

RELAÇÃO ENTRE O RENDIMENTO DE GRÃOS DA SOJA E VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS¹

MOACIR A. BERLATO², DENISE C. FONTANA³ e HÉLIO M. GONÇALVES⁴

RESUMO - O objetivo deste trabalho foi quantificar as relações entre variáveis meteorológicas originais e derivadas e o rendimento de grãos da soja. Os dados para essa análise são oriundos de experimentos conduzidos em cinco localidades do estado do Rio Grande do Sul, período 1971/72 a 1983/84. Os resultados mostram que, dentro da faixa recomendada para semeadura, a temperatura não é fator limitante do rendimento de grãos da soja nas principais regiões produtoras do Estado. A variável original precipitação esteve fortemente correlacionada com o rendimento de grãos apenas no período reprodutivo da planta. O índice P/ET_0 esteve significativamente correlacionado com o rendimento de grãos tanto no período reprodutivo, como no período vegetativo. O índice ET/ET_0 foi o que apresentou a mais alta associação com o rendimento, o que mostra que essa é a variável independente mais indicada para inclusão em modelos de relação clima-rendimento de grãos da soja. As correlações confirmam, ainda, que o período fenológico da soja mais crítico em relação à água é o período reprodutivo, que, no Estado, corresponde, em média, para os três grupos de maturação, ao período que vai de meados de janeiro a meados de março.

Termos para indexação: *Glycine max*, previsão de safras, período de semeadura, precipitação, período reprodutivo, balanço hídrico.

RELATIONSHIP BETWEEN GRAIN YIELD OF SOYBEANS AND METEOROLOGICAL VARIABLES

ABSTRACT - The objective of this study was to estimate correlations between original and derivated meteorological variables and grain yield of soybeans during different plant growth periods. Data used for this analysis were originated from experiments conducted in five locations of Rio Grande do Sul State, Brazil, from 1971/72 to 1983/84. The results show that, for the recommendable sowing period, temperature is not a limitative factor for soybean grain yield in the most important cropping areas of the State. The original variable rainfall was highly correlated with grain yield only during the reproductive period. Derivated variables (P/ET_0 and ET/ET_0) were better related with grain yield as compared to rainfall either for vegetative or reproductive periods. The ET/ET_0 index exhibited the best correlations with grain yield. As a consequence, it is the most indicated variables to be used in models involving climate-soybean grain yield relationships. The results also show that reproductive period is the most critical to water deficit. This period usually occurs from mid January to mid March for all three maturity groups in Rio Grande do Sul.

Index terms: *Glycine max*, predicting crop production, sowing periods, rainfall, reproductive period, water balance.

¹ Aceito para publicação em 19 de setembro de 1991

Extraído da tese do primeiro autor, para obtenção do grau de Doutor em Meteorologia, Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE/SECT), São José dos Campos, SP.

² Eng.-Agr., Dr., IPAGRO-RS, Prof.-Adj., Univ. Fed. do Rio Grande do Sul (UFRGS), R. Gonçalves Dias, 570, CEP 90060, Porto Alegre, RS. Bolsista do CNPq.

³ Eng.^a, Agr.^a, M.Sc., no Curso de Doutorado em Agronomia, UFRGS.

⁴ Eng.-Agr., M.Sc., IPAGRO. Aposentado.

INTRODUÇÃO

Um objetivo fundamental da agrometeorologia é a identificação e a quantificação das relações entre o desenvolvimento e rendimento das plantas cultivadas e os elementos meteorológicos. Identificados esses elementos e o período dentro do ciclo das plantas em que eles são mais limitantes, é possível a derivação de modelos realísticos de previsão de rendimento

ou previsão de safras. O estabelecimento de relações quantitativas planta-clima permite, também, a adoção de práticas de manejo no sentido de melhor adaptação dos cultivos às disponibilidades climáticas locais.

Para o caso da soja [*Glycine max* (L.) Merrill], as variáveis precipitação, temperatura e fotoperíodo são as que estão mais estreitamente correlacionadas com o desenvolvimento e rendimento da planta. Dentro das regiões de adaptação latitudinal (fotoperíodo) dos diversos grupos de maturação dessa cultura, as condições térmicas e hídricas são as mais importantes para o desenvolvimento e rendimento de grãos da soja (Runge & Odell 1960, Shaw & Laing 1966, Thompson 1970, Mota et al. 1974, Doss et al. 1974, Berlato & Gonçalves 1978, Pascale & Pórfido 1978).

Embora seja usual quantificar os efeitos de variáveis meteorológicas originais, muitos trabalhos têm mostrado que variáveis meteorológicas derivadas, normalmente expressas em termos de índices, são indicadores mais eficientes da variação do rendimento das plantas cultivadas do que precipitação e temperatura (Baier & Robertson 1968, Nix & Fitzpatrick 1969, Shaw 1974, Sakamoto 1978, Mota 1981, Sá & Almeida 1984). O uso de variáveis derivadas ou índices também tem a vantagem de minimizar o problema surgido nos modelos de relação planta-clima, devido à existência de correlação (problema de colinearidade) entre variáveis meteorológicas básicas, especialmente entre preci-

pição e temperatura (Katz 1977, Shaw 1977, Sakamoto 1978).

O objetivo deste trabalho foi quantificar, através da correlação simples, as relações entre variáveis meteorológicas originais e derivadas, períodos fenológicos e rendimento de grãos da soja.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de rendimento e fenologia da soja necessários para o cálculo das correlações foram obtidos do experimento denominado "Experimento de cultivares de soja recomendadas para o Rio Grande do Sul", conduzido, de modo integrado, pelo Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento-RS (três locais), pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS (1 local) - e pela Federação das Cooperativas de Trigo e Soja - FECOTRIGO (1 local) - durante o período compreendido pelos anos agrícolas 1971/72 a 1983/84. As localidades onde foram conduzidos os experimentos (Guaíba, Cruz Alta, Júlio de Castilhos, São Borja e Santo Augusto) situam-se em regiões onde a soma térmica acima de 150°C (temperatura base da soja) durante a estação de crescimento da cultura é maior que 1.200°C (Mota et al. 1974). Em relação às características hídricas, dos cinco locais utilizados, três (Júlio de Castilhos, Cruz Alta e Santo Augusto) estão localizados em regiões onde a frequência de ocorrência de deficiência hídrica no período reprodutivo da soja é relativamente baixa, e dois locais (Guaíba e São Borja) onde essa frequência é bem maior (Pascale & Pórfido 1978). Detalhes das características climáticas dessas cinco localidades são apresentados na Tabela 1. As cultivares utilizadas

TABELA 1 - Coordenadas geográficas e características climáticas das localidades, no estado do Rio Grande do Sul, onde foram obtidos os dados experimentais de rendimento de grãos e fenologia da soja.

Locais	Altitude (m)	Latitude	Longitude	Precipitação pluvial (mm)		Temperatura média (°C)				Período de observação
				Ano	Nov.-Abr.	Ano	Nov.-Abr.	Jan.	Jul.	
Guaíba	46	30°05'	51°39'	1364	612	19,2	22,6	24,7	14,2	1968-84
São Borja	99	28°39'	56°00'	1498	806	20,4	23,8	25,9	15,4	1957-84
Santo Augusto	380	27°54'	53°45'	1797	826	19,7	22,7	24,4	15,2	1970-84
Cruz Alta	473	28°38'	53°36'	1613	761	19,0	21,9	24,0	14,6	1974-84
Júlio de Castilhos	514	29°13'	53°40'	1523	721	18,3	21,5	23,2	13,8	1957-84

FONTE: Banco de Dados Meteorológicas da Seção de Ecologia Agrícola (SEA) do Instituto de Pesquisas Agronômicas (IPAGRO) da Secretaria da Agricultura e Abastecimento do estado do Rio Grande do Sul.

foram: Planalto, Paraná e IAS-5 (ciclo precoce), Bragg, Davis e IAS-4 (ciclo médio), Hardee, Santa Rosa e Bossier (ciclo tardio). A data de semeadura dos experimentos variou com os anos e locais de 21 de outubro a 11 de dezembro. Noventa e nove por cento de todas as semeaduras foram realizadas dentro da época considerada preferencial para a semeadura da soja no Rio Grande do Sul (15 de outubro a 10 de dezembro). Para essa análise, foram tomadas as médias de rendimento (kg ha⁻¹) por grupo de maturação. Dos experimentos conduzidos no período acima mencionado, foi tomado um conjunto de 30 dados (anos x locais) de rendimento de grãos e fenologia para o grupo de maturação precoce, 32 dados para o grupo de maturação médio e 40 dados para o grupo de maturação tardio.

A análise de correlação foi realizada com o rendimento relativo de grãos da soja (Y/Y_m), onde Y é o rendimento real obtido de cada grupo de maturação em cada ano e local, e Y_m é o rendimento máximo obtido em toda a série experimental (anos e locais).

Para efeito dessa análise, o ciclo da soja foi dividido nos seguintes períodos:

1. Da semeadura até dez dias após a emergência (data em que 50% das plantas da parcela haviam emergido do solo), denominado período de estabelecimento da cultura.
2. De dez dias após a emergência até o início do florescimento (data em que 50% das plantas da parcela apresentavam uma ou mais flores), denominado "período vegetativo da cultura".
3. Do início do florescimento até 50 dias após, denominado "período reprodutivo da cultura".
4. De 50 dias após o início do florescimento até a maturação (data em que as plantas não apresentavam mais legumes verdes), denominado "período de maturação de grãos da cultura".

Na escala de Fehr & Caviness (1977), emergência + dez dias corresponde, aproximadamente, ao estágio V₂; início de florescimento corresponde, aproximadamente, aos estádios R₁/R₂; início de florescimento + 50 dias, corresponde, aproximadamente, ao estágio R₆ e maturação corresponde, aproximadamente, ao estágio R₈.

As variáveis meteorológicas originais consideradas foram a precipitação (P) e a temperatura (T), medidas em estação meteorológica junto à área experimental, e as variáveis meteorológicas derivadas ou índices foram P/ET₀ e ET/ET₀, onde ET₀ é a evapotranspiração potencial e ET é a evapotranspiração real.

A evapotranspiração potencial (ET₀) foi calculada pelo método combinado (Penman 1956), modificado.

A modificação se refere à estimativa do saldo de radiação em que foi utilizada uma função derivada localmente para soja (Berlato et al. 1986), dada por: $R_n = -50,9 + 0,73 R_s$, $r^2 = 0,95$ (1) onde R_n e R_s são o saldo de radiação e a radiação solar global (calcm² dia⁻¹), respectivamente. Essa equação foi parametrizada para o caso de cobertura completa do solo (IAF 2,5), sendo válida só nessas condições. A ET₀ foi calculada para períodos de cinco dias (quinqüídios).

A evapotranspiração real foi estimada a partir de um balanço hídrico simples (Thorntwaite & Mather 1955), realizado também para períodos de cinco dias e para duas profundidades de solo (0-20 cm e 0-60 cm). A capacidade de armazenamento de água do solo (U) foi calculada pela expressão:

$$U = 0,01 (C.C. - P.M.P) \times \rho_s \times h \quad (2)$$

onde C.C. e P.M.P. representam a umidade gravimétrica (%) na capacidade de campo (-0,03 MPa) e no ponto de murcha permanente (-1,5 MPa), respectivamente; ρ_s é a densidade aparente do solo (g cm⁻³); h é a profundidade do solo considerada (mm). A capacidade de armazenamento de água do solo no perfil 0-20 cm foi utilizada para o balanço hídrico do período de estabelecimento da cultura (semeadura até dez dias após a emergência) e a capacidade de armazenamento de 0-60 cm para o restante do ciclo da soja.

O armazenamento de água no solo (U') foi calculado pela expressão:

$$U' = U \exp. (CN), \quad (3)$$

onde C é um coeficiente função de U, e N é o valor negativo acumulado de (P-ET₀) dado por:

$$N = \sum_{i=1}^n (P-ET_0) < 0, \quad (4)$$

onde P e ET₀ são a precipitação e a evapotranspiração calculada pelo método combinado (mm), respectivamente.

Nesse balanço hídrico, a evapotranspiração real (ET) é obtida pelas relações:

$$ET = ET_0 \text{ se } \text{ALT.} \geq 0 \quad (5)$$

$$ET = |\text{ALT.}| + P \text{ se } \text{ALT.} < 0 \quad (6)$$

onde |ALT. é a alteração, em módulo, do armazenamento de água no solo (diferença entre o valor do armazenamento do período considerado e do período anterior).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados (Tabelas 2, 3 e 4) mostram que, em geral, não houve correlação entre tem-

TABELA 2 - Correlação (r) entre rendimento de grãos da soja do grupo de maturação precoce e variáveis meteorológicas originais e derivadas em quatro períodos de desenvolvimento da planta.

Períodos de desenvolvimento da planta ¹	Variáveis meteorológicas ²				Correlação P x T ³
	P	T	P/ET ₀	ET/ET ₀	
Saté E + 10 d	0,334 NS	0,236 NS	0,273 NS	0,088 NS	0,035 NS
E + 10 d até F	0,228 NS	0,147 NS	0,445 *	0,541 **	-0,067 NS
F até F + 50 d	0,726 **	-0,398 *	0,705 **	0,944 **	-0,494 **
F + 50 d até M	-0,076 NS	-0,010 NS	0,074 NS	0,134 NS	-0,350 NS

¹ S - semeadura; E - emergência; F - florescimento; M - maturação; d - dias.

² P - precipitação; T - temperatura média; ET₀ - evapotranspiração potencial ou de referência da soja; ET - evapotranspiração real.

³ Correlação entre P e T.

NS - Não-significativo; * - significativo a 5%; ** - significativo a 1%. Número de pares de dados = 30.

TABELA 3 - Correlação (r) entre rendimento de grãos da soja do grupo de maturação médio e variáveis meteorológicas originais e derivadas em quatro períodos de desenvolvimento da planta.

Períodos de desenvolvimento da planta ¹	Variáveis meteorológicas ²				Correlação P x T ³
	P	T	P/ET ₀	ET/ET ₀	
Saté E + 10 d	0,359 *	0,099 NS	0,301 NS	0,135 NS	-0,012 NS
E + 10 d até F	0,399 *	-0,068 NS	0,526 **	0,522 **	-0,029 NS
F até F + 50 d	0,671 **	-0,380 *	0,725 **	0,928 **	-0,404 *
F + 50 d até M	0,052 NS	-0,090 NS	0,127 NS	0,291 NS	-0,436 *

¹ S - semeadura; E - emergência; F - florescimento; M - maturação; d - dias.

² P - precipitação; T - temperatura média; ET₀ - evapotranspiração potencial ou de referência da soja; ET - evapotranspiração real.

³ Correlação entre P e T.

NS - Não-significativo; * - significativo a 5%; ** - significativo a 1%. Número de pares de dados = 32.

TABELA 4 - Correlação (r) entre rendimento de grãos da soja do grupo de maturação tardio e variáveis meteorológicas originais e derivadas em quatro períodos de desenvolvimento da planta.

Períodos de desenvolvimento da planta ¹	Variáveis meteorológicas ²				Correlação P x T ³
	P	T	P/ET ₀	ET/ET ₀	
Saté E + 10 d	0,178 NS	0,134 NS	0,101 NS	-0,002 NS	-0,104 NS
E + 10 d até F	0,322 NS	-0,058 NS	0,456 *	0,595 **	-0,020 NS
F até F + 50 d	0,620 **	-0,172 NS	0,700 **	0,922 **	-0,176 NS
F + 50 d até M	0,129 NS	-0,082 NS	0,147 NS	0,385 **	-0,275 NS

¹ S - semeadura; E - emergência; F - florescimento; M - maturação; d - dias.

² P - precipitação; T - temperatura média; ET₀ - evapotranspiração potencial ou de referência da soja; ET - evapotranspiração real.

³ Correlação entre P e T.

NS - Não-significativo; * - significativo a 5%; ** - significativo a 1%.
Número de pares de dados = 40.

peratura e rendimento de grãos da soja. Ocorreram apenas dois casos de coeficientes de correlação significativos (nível de significância de 5%), no período reprodutivo, dos grupos de maturação precoce e médio. Em ambos casos, entretanto, a temperatura esteve negativamente correlacionada com a precipitação (Tabelas 2 e 3) o que mostra que essa correlação é espúria, e o efeito é devido à precipitação.

Conforme mencionado em Material e Métodos, as localidades cujos dados experimentais foram utilizados (Guaíba, Cruz Alta, Júlio de Castilhos, São Borja e Santo Augusto) situam-se em regiões do Estado onde a soma térmica acima de 15°C (temperatura-base da soja) durante a estação de crescimento da cultura é maior que 1.200°C, considerada sem restrição térmica, conforme zoneamento agroclimático (Mota et al. 1974). Isso explica a não-existência de correlação significativa entre rendimento de grãos da soja e temperatura. Considerando que as localidades utilizadas para os experimentos são representativas das principais regiões produtoras de soja no Estado (Missões, Planalto Médio, Médio e Baixo Vale do Uruguai e Depressão Central), pode-se concluir que para semeaduras realizadas dentro da época preferencial para a cultura, a temperatura não é fator limitante do rendimento da soja nessas regiões.

A precipitação esteve fortemente correlacionada com o rendimento de grãos da soja apenas no período reprodutivo. O índice P/ET_0 (precipitação dividida pela evapotranspiração potencial) apresentou uma maior associação como o rendimento de grãos da soja que a precipitação, tanto no período reprodutivo como no período vegetativo. O índice P/ET_0 foi utilizado por Berlato & Gonçalves (1978), tendo apresentado alta correlação com o rendimento de grãos de uma cultivar tardia de soja no Rio Grande do Sul, em períodos de desenvolvimento da planta equivalentes aos acima mencionados. Também Mota (1981), correlacionando vários índices agroclimáticos e o rendimento de grãos da soja no Rio Grande do Sul, mostrou que o índice P/ET_0 foi o terceiro melhor índice para explicar a variação do rendimento de grãos da referida cultura. P/ET_0 tem a vantagem de ser um índice

puramente climático, obtido facilmente através de dados meteorológicos apenas. As maiores correlações, entretanto, foram obtidas com o índice ET/ET_0 (consumo relativo de água), variável derivada do balanço hídrico do solo (Tabelas 2, 3 e 4).

Em relação aos períodos de desenvolvimento da planta, a correlação mais alta encontrada entre o índice ET/ET_0 e o rendimento de grãos da soja foi para o período reprodutivo. Nesse período, o consumo relativo de água explica cerca de 89% da variação do rendimento de grãos para o grupo de maturação precoce, 86% da variação do rendimento de grãos para o grupo de maturação médio, e 85% da variação do rendimento de grãos para o grupo de maturação tardio (Tabelas 2, 3 e 4). Nesse período ocorrem o florescimento, a formação de legumes e o enchimento de grãos. É o período considerado como de máxima sensibilidade da soja ao déficit hídrico (Matson 1964, Shaw & Laing 1966, Thompson 1970, Doss et al. 1974, Arruda et al. 1976, Berlato & Gonçalves 1978, Momen et al. 1979, Espinoza 1982, Korte et al. 1983). Para semeaduras em meados de novembro no Rio Grande do Sul, o período reprodutivo compreende, para os três grupos de maturação, a última quinzena de janeiro, fevereiro e março (Fig. 1). Janeiro e fevereiro são os dois meses do ano em que há maiores probabilidades de ocorrência de déficit hídrico nas regiões produtoras de soja do Rio Grande do Sul. Das cinco localidades utilizadas nesse trabalho, três (Santo Augusto, Cruz Alta e Júlio de Castilhos) estão situadas no limite entre a região onde a frequência de deficiência hídrica do solo maior que 50 mm nos meses de janeiro e fevereiro é menor que 20%, e a região onde essa frequência é de 20% a 33%. As outras duas localidades (Guaíba e São Borja) estão situadas numa região onde a frequência de deficiência hídrica maior que 50 mm em janeiro e fevereiro está entre 33% e 50%. Portanto, para semeaduras normais, grande parte do período crítico da soja em relação à água coincide com um período de menor disponibilidade hídrica, tornando esse fator limitante do rendimento. Isso se traduz nas altas correlações encontradas entre consu-

mo relativo de água e o rendimento de grãos da soja no Estado. O segundo período com coeficientes de correlação altamente significativos (nível de 1% de probabilidade), embora menores que no período reprodutivo, é o período vegetativo. O período de maturação apresentou coeficiente significativo (nível de 5% de probabilidade) apenas para o grupo de maturação tardio. A correlação entre consumo relativo de água e rendimento da soja no período de estabelecimento da cultura não foi significativa para nenhum grupo de maturação. Isso não quer dizer que a água não seja importante nesse período, mas sim que as sementeiras dos experimentos foram feitas em condições adequadas de umidade do solo. Em geral, na lavoura isso também acontece.

Os dados acima apresentados e discutidos confirmam os resultados de diversos autores (Baier & Robertson 1968, Nix & Fitzpatrick 1969, Shaw 1974, Sakamoto 1978, Mota 1981, Sá & Almeida 1984) de que as variáveis meteorológicas derivadas são melhores indicadores da variação do rendimento das plantas do que a precipitação ou a temperatura.

Para o caso da soja no Rio Grande do Sul, a variável ET/ET_0 (consumo relativo de água), que inclui, além da disponibilidade de água no

solo, a demanda evaporativa da atmosfera representada por ET_0 , é a que está mais associada à variação do rendimento. Essa é a variável independente mais indicada a ser incluída em modelos de relação clima-rendimento de grãos dessa cultura. Mostram, ainda, os resultados, que o período fenológico mais crítico em relação à disponibilidade hídrica é o período reprodutivo, secundado pelo período vegetativo. Esses são os dois períodos fenológicos mais importantes a serem considerados na derivação de modelos de previsão do rendimento dessa cultura no estado do Rio Grande do Sul.

CONCLUSÕES

1. Nas principais regiões produtoras do estado do Rio Grande do Sul e para sementeiras realizadas na época preferencial, a temperatura não é fator limitante do rendimento de grãos da soja.

2. A variável derivada consumo relativo de água (ET/ET_0) mostrou-se eficiente indicadora da variação do rendimento de grãos da soja de ano para ano e de local para local no Estado do Rio Grande do Sul, porque considera as interações no sistema solo-água-planta-atmosfera.

3. No período reprodutivo da soja o consumo relativo de água (ET/ET_0) explicou 89%, 86% e 85% da variação do rendimento de grãos dos grupos de maturação precoce, médio e tardio, respectivamente.

AGRADECIMENTOS

Ao Dr. Caio Vidor, pela ajuda na preparação do resumo em inglês, e ao Francisco Carlos Rosa e Antonio Ocimar Manzi, pela imprescindível colaboração no preparo e computação dos dados.

REFERÊNCIAS

- ARRUDA, F. B.; MASCARENHAS, H. A. A.; VIEIRA, S. C. Efeito hídrico na produção de soja. Campinas: Instituto Agronômico, 1976. 24p. (Boletim Técnico, 38).

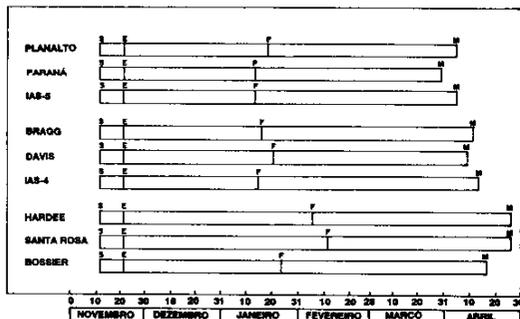


FIG. 1. Fenologia média de nove cultivares de soja no Rio Grande do Sul, representantes do grupo de maturação precoce (Planalto, Paraná, IAS-5), do grupo de maturação médio (Bragg, Davis, IAS-4) e do grupo de maturação tardio (Hardee, Santa Rosa, Bossier). S - Semeadura; E - emergência; F - início de florescimento; M - maturação.

- BAIER, W.; & ROBERTSON, G. W. The performance of soil moisture estimates as compared with the direct use of climatological data for estimating crop yields. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.5, p.17-31, 1968.
- BERLATO, M. A.; GONÇALVES, H. M. Relação entre o índice hídrico P/ETP e rendimento da soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v.14, p.227-233, 1978.
- BERLATO, M. A.; MATZENAUER, R.; BERGAMASCHI, H. Evapotranspiração máxima da soja e relações com a evapotranspiração calculada pela equação de Penman, evaporação do tanque "classe A" e radiação solar global. *Agronomia Sulriograndense*, Porto Alegre, v.22, n.2, p.243-259, 1986.
- DOSS, B. D.; PEARSON, R. W., ROGERS, H. T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. *agronomy Journal*, Madison, v.66, p.297-299, 1974.
- ESPINOZA, W. Resposta de doze cultivares de soja ao déficit hídrico num latossolo vermelho-escuro de cerrados do Distrito Federal. I-Rendimentos, área foliar e desenvolvimento radicular. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.17, p.447-458, 1982.
- FEHR, W. R.; CAVINESS, C. E. *Stages of soybean development*. Ames: Iowa State University of Science and Technology, 1977. 11p.
- KATZ, R. W. Assessing the impact of climatic change on food production. *Climatic Change*, Dordrecht, v.1, p.85-96, 1977.
- KORTE, L. L.; WILLIAMS, J. H.; SPECHT, J. E.; SORENSEN, R. C. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic Responses. *Crop Science*, Madison, v.23, p.521-527, 1983.
- MATSON, A. L. Some factors affecting the yield response of soybeans to irrigation. *Agronomy Journal*, Madison, v.56, p.552-555, 1964.
- MOMEN, N. N.; CARLSON, R. E.; SHAW, R. H.; ARJMAND, O. Moisture-stress effects on the yield components of two soybean cultivars. *Agronomy Journal*, Madison, v.71, p.86-90, 1979.
- MOTA, F. S. da Índice de seca para soja; contribuição para um modelo de previsão do rendimento da soja no Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.16, p.371-383, 1981.
- MOTA, F. S. da BEIRSDORF, M. I. C.; ACOSTA, M. J. C.; MOTTA, W. A.; WESTPHALEN, S. L. *Zoneamento agroclimático do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Pelotas: EMBRAPA/IPEAS, Secretaria da Agricultura-RS, 1974. 122p. (Circular, 50).
- NIX, H. A.; FITZPATRICK, E. A. An index of crop water stress related to wheat and grain sorghum yields. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.6, p.321-337, 1969.
- PASCALE, A. J.; PÓRFIDO, O. D. Zoneamento mesoagroclimático hídrico do Rio Grande do Sul para a cultura da soja. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DE SOJA, 1., 1978, Londrina, *Anais...* Londrina: EMBRAPA/CNPSo, 1978. p.116-129.
- PENMAN, H. L. Evaporation: an introductory survey. *Netherlands Journal of Agricultural Science*, Wageningen, v.4, p.9-29, 1956.
- RUNGE, E. C. A.; ODELL, R. T. The relation between precipitation, temperature, and the yield of soybeans in the agronomy south farm, Urbana, Illinois. *Agronomy Journal*, Madison, v.52, p.245-247, 1960.
- SÁ, L. D. de; ALMEIDA, F. C. de Variáveis derivadas na estimativa da produtividade agrícola. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 3., 1984, Belo Horizonte. *Anais...* Belo Horizonte: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1984.
- SAKAMOTO, C. M. The Z-index as a variable for crops yield estimation. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.19, p.305-313, 1978.
- SHAW, R. H. Impact of weather on crop yields: alternative methods of analysis. In: CLIMATE-TECHNOLOGY SEMINAR, 1977, Columbia. *Proceedings...* Columbia: College of Agriculture, University of Agriculture, 1977. p.99-118.
- SHAW, R. H. A weighted moisture-stress index for corn in Iowa. *Iowa State Journal of Research*, Ames, v.49, p.101-114, 1974.
- SHAW, R. H.; LAING, D. R. Moisture stress and plant response. In: PIERRE, W. H. (Ed.). *Plant environment and efficient water use*. Madison: ASA, SSSA, 1966. p.73-94.

THOMPSON, L. M. Weather and technology in the production of soybeans in the Central United States. *Agronomy Journal*, Madison, v.62, p.232-236, 1970.

THORNTHWAITE; C. W.; MATHER, J. R. The water budget and its use in irrigation. *The Yearbook of Agriculture: Water*. Washington, D. C.: Department of Agriculture, 1955. p.346-358.