

ESTIMATIVA DA PRODUTIVIDADE POTENCIAL DE CULTIVARES DE SOJA NAS CONDIÇÕES CLIMÁTICAS DE RIBEIRÃO PRETO, SP (1)

MARCELO BENTO PAES DE CAMARGO (2, 5), MANOEL ALBINO COELHO DE MIRANDA (3, 5), MÁRIO JOSÉ PEDRO JÚNIOR (2, 5), JOSÉ CARLOS VILLA NOVA ALVES PEREIRA (4) e HIPÓLITO ASSUNÇÃO ANTONIO MASCARENHAS (3, 5)

RESUMO

A principal restrição para o emprego de modelos agrometeorológicos de previsão de safras é a falta de informação mais completa sobre a produtividade potencial dos cultivares de soja. Assim, adaptou-se um modelo agrometeorológico de estimativa da produtividade potencial baseado em modelo proposto pela FAO, onde se incorporou um fator referente à penalização para excedentes hídricos. Estimou-se experimentalmente a produtividade potencial em função da época de semeadura para os principais cultivares recomendados para o Estado de São Paulo, a partir de séries de cultivo efetuados na Estação Experimental de Ribeirão Preto (SP), do Instituto Agronômico, durante oito anos consecutivos. Os cultivares IAC-11, IAC-12, IAC-8 e IAC-10 apresentaram as maiores produtividades potenciais em semeaduras precoces (setembro-outubro). O 'IAC-11', a produtividade potencial mais elevada, até de 5.500kg/ha. Os cultivares Santa Rosa, IAC-13 e Paraná, as maiores nas semeaduras intermediárias (outubro-novembro).

Termos de indexação: produtividade potencial; cultivares de soja; modelo agrometeorológico; balanço hídrico.

(1) Recebido para publicação em 5 de fevereiro e aprovado em 6 de setembro de 1988.

(2) Seção de Climatologia Agrícola, Instituto Agronômico (IAC), Caixa Postal 28, 13001 Campinas (SP).

(3) Seção de Leguminosas, IAC.

(4) Estação Experimental de Ribeirão Preto, IAC.

(5) Com bolsa de pesquisa do CNPq.

1. INTRODUÇÃO

É grande o número de trabalhos sobre o efeito da variabilidade climática na produção vegetal. Dentre eles, destacam-se os modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade, como os de JENSEN (1968), YAO (1974), BERLATO & GONÇALVES (1978), DOORENBOS & KASSAM (1979), SEGOVIA & ANDRADE (1982), BRUNINI et al. (1982), PEDRO JR. et al. (1984) e CAMARGO et al. (1986). Esses modelos baseiam-se na penalização da produtividade potencial segundo as condições meteorológicas reinantes durante o ciclo da cultura. Consideram que cada elemento climático exerce um certo controle na produtividade da cultura, funcionando como um fator de eficiência, e a produção final seria função da produtividade potencial da região e da sua interação com os elementos meteorológicos.

Segundo YAMADA (1982), a produção máxima teórica estimada para a cultura da soja é de 11.000kg/ha. Entretanto, para sua obtenção, utilizou-se tecnologia avançada de produção e manejo, sem se levar em consideração os fatores econômicos. Por produtividade potencial, entende-se como a maior produtividade esperada para determinado cultivar na região, em condição de cultivo comercial, desde que não ocorra nenhuma restrição climática (CAMARGO, 1984). Depende, portanto, da região, do cultivar, da época de plantio e do nível tecnológico utilizado. Se fixarmos essas variáveis, de modo que se considere sempre o mesmo nível tecnológico (adubação, controle fitossanitário), mesmo cultivar, época de plantio e região, é possível estimar experimentalmente a produtividade potencial a partir de série de cultivos, em função apenas do clima.

Este trabalho visou, especialmente: (a) desenvolver modelo agrometeorológico de estimativa de produtividade potencial; (b) definir a produtividade potencial de diferentes cultivares de soja recomendados para o Estado de São Paulo em função da época de semeadura.

Conhecida essa produtividade, ela poderá ser utilizada nos diferentes modelos agrometeorológicos de estimativa de safra, solucionando, assim, uma das dificuldades inerentes àqueles modelos.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Empregaram-se dados fenológicos da cultura da soja obtidos de experimentos conduzidos pela Seção de Leguminosas na Estação Experimental de Ribeirão Preto, SP (lat. 21° 12'S., long. 47° 57'W. e altitude 621m).

Os cultivares de soja utilizados, segundo a duração do ciclo (MIRANDA et al., 1985) e respectivos anos agrícolas, foram os seguintes:

Paraná (precoce): 1977/78 a 1982/83; IAC-13 (precoce): 1983/84 a 1984/85; IAC-10 (semiprecoce): 1980/81 a 1984/85; IAC-12 (semiprecoce): 1983/84 a 1984/85; Santa Rosa (médio): 1977/78 a 1982/83; IAC-8 (médio): 1980/81 a 1984/85 e IAC-11 (médio): 1983/84 a 1984/85.

O delineamento experimental adotado foi o de blocos casualizados, com parcelas subdivididas, sendo as parcelas as épocas de semeadura e as sub-parcelas, os cultivares. Cada parcela experimental continha seis linhas de 5m de comprimento, espaçadas de 0,60m, com uma densidade de vinte plantas por metro linear, e quatro repetições. Para efeito de amostragem, consideraram-se apenas as duas linhas centrais de cada parcela.

Os tratos culturais foram idênticos em todos os anos agrícolas, efetuando-se tantos controles fitossanitários quantos necessários. O ensaio foi conduzido em latossolo roxo eutrófico. As adubações de pré-plantio foram feitas à base de 350kg/ha da fórmula 0-18-6 e as sementes, inoculadas antes do plantio.

Durante o ciclo de cada cultura, assinalaram-se os seguintes dados fenológicos: data da semeadura; data de início de florescimento (quando 50% das plantas tinham pelo menos uma flor); data de início da maturação (quando 50% das plantas tinham coloração palha escura) e produção de grãos. As épocas de semeadura variaram de setembro a janeiro.

Os dados meteorológicos relativos aos períodos considerados foram obtidos nos postos da Seção de Climatologia Agrícola do IAC, situados próximo ao local do experimento.

O método usado para estimativa da produtividade potencial baseou-se no modelo proposto por DOORENBOS & KASSAM (1979) para estimativa de produtividade de cultura: ele quantifica o efeito da falta de água disponível no solo sobre o decréscimo da produtividade potencial, de modo que:

$$\left(1 - \frac{PE}{PP}\right) = K_p \left(1 - \frac{ER}{EP}\right) \quad (1)$$

onde:

PE = produtividade estimada (kg/ha);

PP = produtividade potencial (kg/ha);

K_p = coeficiente de produtividade de estresse hídrico, segundo DOORENBOS & KASSAM (1979);

ER = evapotranspiração real (mm);

EP = evapotranspiração potencial (mm).

A ER é relacionada com suprimento de água e a EP representa a necessidade da planta. Dessa maneira, a razão ER/EP é uma medida do suprimento hídrico para a planta em relação à necessidade (YAO, 1969). A relação ER/EP inferior a 1 indica que a cultura foi submetida a um estresse hídrico. O modelo considera o produtório dessas relações em nível decendial, reduzindo a produção de grãos à medida que as necessidades hídricas da cultura deixam de ser satisfeitas.

Esse modelo foi testado por PEDRO JR. et al. (1984) para estimar a produtividade da cultura da soja de ciclo precoce nas condições paulistas, encontrando resultados bastante satisfatórios, principalmente nos anos sem ocorrência de excedentes hídricos elevados. Entretanto, a definição da produtividade potencial para as diferentes regiões do Estado foi uma dificuldade inerente ao método.

CAMARGO et al. (1986) desenvolveram, também, um modelo agrometeorológico de estimativas de produtividade para a soja, com base na penalização da produtividade potencial pelas condições térmicas e hídricas reinantes durante o ciclo da cultura. Além do fator referente à penalização para *deficits* hídricos, foi incorporado um fator relativo à penalização para excedentes hídricos, proposto por BRUNINI et al. (1982), denominado fator excedente (*fe*). Sua inclusão é importante, visto que, dos períodos com excessivos suprimentos hídricos, como a fase fenológica do início do florescimento à maturação, resultam considerável redução na produtividade (FUKUI & OJIMA, 1957).

O fator excedente é a relação entre o excedente e a evapotranspiração potencial no nível decendial da forma:

$$fe = \left[1 - \frac{(EX - EP)}{EX} \right] \quad (2)$$

onde:

EX = excedente hídrico (mm);

EP = evapotranspiração potencial (mm).

A única restrição é que o excedente tem que ser superior ou igual à evapotranspiração potencial. Quando EP for maior que EX, o fator excedente deverá ser igualado a 1, independente do resultado (BRUNINI et al., 1982).

Mediante séries de cultivo, as quais possibilitaram a obtenção de dados fenológicos e de produtividade real, e dados de balanço hídrico decendial, foi possível estimar a produtividade potencial, a partir da expressão:

$$PP = PO \cdot 1 / \left[1 - K_p (1 - ER/EP) \right] \cdot 1 / \left[1 - K_e (1 - fe) \right] \quad (3)$$

onde:

PO = produtividade observada (kg/ha);

K_e = coeficiente de produtividade de excedente hídrico.

Admite-se, assim, que se não houvesse restrição hídrica, tanto deficiência como excesso, a produtividade observada seria igual à potencial.

A determinação de EP (corrigida pelo valor do coeficiente de cultura (K_c) respectivo para cada estágio fenológico da cultura), ER e EX foi feita através de balanço hídrico, segundo o método de THORNTON & MATHER (1955), no nível decendial, com capacidade de retenção de água no solo de 125mm.

Segundo CAMARGO et al. (1986), esse método apresenta resultados bastante satisfatórios na quantificação da penalização de *deficits* hídricos em modelos agrometeorológicos de estimativa de produtividade.

Com o intuito de estabelecer uma função matemática que se ajustasse aos dados de produtividade potencial em função das diferentes épocas de plantio, desenvolveram-se, através de método descrito por PEREIRA & ARRUDA (1987), regressões lineares múltiplas por transformação, específicas para ajustes de funções não-lineares. A função é a seguinte:

$$Y = \alpha \cdot X^{\beta} \text{ EXP } (-\gamma \cdot X) \quad (4)$$

onde:

X = época de semeadura em dias a partir de 1º de agosto;

α , β e γ = parâmetros da função curvilínea assimétrica.

Essa equação representa uma função com três parâmetros e se ajusta a variações curvilíneas assimétricas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No quadro 1 encontram-se os valores dos coeficientes de produtividade (K_p e K_e) utilizados para os diferentes estádios de desenvolvimento dos cultivares de soja de ciclo precoce (Paraná e IAC-13), semiprecoce (IAC-10 e IAC-12) e médio (IAC-8, IAC-11 e Santa Rosa).

QUADRO 1. Valores dos coeficientes de produtividade (K_p e K_e) e duração média em dias de diferentes estádios de desenvolvimento para cultivares de soja de ciclo precoce, semiprecoce e médio

Fase fenológica	Duração do estádio (dias)			Coeficiente de produtividade	
	Precoce	Semiprecoce	Médio	K_p	K_e
Desenvolvimento vegetativo	50	50	60	0,2	0,0
Florescimento	30	30	30	0,8	0,1
Enchimento de grãos	20	30	30	1,0	0,1
Maturação e colheita	20	20	20	0,2	0,1
TOTAL	120	130	140	–	–

Através da expressão (3), foi possível calcular a produtividade potencial para as diferentes épocas de plantio: figuras 1 a 5. Para os cultivares Paraná e IAC-13 (Figura 1), de ciclo precoce (110-120 dias), a maior produtividade potencial (cerca de 3.500kg/ha) ocorre para plantios efetuados de outubro a início de novembro, tendo apresentado o 'IAC-13' valores mais elevados. Segundo MIRANDA et al. (1985), esse cultivar admite plantios antecipados, em outubro, quando melhores resultados são obtidos, substituindo com vantagens os demais cultivos precoces recomendados, suplantando até o 'Paraná' em produtividade.

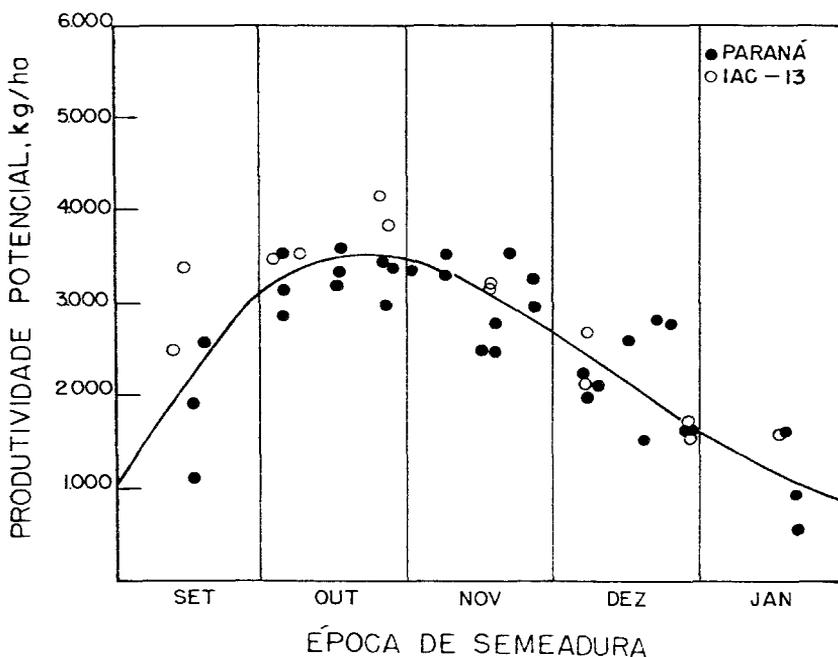


FIGURA 1. Produtividade potencial estimada em função da época de semeadura para os cultivares de soja de ciclo precoce Paraná e IAC-13, para Ribeirão Preto, SP.

A figura 2 apresenta a produtividade potencial para os cultivares de soja de ciclo semiprecoce (120-130 dias), IAC-10 e IAC-12, em função das épocas de plantio. Observa-se que eles apresentam a maior produtividade potencial para plantios no início de outubro, diminuindo para plantios a partir de novembro. Segundo MIRANDA et al. (1985), esses cultivares apresentam período juvenil bem definido, menos influenciado pelo fotoperiodismo, possibilitando o plantio antecipado. Pode-se observar, também, que, mesmo nos plantios de setembro, a produtividade potencial é bastante alta, por volta de 4.000kg/ha, demonstrando

ser material bastante promissor em plantios antecipados, desde que não ocorram restrições de ordem climática.

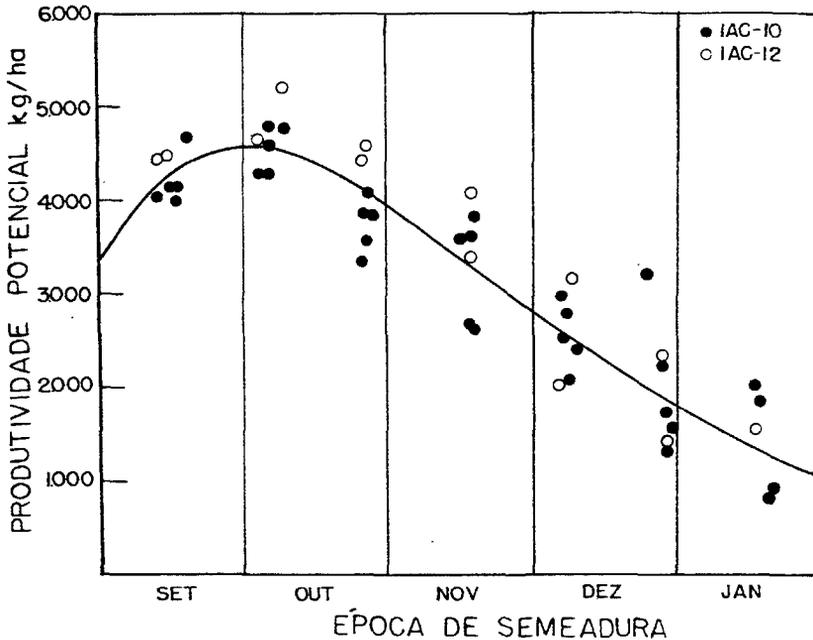


FIGURA 2. Produtividade potencial estimada em função da época de semeadura para os cultivares de soja de ciclo semiprecoce IAC-10 e IAC-12, para Ribeirão Preto, SP.

Os cultivares IAC-8 e IAC-11 (Figura 3) e Santa Rosa (Figura 4) de ciclo médio (130–140 dias), apresentaram comportamento um pouco diferenciado em relação aos plantios antecipados, de setembro e outubro. Pela figura 5 – produtividade potencial estimada individualmente para os sete cultivares – nota-se que o 'IAC-11' apresenta produtividade potencial maior, de até 5.500kg/ha, em plantios de setembro–outubro, e o 'IAC-8', na mesma época, 4.500kg/ha. Já o 'Santa Rosa' mostra a maior produtividade potencial (4.000kg/ha) em plantios efetuados em outubro e início de novembro, enquanto nos plantios de setembro e início de outubro ela é reduzida. Segundo MIRANDA et al. (1985), com a seleção de cultivares que apresentam período juvenil, portanto, com menor dependência em relação à época de semeadura, viabiliza-se a semeadura naqueles meses. Como conseqüência, alonga-se o ciclo dos cultivares; isso permite maior acumulação térmica, redundando na elevação da produtividade potencial. O exemplo mais evidente é quando se comparam os cultivares IAC-8 e IAC-11 com o Santa Rosa, cujo período juvenil não é longo.

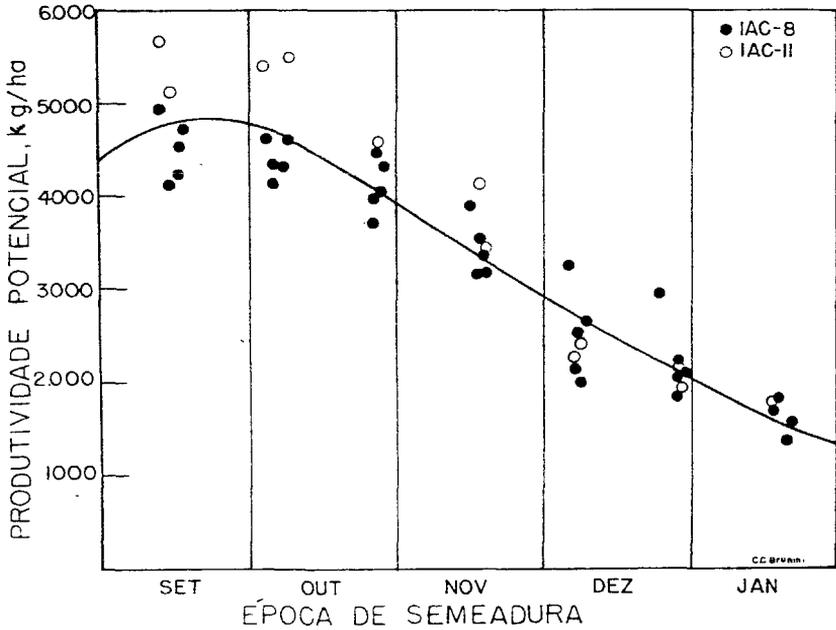


FIGURA 3. Produtividade potencial estimada em função da época de semeadura para os cultivares de soja de ciclo médio IAC-8 e IAC-11, para Ribeirão Preto, SP.

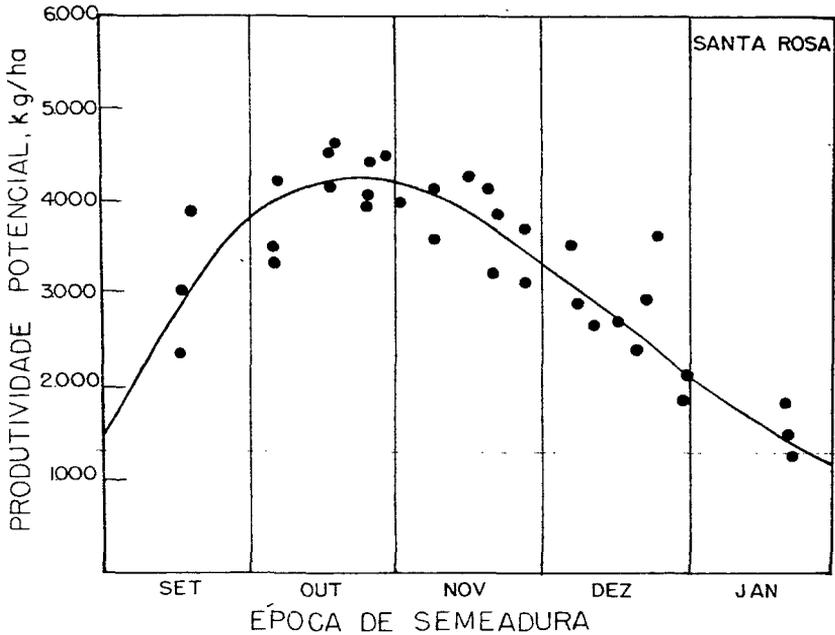


FIGURA 4. Produtividade potencial estimada em função da época de semeadura, para o cultivar de soja Santa Rosa (ciclo médio), para Ribeirão Preto, SP.

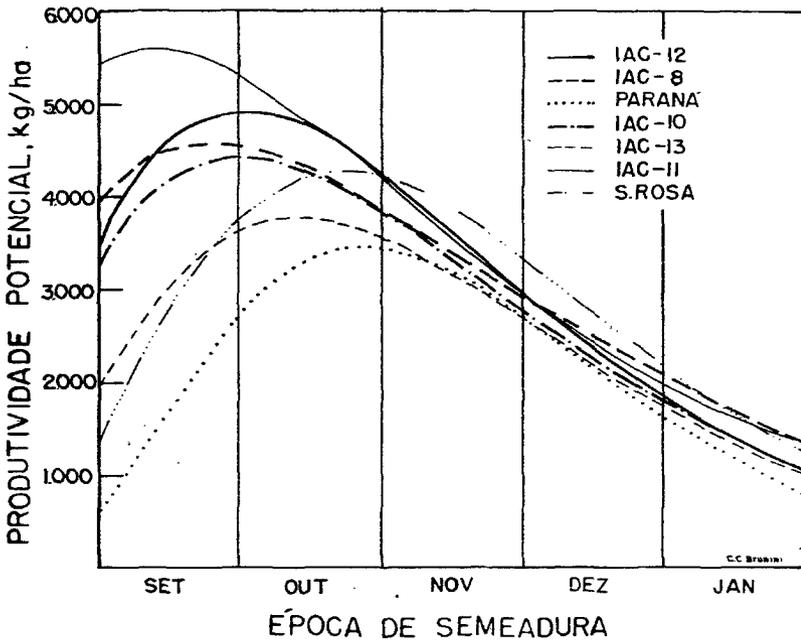


FIGURA 5. Produtividade potencial estimada em função da época de semeadura, para os sete cultivares de soja. Ribeirão Preto, SP.

Nos plantios tardios, a partir de dezembro, ocorreram redução sensível na produtividade potencial para todos os cultivares. Isso se deve, principalmente, à menor acumulação térmica durante o ciclo da cultura, para tais plantios (CAMARGO, 1984).

No quadro 2 são apresentados os parâmetros α , β , γ e coeficientes de determinação obtidos individualmente para os sete cultivares, bem como quando considerados por grupos de maturação. Através desses parâmetros, é possível estimar a produtividade potencial em função da época de plantio.

Para fins práticos, indicam-se, no quadro 3, a produtividade potencial estimada para cada grupo de maturação, em função do mês de plantio, e o valor da produtividade potencial relativa ao 15º dia de cada mês de plantio. Esses dados poderão ser utilizados em modelos agrometeorológicos de previsão de safras que penalizam a produtividade potencial, segundo as condições meteorológicas reinantes durante o ciclo da cultura.

QUADRO 2. Parâmetros α , β e γ da função curvilínea assimétrica e coeficiente de determinação relativos a diferentes cultivares e grupos de maturação de soja

Cultivar	Parâmetros			R ²
	α	β	γ	
Paraná	0,002	4,2052	0,0485	0,86*
IAC-13	2,260	2,2577	0,0311	0,94*
Precoce	0,052	3,2704	0,0402	0,83*
IAC-10	35,276	1,5608	0,0260	0,90*
IAC-12	24,250	1,7136	0,0283	0,93*
Semiprecoce	32,660	1,5959	0,0266	0,91*
IAC-8	195,441	1,0552	0,0196	0,95*
IAC-11	630,114	0,7987	0,0190	0,97*
Médio₁	315,608	0,9403	0,0190	0,95*
Santa Rosa (Médio ₂)	0,178	2,9604	0,0361	0,91*

* Significativo ao nível de 5%, segundo ROHLF & SOKAL (1969).

QUADRO 3. Produtividade potencial (kg/ha) estimada, referente aos grupos de maturação de ciclo precoce (Paraná e IAC-13), semiprecoce (IAC-10 e IAC-12), médio₁ (IAC-8 e IAC-11) e médio₂ (Santa Rosa), em função da época de semeadura relativa ao 15º dia de cada mês, para Ribeirão Preto, SP

Grupo de maturação	Época de semeadura				
	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro	Janeiro
Precoce	2.174	3.460	3.114	2.120	1.224
Semiprecoce	4.290	4.365	3.362	2.260	1.402
Médio ₁	4.812	4.400	3.414	2.445	1.670
Médio ₂	2.740	4.210	3.860	2.750	1.686

4. CONCLUSÕES

1) A inclusão do fator de penalização para excedentes hídricos no modelo agrometeorológico da FAO possibilitou estimar satisfatoriamente a produtividade potencial dos diferentes cultivares de soja;

2) Os cultivares com período juvenil bem definido – IAC-11, IAC-12 e IAC-8 – apresentaram potencialmente as melhores épocas de semeadura em setembro–outubro. Entretanto, os plantios muito antecipados induzem, normalmente, problemas na maturação e colheita, por coincidir com períodos muito úmidos.

SUMMARY

YIELD POTENTIAL OF SOYBEAN CULTIVARS UNDER THE CLIMATIC CONDITIONS OF RIBEIRÃO PRETO, SÃO PAULO STATE, BRAZIL

The lack of complete information on the yield potential for different soybean cultivars is the major limiting factor for the utilization of agrometeorological models to predict crop yield. A model proposed by FAO was modified including a factor referring to excess of rainfall. Estimates of potential yield was made, as a function of planting date of experiments conducted at Ribeirão Preto Experimental Station during eight consecutive years using the main soybean cultivars grown in the State of São Paulo. The cultivars IAC-8, IAC-10, IAC-11 and IAC-12 showed greater yield potential when sowed in September–October. The IAC-11 showed the yield potential of up to 5,500kg/ha. On the other hand the cultivars Santa Rosa, IAC-13 and Paraná showed higher yield potential when sowed in October–November.

Index terms: potential yield; soybean cultivars; agrometeorological model; water balance.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Pesquisador Científico Dr. Antônio Roberto Pereira, do IAC, as orientações e sugestões no estabelecimento dos ajustes das funções matemáticas apresentadas no trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BERLATO, M.A. & GONÇALVES, H.M. Relação entre o índice hídrico para ETP e rendimento da soja (*Glycine max* L. Merrill). *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, 14(2):227-233, 1978.
- BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A. & SCHMIDT, N.C. Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola. In: *DETERMINAÇÃO do efeito da precipitação pluviométrica na produção agrícola*. Brasília, CFP, 1982. p.21-46. (Coleção Análise e Pesquisa, 24)
- CAMARGO, M.B.P. *Exigências bioclimáticas e estimativa da produtividade para quatro cultivares de soja no Estado de São Paulo*. Piracicaba, ESALQ, 1984. 96p. Tese (Mestrado)

- CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O. & MIRANDA, M.A.C. Modelo agrometeorológico para estimativa da produtividade para a cultura da soja no Estado de São Paulo. *Bragantia*, Campinas, **45**(2):279-292, 1986.
- DOORENBOS, J. & KASSAM, A.H. *Yield response to water*. Roma, FAO, 1979. 197p. (FAO – Irrigation and Drainage Paper, 33)
- FUKUI, J. & OJIMA, M. Influence of soil moisture content on the growth and yield of soybean. *Proceeding Crop of the Science Society of Japan*, **26**:40-42, 1957.
- JENSEN, M.E. Water consumption by agricultural plants. In: KOZLOWSKI, T.T., ed. *Water deficits and plant growth*. New York, Academic Press, 1968. v.2, p.1-22.
- MIRANDA, M.A.C.; BULISANI, E.A.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.V.N.A.; GALLO, P.B.; FREITAS, J.G. & FERREIRA FILHO, A.W.P. Novos cultivares de soja – IAC. *O Agrônomo*, Campinas, **37**(2):89-105, 1985.
- & MASCARENHAS, H.A.A. Soja. In: CAMPINAS. Instituto Agrônomo. *Instruções Agrícolas para o Estado de São Paulo*. p.187-188. (Boletim, 200)
- PEDRO JÚNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P.; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A. & MIRANDA, M.A.C. Teste de um modelo para estimativa de produtividade da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3., Campinas, 1984. *Resumos*. p.138-139.
- PEREIRA, A.R. & ARRUDA, H.V. *Ajuste prático de curvas na pesquisa biológica*. Campinas, Fundação Cargill, 1987. 50p.
- ROHLF, F.J. & SOKAL, R.R. *Statistical tables*. San Francisco, W.H. Freeman and Company, 1969. 253p.
- SEGOVIA, R.M. & ANDRADE, E.G. Um modelo de determinação do efeito de precipitação pluviométrica na produtividade agrícola. In: *DETERMINAÇÃO do efeito da precipitação pluviométrica na produção agrícola*. Brasília, CFP, 1982. p.11-18. (Coleção Análise e Pesquisa, 24)
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R. *The water balance*. Centerton, New Jersey, Drexel Institute of Tecnology, 1955. 104p. (Publication in Climatology, v.8, n.1)
- YAMADA, T. "Blueprint" para maximizar a produção de soja. *Informações Agrônomicas*, Piracicaba, **19**:1-4, 1982.
- YAO, A.Y.M. Agricultural potential estimated from the ratio of actual to potential evapotranspiration. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, **13**(3):405-417, 1974.
- . The R index for plant water requirements. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, **6**(4):259-273, 1969.