and comparison of models. **Journal of Geophysical Research**, Washington, v.90, p.8995-9005, 1985.

---

Entregue para publicação em 01.06.94

Aceito para publicação em 25.10.94