

RISCO DE SECAS PARA A CULTURA DA SOJA NO RIO GRANDE DO SUL¹

FERNANDO SILVEIRA DA MOTA², MARIZA OLIVEIRA DE OLIVEIRA AGENDES³,
JOSÉ LUIZ DA COSTA ROSSKOFF⁴, JOÃO BAPTISTA DA SILVA⁵, ELIZABETH SIGNORINI,
ELIANE GRALA PEREIRA ALVES⁶ e SILVIA MARIA BRAHM ARAÚJO⁷

RESUMO - Utilizando métodos desenvolvidos anteriormente - balanço hídrico diário e respectivo índice de seca para soja (*Glycine max.* Merrill) -, foi estabelecido um modelo clima-rendimento-tecnologia, com $R^2 = 0,94$, visando avaliar os riscos das secas para o rendimento da soja no Rio Grande do Sul. Índice de seca igual a 40 determina decréscimos importantes no rendimento, ocorrendo com uma probabilidade de 1 a 95 vezes cada 100 anos, conforme a região. Índice de seca igual ou superior a 68, causa frustração de safra, ocorrendo 95 vezes cada 100 a 1 vez cada 1000 anos, conforme a região. No clima mais seco do sul do Estado, em solos com 200 mm ou mais de capacidade de água disponível, as secas fortes ocorrem uma vez cada 1000 anos, e nos solos com menor capacidade de água disponível, as secas podem ocorrer até 95 vezes cada 100 anos. No clima chuvoso do norte do Estado, a probabilidade varia de cinco vezes cada 100 anos (Missões) a uma vez cada 1000 anos (Planalto, Serra do Nordeste) nos solos predominantes da região.

Termos para indexação: *Glycine max*, frustração de safra, secas, planejamento agrícola.

DROUGHT RISKS FOR THE SOYBEAN CROP IN RIO GRANDE DO SUL STATE, BRAZIL

ABSTRACT - Utilizing methods already developed - daily soil moisture balance and derived drought index for soybeans (*Glycine max.* Merrill) - a weather-yield-technology model, with $R^2 = 0,94$, was established to evaluate the risks of drought for the soybean yields in Rio Grande do Sul State. A drought index of 40 determines important decreases in yield, and has a probability to occur 1 to 95 times every 100 years, according to the region. A drought index of 68 or more causes crop failure, occurring 95 times every 100 to 1 time every 1000 years according to the region. In the drier climate of the southern region of the state in soils with 200 mm or more of available water capacity the most severe droughts occur 1 time every 100 years and in soils with lower available water capacity such droughts may occur until 95 times each 100 years. In the north region of the state, with more summer rainfall, the probability of drought varies from 5 times every 100 (Missões region) to 1 time every 1000 years (Planalto and Serra do Nordeste regions) for most soil types.

Index terms: *Glycine max*, crop failure, drought, agricultural planning.

INTRODUÇÃO

O estado do Rio Grande do Sul está sujeito a prolongadas e severas secas, definidas como "uma excursão climática que compreende uma escassez de precipitação, suficiente para produzir um efeito adverso sobre a produção de culturas ou o nível de produtividade. A experiência indica que estas secas, quando se prolongam o suficiente, exercem seu efeito na economia e na sociedade, assim como também na política da região na qual se manifestam" (McQuigg 1981). Uma destas severas secas ocorreu em

¹ Aceito para publicação em 25 de setembro de 1991

Trabalho realizado dentro do Convênio CPATB - UFPel.

² Eng.-Agr., M.Sc., Dr., Prof.-Titular, aposentado, Univ. Fed. de Pelotas, Caixa Postal 49, CEP 96001, Pelotas, RS. Bolsista do CNPq.

³ Eng^a-Agr^a, Agrometeor., Univ. Fed. de Pelotas, CEP 96001, Pelotas, RS.

⁴ Eng.-Agríc., M.Sc., Prof.-Adj., Univ. Fed. de Pelotas.

⁵ Eng.-Agr., M.Sc., Dr., Prof.-Titular, aposentado, Univ. Fed. de Pelotas. Bolsista do CNPq.

⁶ Meteorol., Univ. Fed. de Pelotas. Bolsista do CNPq.

⁷ Meteorol., Estagiária, Univ. Fed. de Pelotas.

1963-64. Em termos econômicos, as perdas foram consideráveis. Em 1964, os rendimentos da soja se reduziram drasticamente em 25%.

Novamente, em 1986 e em 1988, a seca reduziu os rendimentos da cultura da soja para 900 e 1.057 kg/ha, respectivamente, quando o rendimento que deveria ser obtido estaria em torno dos 1.600 kg/ha se não houvessem ocorrido as secas.

Além destas secas severas, ocorrem vários anos com secas de verão menos intensas mas também prejudiciais. Outro aspecto importante das secas de verão no Rio Grande do Sul é que elas não ocorrem com a mesma intensidade e frequência em todas as regiões. Há necessidade de identificar as regiões de menor risco de secas que deveriam ser as preferenciais para a cultura da soja sem irrigação, pois, atualmente, apenas se iniciam as práticas de irrigação desta cultura.

Neste trabalho, com as séries históricas disponíveis de dados meteorológicos e de rendimento, existentes no Rio Grande do Sul, foi possível desenvolver um modelo cultura/rendimento/clima/tecnologia, que pode ser empregado com o objetivo de estimar as probabilidades de diferentes níveis de rendimento a fim de tomar decisões adequadas de planejamento agrícola.

Dados meteorológicos, tais como a precipitação pluvial, não expressam o verdadeiro clima atuante sobre a planta, para produzir o rendimento. Este clima deve ser caracterizado com modelos que empregam parâmetros derivados dos dados meteorológicos, para simular as contribuições, armazenamentos e perdas de umidade do sistema solo-planta-atmosfera.

A precipitação pluvial foi o primeiro parâmetro meteorológico usado para caracterizar o efeito da seca na cultura da soja (Thompson 1970). Thornthwaite (1955) propôs usar como índice de seca, a deficiência hídrica determinada a partir do balanço hídrico mensal.

A umidade do solo representa uma maior aproximação para identificar o suprimento de água para as plantas, mas poucos dados são disponíveis. Vários pesquisadores, revistos por Dale & Shaw (1965), mostraram que a perda de

água do solo é uma função conjunta da energia atmosférica, a qual causa a evaporação da água do solo e da superfície das plantas e o suprimento disponível de água no solo. Esta relação pode ser expressa com o chamado índice R, a razão da evapotranspiração real (ETr) para a evapotranspiração máxima (ETm).

A ETr é a quantidade de água perdida pela cultura em função do clima, da planta e da disponibilidade de água no solo. É calculada no cômputo do balanço hídrico diário, e a ETm é o consumo máximo de água de uma cultura em condições ótimas de desenvolvimento vegetativo e plena disponibilidade de água no solo. É calculada multiplicando-se a evapotranspiração potencial pelo coeficiente de cultura apropriado para cada estágio de desenvolvimento da planta.

A ETr é relacionada com o suprimento de água, e a ETm representa a necessidade da cultura. Atualmente, aceita-se que a tensão de água nas plantas não é necessariamente produzida pelo teor de água do solo isoladamente, mas é o resultado de um desequilíbrio entre a água disponível no perfil do solo e a demanda evaporativa da atmosfera (Corsi & Shaw 1971, Denmead & Shaw 1962). O índice R é uma medida do suprimento de água para a planta em relação à sua necessidade (Yao 1973, 1974). O valor ótimo de R para culturas tais como a soja é de 0,85 a 0,90, e quando R é inferior a 0,60, há necessidade de irrigação. Grandes diferenças podem ser encontradas no valor de R, dependendo do método usado no cálculo de ETr e ETm, segundo Yao (1969). A aplicação da razão ETr/ETm no estudo da variabilidade do rendimento das culturas é largamente apoiada pelos estudos de Corsi & Shaw (1971) e Yao (1973, 1974).

Um índice de estresse hídrico foi desenvolvido (Mota 1981) para avaliação da redução quantitativa do rendimento da cultura da soja, provocada pela seca, no estado do Rio Grande do Sul. Dados de precipitação diária e mensal foram utilizados para calcular onze diferentes índices de seca em vários períodos do calendário mensal em todo o ciclo de vida da cultura da soja. Como resultado, foi estabelecido que o

melhor índice de estresse hídrico era a soma diária de $1 - E_{Tr}/E_{Tm}$, de 1º de dezembro a 28 de fevereiro.

Mota et al. (1979) elaboraram um programa de computador para o cálculo do balanço hídrico versátil, adaptado de Baier & Robertsom (1966), para o uso no Brasil, em sistemas de produção agrícola específicos (por exemplo, trigo-soja). A partir deste balanço hídrico diário, em que se usa o valor da normal climatologia mensal da evapotranspiração potencial segundo Penman (1948), determinada em função de fatores geográficos (com $R^2 = 0,80$), segundo Oliveira & Mota (1978), obtêm-se valores diários do índice $(1 - R)$, para cada tipo de solo e sistema de produção agrícola. O crescimento do sistema radicular e da parte aérea da cultura é considerado durante os diferentes estádios de desenvolvimento da cultura. O uso do valor normal mensal de evapotranspiração potencial no cálculo do balanço hídrico é justificável, dada a pequena variabilidade deste elemento, em comparação com a grande variabilidade das precipitações (Frère et al. 1975, Bavel & Verlinden 1956). Este método de cálculo do balanço hídrico diário foi testado com medidas diretas de umidade do solo, nas condições do Rio Grande do Sul, com bons resultados (Mota 1986).

O balanço hídrico em períodos mensais (Beltrame et al. 1979, Buriol et al. 1977) não é adequado para fins agrícolas, principalmente porque não leva em consideração a relação entre as quantidades de chuvas diárias com a capacidade de água disponível dos solos e com a velocidade de infiltração nestes solos. Assim, foi verificado que os seus elementos mensais (deficiência, E_{Tr}/E_{Tm} , etc.) não apresentam suficiente correlação com os rendimentos, por exemplo, da soja, no Rio Grande do Sul (Mota 1981), impedindo assim uma análise das suas relações com os rendimentos, o que é essencial para o planejamento da agricultura face às características edafoclimáticas de uma região.

A maioria dos estudos das relações entre o clima e os rendimentos estaduais, regionais ou locais, fazem uso das técnicas estatísticas de regressão múltipla, usando dados meteorológicos

médios semanais, mensais e estacionais de temperatura e de precipitação pluvial (Thompson 1970). A variável indicativa das mudanças tecnológicas ocorridas na cultura deve ser considerada. Usando dados históricos de rendimentos e clima, a análise de regressão gera as estimativas dos coeficientes associados com cada variável previsoras. Como resultado, obtemos a combinação linear destas variáveis previsoras em um modelo estatístico a ser usado para prever o rendimento das culturas.

MATERIAL E MÉTODOS

Os dados de rendimento da soja no Rio Grande do Sul foram obtidos do Anuário Estatístico do Brasil (1941 a 1989).

A série cronológica dos rendimentos foi expressa como a seguir (Uchijima 1981):

$$Y(t) = Y_T(t) + Y'(t)$$

onde $Y(t)$ é o rendimento atual observado da cultura ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$), $Y_T(t)$ é a tendência não-linear do rendimento da cultura ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$) e $Y'(t)$ é o desvio do rendimento da cultura a partir da tendência não-linear ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$). É razoável supor que a tendência não-linear do rendimento da cultura é principalmente devida ao aperfeiçoamento das técnicas para produção da cultura, tais como alto rendimento das cultivares, uso de fertilizantes, máquinas agrícolas e defensivos químicos, e que o desvio anual do rendimento da cultura é principalmente devido às flutuações do tempo atmosférico. As curvas de tendência não-linear são aproximadas por polinômios do tipo:

$$Y_T(t) = A_0 + A_1(t - t_n) + A_2(t - t_n)^2 + A_3(t - t_n)^3$$

onde A_0 é uma constante numérica ($\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$); A_1 , A_2 e A_3 são constantes numéricas em unidades de $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$, $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-2}$ e $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-3}$, respectivamente; t é o número de anos da série e, t_n é um determinado ano da série cronológica. Um programa de minicomputador, para regressão polinomial cúbica, foi usado para satisfazer estatisticamente a série cronológica.

A partir dos valores $Y_T(t)$, um índice de mudança tecnológica foi desenvolvido como segue: para o valor mínimo de $Y_T(t)$, o valor do índice = 1, o qual aumenta unitariamente para cada incremento de 100 $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ no valor de $Y_T(t)$. Por exemplo, para um valor mínimo de $Y_T(t) = 1400 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, o índice = 1; para o valor $1500 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$, o índice = 2, e assim sucessivamente.

Esta série cronológica permite saber o índice tec-

nológico da cultura para 1988/89, ou seja, o atual nível de tecnificação.

Foi utilizado o índice de seca proposto por Mota (1981) para a cultura da soja no Rio Grande do Sul, ou seja, a soma dos valores diários de $1-ET_r/ET_m$ de 1º de dezembro a 28 de fevereiro, calculado a partir do balanço hídrico diário (Mota et al. 1979). Se o índice de seca for maior do que 45, deve ser multiplicado por 1,5 (Mota 1981). A ET_r foi calculada segundo Mota et al. (1979).

Para estabelecer um modelo clima/rendimento da soja/tecnologia, no Rio Grande do Sul, foram utilizados os rendimentos médios estaduais no período 1958/59 a 1976/77 e o valor médio do índice de seca para as estações meteorológicas de São Luiz Gonzaga, Usina Ijuizinho e Passo Major Zeferino, todas localizadas na principal região produtora de soja no Rio Grande do Sul.

Para o estudo da regionalização das probabilidades de ocorrência dos valores significativos do índice de seca, este foi calculado, para o período 1944-70 para as estações meteorológicas dos municípios de Bagé, Canguçu, Capão do Leão (UFPEL-EMBRAPA), Dona Francisca, Guaporé, Jaguarão, Lagoa Vermelha, Passo Fundo, Pelotas (Cascata-EMBRAPA), Santa Vitória do Palmar, Santana da Boa Vista, São Gabriel, São Luiz Gonzaga, Uruguaiana e Vacaria, cobrindo as principais regiões pluviais e unidades de solo do Rio Grande do Sul que interessam para a cultura da soja (Tabela 1 e Fig. 1). Para um estudo das secas históricas do Rio Grande do Sul em relação à cultura da soja, utilizamos séries representativas das regiões norte e sul do Estado, isto é, 1940-85 para São Luiz Gonzaga

e 1942-79 para Pelotas (Cascata-EMBRAPA), ambas para solos com 80 mm de capacidade de água disponível, para serem comparáveis.

As capacidades de água disponível (água armazenada entre o ponto de murchamento permanente e a capacidade de campo) das Unidades de solo indicadas no Mapa de Solos do Brasil (EMBRAPA 1981) para o Rio Grande do Sul, foram determinadas com a informação disponível na literatura (Brasil 1973, Dedek 1974, Arruda & Costa 1961, Cogo 1972, Gomes & Cabeda 1977, Kochann 1971, Souza 1976, Winkler & Goedert 1972 e Beltrame et al. 1979).

Os valores utilizados representam a média para os solos predominantes em cada região, segundo a Fig. 1.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Preliminarmente, foi verificado se a distribuição de frequência do índice de seca para soja era do tipo normal, utilizando o teste do chi-quadrado e dados de 84 anos para Capão do Leão (UFPEL-EMBRAPA), a série mais antiga do Rio Grande do Sul, para a Unidade de mapeamento de solo Pelotas, com 70 mm de capacidade de água disponível, o qual apresentou um valor de $\chi^2 = 1,46$.

Sendo este valor inferior ao χ^2 tabelado para $\alpha = 0,10$ conclui-se que a distribuição de probabilidade do índice de seca para soja é do tipo normal (Tabela 2).

Na Fig. 2 mostra-se a variação e a tendência dos rendimentos observados da soja no Rio

TABELA 1. Estações meteorológicas utilizadas no presente trabalho, suas coordenadas geográficas, período de observações, município e entidade mantenedora.

Estação meteorológica	Latitude S	Longitude W. Gr.	Altitude m	Período de observação	Município	Entidade
Bagé	31°19'	54°05'	197	1944-1970	Bagé	DNMET
Canguçu	31°23'	52°40'	120	1944-1970	Canguçu	DNAEE
Capão do Leão (UFPEL/CPATB)	31°47'	52°25'	13	1944-1970	Capão do Leão	UFPEL/CPATB
Cascata (CNPFT)	31°28'	52°31'	224	1944-1970	Pelotas	CNPFT
Dona Francisca	29°37'	53°21'	100	1944-1970	Dona Francisca	DNAEE
Guaporé	28°55'	51°54'	450	1944-1970	Guaporé	DNMET
Jaguarão	32°32'	53°21'	11	1944-1970	Jaguarão	DNMET
Lagoa Vermelha	28°25'	51°35'	805	1944-1970	Lagoa Vermelha	DNMET
Passo Fundo	28°15'	52°24'	678	1944-1970	Passo Fundo	DNMET
Passo Major Zeferino	28°44'	54°37'	200	1958-1977	Santo Ângelo	DNAEE
Santa Vitória do Palmar	33°21'	53°22'	6	1944-1970	Santa Vitória do Palmar	DNMET
Santana da Boa Vista	30°52'	53°01'	340	1944-1970	Santana da Boa Vista	DNAEE
São Gabriel	30°20'	54°19'	124	1944-1970	São Gabriel	DNMET
São Luiz Gonzaga	28°24'	54°58'	251	1944-1970	São Luiz Gonzaga	DNMET
Uruguaiana	29°45'	57°05'	62	1944-1970	Uruguaiana	DNMET
Usina Ijuizinho	28°25'	54°16'	250	1958-1977	Santo Ângelo	CEEE
Vacaria	28°03'	50°42'	955	1944-1970	Vacaria	DNMET

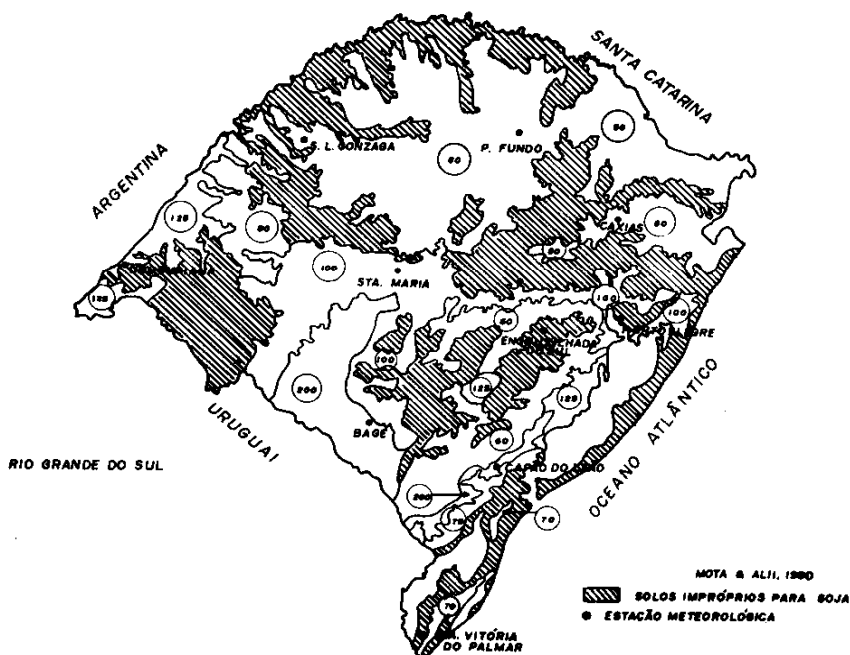


FIG. 1. Capacidade de água disponível nos solos do Rio Grande do Sul.

TABELA 2. Teste de normalidade de distribuição do índice de seca para soja em Pelotas, RS, para solos com 70 mm de capacidade de água disponível. Período 1895/96 - 1978/79

Classes		Frequências teóricas					Significância das discrepâncias				
Intervalo	Ponto médio	Freq.	Freq. inferior	Freq. superior	Freq. no intervalo	Fc	Freq.	Freqüência	F-Fc	(F-Fc) ²	$\frac{(F-Fc)^2}{Fc}$
	x	F	%	%	Fc %	nº	F nº	Fc nº			
25.0-31.0	28.0	2	0,0004	0,0089	0,85	0,71	2	0,71	1,29	1,66	2,34
31.1-37.1	34.1	4	0,091	0,0838	7,47	6,27	4	6,27	-2,27	5,15	0,82
37.2-43.2	40,2	25	0,869	0,3520	26,51	22,27	25	22,27	2,73	7,45	0,33
43.3-49.3	46,3	33	0,3594	0,7324	38,00	31,92	33	31,92	1,08	1,17	0,04
49.4-55.4	52,4	18	0,7389	0,9474	20,85	17,51	18	17,51	0,49	0,24	0,01
55.5-61.5	58,5	2	0,9495	0,9956	4,61	3,87	2	3,87	1,87	3,50	0,94
Totais		84	-	-	98,29	82,55	84	82,55			$\chi^2 = 1,46$

Grande do Sul no período de 1941 até 1989, bem como o índice de seca no período 1958 a 1989, indicando as secas que determinaram frustração das safras de soja de 1962, 1963, 1964, 1968, 1978, 1979, 1986 e 1988.

Na Tabela 3 indica-se que o valor do índice tecnológico para soja no Rio Grande do Sul para 1989 é 9. O polinômio que representa a

tendência dos rendimentos é:

$Y = 654 + 77,5x - 3,1x^2 + 0,04x^3$, onde x = rendimento observado em um determinado ano, e y = valor da tendência do rendimento no mesmo ano.

A equação representativa do modelo rendimento da soja/clima/tecnologia obtida para soja no estado do Rio Grande do Sul (Tabela 4) foi:

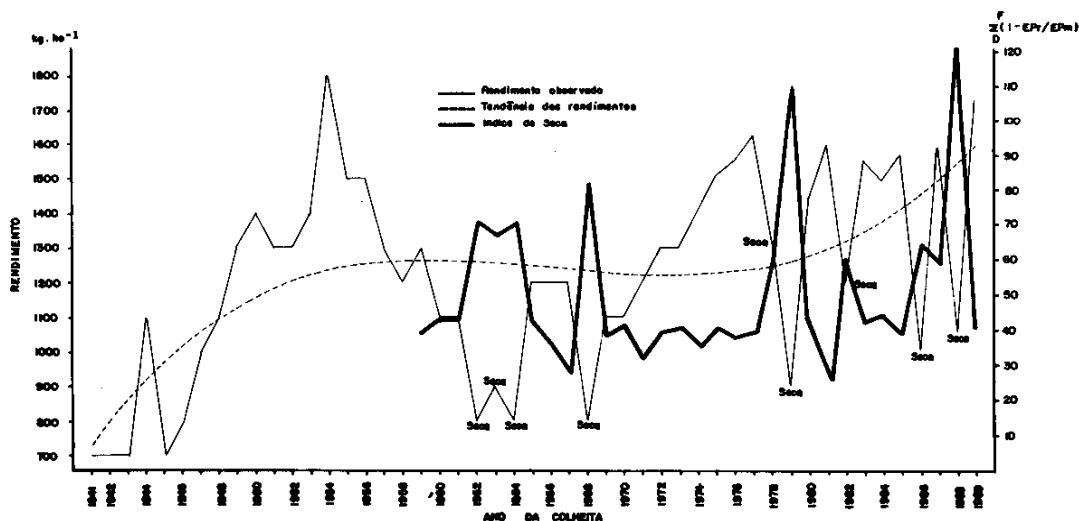


FIG. 2. Variação e tendência dos rendimentos e índice de seca da soja no RS, 1940/41 a 1988/89.

$Y = 1328 - 8x_1 + 79x_2$, com $R^2 = 0,94$, onde, x_1 = índice de seca e, x_2 = índice tecnológico.

As Tabelas 5, 6 e 7 indicam as probabilidades de ocorrência de índices de seca iguais ou superiores a determinados valores para as diversas localidades estudadas, conforme a capacidade de água disponível das unidades de solos predominantes em cada região no período 1944-70. Estas probabilidades foram determinadas a partir da metodologia indicada em Fischer & Yates (1949).

Os dados das Tabelas 5, 6 e 7 indicam a grande importância da capacidade de água disponível do solo sobre a ocorrência de secas. Para uma mesma região pluviométrica, como por exemplo a representada pela localidade da Cascata, em solos com 200 mm de capacidade de água disponível, a probabilidade de anos com índice de seca igual ou superior a 40 é de apenas uma vez em cada 1000 anos e em solos com 60 mm de capacidade de água disponível, a probabilidade de ocorrência de índices de seca

iguais ou superiores a 40 é de 77 anos em cada 100 anos.

Empregando o modelo para a previsão de rendimentos de soja com o valor fixo do índice tecnológico igual a 9 (Tabela 3) para representar a atual tecnologia, isto é, a de 1989, obtemos os seguintes valores para o rendimento médio da soja no Rio Grande do Sul.

Índice de seca	Rendimento médio (kg.ha ⁻¹)
15	1919
25	1939
35	1759
40	1719
68	1495
75	1439
85	1359
95	1279
105	1199

Podemos, assim, considerar que as secas severas, que causam frustração da safra de soja no

TABELA 3. Rendimentos observados, tendência destes rendimentos e índice tecnológico para a cultura da soja no Rio Grande do Sul, 1941-89.

Ano da colheita	Nº de ordem	Rendimento kg.ha ⁻¹		Índice tecnológico
		Observado	Tendência	
1941	1	700	729	1
1942	2	700	797	1
1943	3	700	859	2
1944	4	1100	916	2
1945	5	700	968	3
1946	6	800	1015	3
1947	7	1000	1056	4
1948	8	1100	1094	4
1949	9	1300	1126	4
1950	10	1400	1155	5
1951	11	1300	1180	5
1952	12	1300	1201	5
1953	13	1400	1218	5
1954	14	1800	1233	6
1955	15	1500	1244	6
1956	16	1500	1253	6
1957	17	1300	1259	6
1958	18	1200	1263	6
1959	19	1300	1266	6
1960	20	1100	1266	6
1961	21	1100	1265	6
1962	22	800	1262	6
1963	23	900	1259	6
1964	24	800	1255	6
1965	25	1200	1250	6
1966	26	1200	1245	6
1967	27	1200	1240	6
1968	28	800	1235	6
1969	29	1100	1230	6
1970	30	1100	1226	6
1971	31	1200	1223	6
1972	32	1300	1221	6
1973	33	1300	1220	6
1974	34	1397	1222	6
1975	35	1565	1225	6
1976	36	1549	1236	6
1977	37	1626	1237	6
1978	38	1319	1247	6
1979	39	900	1259	6
1980	40	1438	1275	6
1981	41	1595	1294	6
1982	42	1192	1316	6
1983	43	1548	1342	7
1984	44	1487	1372	7
1985	45	1570	1407	7
1986	46	1008	1446	8
1987	47	1582	1489	8
1988	48	1057	1538	9
1989	49	1723	1591	9

Rio Grande do Sul, apresentam um índice de seca de valor igual ou superior a 68, e as secas menos severas com redução importante do rendimento, são as secas com índice de seca de valor igual ou superior a 40.

A análise das probabilidades de ocorrência do índice de seca (Tabelas 5, 6 e 7) indica que o valor 68 ou superior tem uma frequência muito pequena nas localidades do Planalto e Serra do Nordeste do Rio Grande do Sul, de apenas 1 (uma) vez cada 1000 anos; nas Missões a frequência é de 4,7 vezes em cada 100 anos, e na Depressão Central é de 35 vezes cada 100 anos. Já na região sul do Rio Grande do Sul, onde a precipitação pluvial no verão é menor do que na região norte, a frequência de anos em índice de seca igual ou superior a 68 varia de 15 a 93,6 vezes cada 100 anos, de acordo com a localidade, para solos com menos de 200 mm de capacidade de água disponível. Isto indica que, para compensar a menor quantidade de precipitação pluvial da região sul do Rio Grande do Sul, há necessidade de que a capacidade de água disponível seja aumentada, ou que se use irrigação. Em solos com 200 mm de capacidade de água disponível, na região sul do Rio Grande do Sul, a frequência de secas severas varia de 15 vezes cada 100 anos até uma vez cada 1000 anos, conforme a localidade.

No que se refere às secas menos severas, com índice de seca igual ou superior a 40, na região norte do Rio Grande do Sul, as probabilidades variam de 0,7 vezes cada 100 anos a 85 vezes cada 100 anos, conforme a localidade, em função da pluviometria, já que os solos são muito uniformes em relação à capacidade de água disponível. Na região sul, a frequência de índices de seca iguais ou superiores a 40 varia de uma vez cada 1000 anos a 95 vezes cada 100 anos, de acordo com a localidade e a unidade de solo.

Na Fig. 3 podemos verificar a ocorrência cronológica destes índices de seca nas regiões entre norte e sul do Rio Grande do Sul.

Nas Fig. 4 e 5, indica-se, de acordo com a informação que foi possível obter no presente trabalho, a ocorrência regional (%) de secas severas e menos severas para a soja, no Rio Grande do Sul. Os valores indicados nos círcu-

TABELA 4 - Dados para o modelo clima x rendimento x tecnologia para soja no RS, de 1959 a 1977.

Safra	Nº de ordem	Rendimento observado	Índice de seca	Tendência dos rendimentos	Índice tecnológico	Rendimento estimado
1959	1	1300	40,0	1211	3	1253
1960	2	1100	44,0	1122	2	1143
1961	3	1100	44,3	1055	1	1062
1962	4	800	72,0	1007	1	846
1963	5	900	68,0	978	1	877
1964	6	800	72,0	965	1	846
1965	7	1200	43,6	967	1	1067
1966	8	1200	37,3	983	1	1116
1967	9	1200	28,7	1011	1	1183
1968	10	800	81,9	1049	1	769
1969	11	1100	39,0	1096	2	1182
1970	12	1100	41,2	1151	2	1165
1971	13	1200	32,3	1211	3	1313
1972	14	1300	40,4	1276	4	1329
1973	15	1300	40,8	1344	4	1326
1974	16	1397	36,2	1412	5	1441
1975	17	1505	41,3	1481	6	1480
1976	18	1549	38,4	1548	6	1503
1977	19	1626	39,5	1611	7	1574

TABELA 5. Probabilidades (%) de ocorrência de anos com índices de seca iguais ou superiores aos indicados em diversas localidades para diferentes unidades de solo conforme suas capacidades de água disponível na região norte do Rio Grande do Sul.

Índice de seca	Probabilidades				
	Guaporé 80 mm	Lagoa Vermelha 80 mm	Passo Fundo 80 mm	São Luiz Gonzaga 80 mm	Vacaria 80 mm
15	98,2	99,7	98,8	98,0	99,0
25	69,2	91,8	64,9	91,8	95,5
35	11,4	38,4	5,7	75,7	43,1
40	2,3	12,7	0,7	63,0	13,1
68	0,1	0,1	0,1	4,7	0,1
75	0,1	0,1	0,1	1,7	0,1
85	0,1	0,1	0,1	0,4	0,1
95	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
105	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

TABELA 6. Probabilidades (%) de ocorrência de anos com índices de seca iguais ou superiores aos indicados em diversas localidades para diferentes unidades de mapeamento de solos conforme suas capacidades de água disponível na região sudoeste do Rio Grande do Sul.

Índice de seca	Probabilidades					
	Bagé		São Gabriel	Uru-guaiana	Dona Francisca	
	100 mm	200 mm	200 mm	125 mm	80 mm	100 mm
15	98,6	95,7	93,6	94,8	98,3	95,1
25	96,1	89,0	78,1	88,4	95,6	87,4
35	90,3	76,0	50,0	77,6	89,4	73,5
40	85,4	67,1	33,8	70,4	84,4	64,1
68	35,9	14,8	0,7	22,9	35,4	13,0
75	23,7	8,3	0,3	14,6	23,6	7,1
85	11,3	3,0	0,1	7,2	11,6	2,4
95	4,6	0,9	0,1	3,0	4,8	0,8
105	1,7	0,4	0,1	1,1	1,9	0,7

TABELA 7. Probabilidades (%) de ocorrência de anos com índices de seca iguais ou superiores aos indicados em diversas localidades para diferentes unidades de mapeamento de solos conforme suas capacidades de água disponível na região sudoeste do Rio Grande do Sul.

Índice de seca	Probabilidades							
	Canguçu 60 mm	Capão do Leão 70 mm	Cascata 60 mm	200 mm	Jaguarão 70 mm	200 mm	Santana da Boa Vista 125 mm	Santa Vitória 70 mm
15	99,9	99,5	98,1	99,9	99,9	99,9	94,8	99,9
25	99,9	99,2	94,1	92,1	99,9	97,9	89,1	99,9
35	99,6	94,1	84,9	25,4	99,9	50,0	79,8	99,9
40	99,4	90,1	77,3	0,1	99,9	20,1	73,5	99,9
69	82,6	34,1	19,8	0,1	93,6	0,1	29,8	92,5
75	69,6	20,1	10,8	0,1	71,8	0,1	20,7	81,5
85	49,8	8,0	3,9	0,1	19,5	0,1	11,2	50,0
95	23,5	2,4	1,2	0,1	2,2	0,1	5,5	21,8
105	9,4	0,6	0,4	0,1	0,1	0,1	2,4	5,7

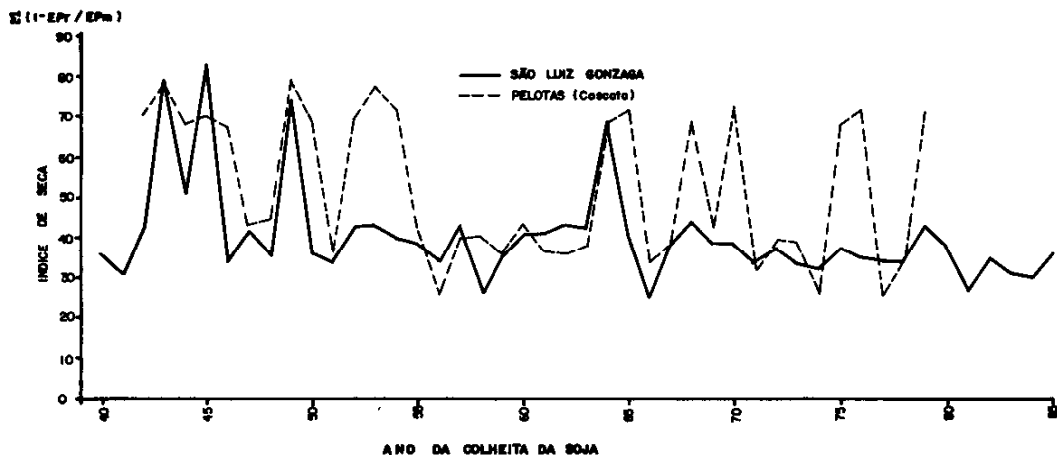


FIG. 3. Série cronológica do índice de seca para a cultura da soja em solos com 80 mm de capacidade de água disponível em uma localidade do norte, São Luiz Gonzaga e outra do sul, Pelotas (Cascató), do Rio Grande do Sul, de 1940 a 1985.

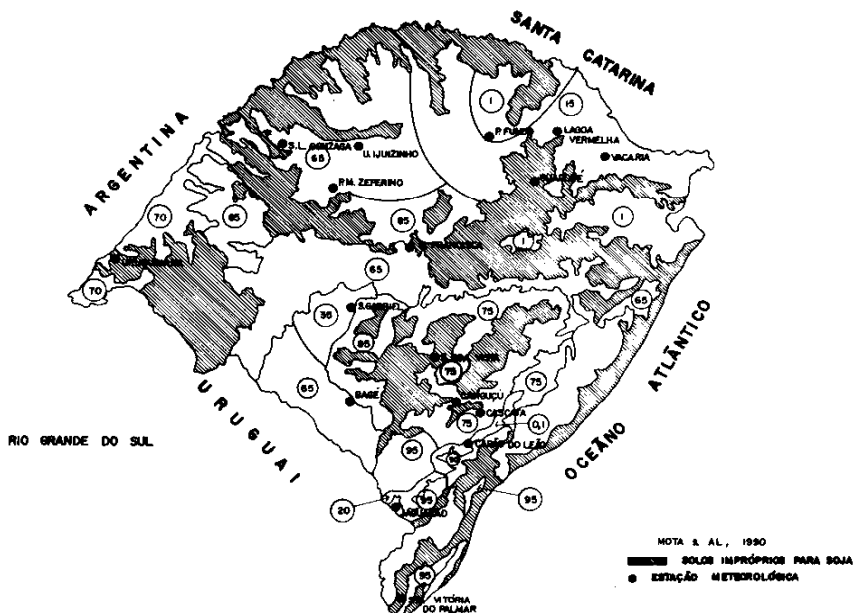


FIG. 4. Probabilidade (%) de ocorrência de índices de seca para soja iguais ou inferiores a 68 - secas severas com frustração de safra.

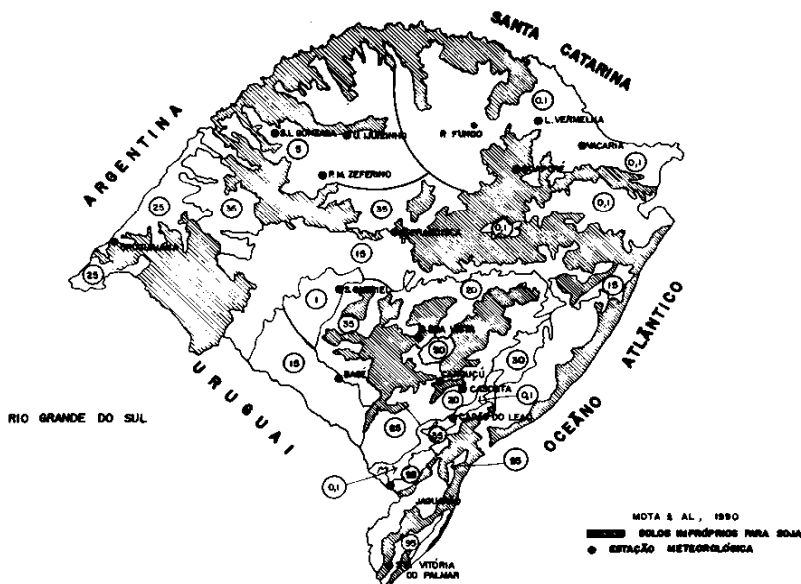


FIG. 5. Probabilidade (%) de ocorrência de índices de seca para soja iguais ou inferiores a 40 - secas pouco severas prejudiciais para a soja.

los foram arredondados para facilidade de compreensão, e as isolinhas traçadas dentro de uma mesma Unidade de Mapeamento de Solos foram determinadas a partir do conhecimento da distribuição das isoietas de verão na região.

CONCLUSÕES

1. A variação, de ano para ano, do rendimento médio da cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul, é uma função da intensidade das secas de verão e do nível da tecnologia utilizada.

2. Quando o valor do índice de seca é igual ou superior a 68, ocorrem grandes frustrações da safra de soja no Rio Grande do Sul.

3. A capacidade de água disponível dos solos tem influência preponderante sobre o índice de seca, mesmo nas regiões menos chuvosas do Rio Grande do Sul.

4. A análise das probabilidades de ocorrência do índice de seca indica que o valor 68 ou superior tem uma frequência muito pequena nas localidades do Planalto e Serra do Nordeste do Rio Grande do Sul, de apenas 1 (uma) vez cada 1000 anos; na região das Missões, a frequência é de 4,7 vezes em cada 100 anos, e na Depressão Central, é de 35 vezes cada 100 anos. Já na região sul do Rio Grande do Sul, onde a precipitação pluviométrica no verão é menor do que na região norte, a frequência de anos com índice de seca igual ou superior a 68 varia de 15 a 93,6 vezes cada 100 anos de acordo com a localidade, para solos com menos de 200 mm de capacidade de água disponível. Em solos com 200 mm de capacidade de água disponível, na região sul do Rio Grande do Sul, a frequência de secas severas varia de 1 a 15 vezes cada 100 anos até 1 vez cada 1000 anos conforme a localidade.

5. No que se refere às secas menos severas, com índice de seca igual ou superior a 40, na região norte do Rio Grande do Sul, as probabilidades variam de 0,7 vezes cada 100 anos a 85 vezes cada 100 anos conforme a localidade, em função da pluviometria, já que os solos são muito uniformes em relação à capacidade de água disponível; na região sul, a frequência de índices de seca iguais ou superiores a 40 varia de 1 (uma) vez cada 1000 anos a 95 vezes cada 100 anos de acordo com a localidade e a unidade de solo.

REFERÊNCIAS

- ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO BRASIL. Rio de Janeiro: IBGE, 1941-1989.
- ARRUDA, A.A.; COSTA, G.T.D. da. *Levantamento de solos do município de Pelotas. Pelotas: [s.n.], 1961. 61p. (Boletim Técnico do Instituto Agrônomo do Sul, 30).*
- BAIER, W.; ROBERTSON, G.W. A new versatile soil moisture budget. *Canadian Journal of Plant Science*, n.46, p.299-315, 1966.
- BAVEL, C.H.M. Van; VERLINDEN, F.J. *Agricultural drought in North Carolina. [S.l.: s.n.], 1956. 59p. (N.C. Agric. Exp. Sta. Techn. Bull, 122).*
- BELTRAME, L.F.S.; TAYLOR, J.C.; CAUDURO, F.A. *Probabilidades de ocorrência de déficits e excessos hídricos em solos do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Instituto de Pesquisas Hidráulicas, UFRGS, 1979. 79p.*
- BRASIL. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. *Levantamento de reconhecimento dos solos do estado do Rio Grande do Sul. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).*
- BURIOL, G.; ESTEFANEL, V.; SACCOL, A.V.; FERREIRA, M.; SCHNEIDER, F.; AITA, L.; GIARETTA, A. *Balanco hídrico seriado do Rio Grande do Sul. Santa Maria: UFSM, 1977. 216p.*
- COGO, N. *Morfologia e gênese de solos escuros formados sobre basalto na Campanha-Oeste do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: UFRGS, 1972. 131p. Dissertação de Mestrado.*
- CORSI, W.C.; SHAW, R.H. Evaluation of stress index for corn in Iowa. *Iowa State Journal of Science*, Ames, v.46, n.1, p.79-85, 1971.
- DALE, R.F.; SHAW, R.H. The climatology of soil moisture, atmospheric evaporative demand, and resulting moisture stress days for corn at Ames, Iowa. *Journal of Applied Meteorology*, Boston, v.4, n.6, p.66-69, 1965.
- DEDECEK, R.A. *Características físicas e fator de erodibilidade de oxisolos do Rio Grande do Sul. I: Unidade Erexim, Passo Fundo e Santo Ângelo. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1974. Tese de Mestrado.*
- DENMEAD, O.T.; SHAW, R.H. Availability of soil water to plants as affected by soil moisture content and meteorological conditions. *Agronomy Journal*, Madison, v.54, n.5, p.385-390, 1962.
- EMBRAPA. *Mapa de solos do Brasil. Brasília, 1981. mapa: 1:5.000.000.*
- FISCHER, R.A.; YATES, F. *Tablas Estadísticas para investigadores científicos, económicos, demográficos y especialmente biológicos, agronómicos y médicos. Trad. de J.R. Magan e J.J.R. Rubio. Madrid: Aguilar, S.A. de Ediciones, 1949. 133p.*
- FRERE, M.; RIIKS, J.Q.; REA, J. *Estudio agroclimatólogo de la zona andina Roma: FAO/UNESCO/OMM, 1975. 375p. Informe Técnico.*
- GOMES, A. da S.; CABEDA, M.S.U. Sistema solo-água-ar em solos argilosos-escuros da Campanha Sudoeste do Rio Grande do Sul. *Revista Agros*, v.12, n.1, p.7-24, jan. 1977.
- KOCHANN, R.A. *Classificação de capacidade de uso e de irrigação dos solos do Posto Agropecuário de Carazinho. Porto Alegre: UFRGS, 1971. 111p. Dissertação de Mestrado.*
- McQUIGG, J.D. The promise of food and climate information systems. In: Slater, L.E.; Levin, S.K. (Ed.). *Climate's Impact on Food Supplies. Boulder, Colorado: American Association for the Advancement of Science, Westview Press, 1981. 243p. (Selected Symp. 62).*
- MOTA, F.S. da. *Índice de seca para soja. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.16, n.3, p.371-383, 1981.*
- MOTA, F.S. da. *Teste de balanço hídrico diário versátil adaptado para uso no Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 6,*

- 1986, Brasília, Anais... [s.l.]: Sociedade Brasileira de Meteorologia, 1986. p.69-76.
- MOTA, F.S. da; ROSSKOFF, J.L. da C.; OLIVEIRA, M.O. de. Programa de computador para estimar o balanço hídrico diário agrometeorológico no Brasil. Mossoró: s.n., 1979. 28p. Mimeografado. Trabalho apresentado no I Congresso Brasileiro de Agrometeorologia.
- OLIVEIRA, M.O. de; MOTA, F.S. da. Estimativa da evapotranspiração potencial (Penman) em função de fatores geográficos no Brasil. *Ciência e Cultura*, São Paulo, v.30, n.4, p.473-482, 1978.
- PENMAN, H.L. Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society of London, Series A*, v.193, p.120-145, 1948.
- SOUZA, L. Caracterização física e erodibilidade em solo da Unidade de Mapeamento São Jerônimo (Paleudult), em diferentes sistemas de manejo. Porto Alegre: UFRGS, 1976. 48p. Dissertação de Mestrado.
- THOMPSON, L.M. Weather and technology in the production of soybeans in the Central United States. *Agronomy Journal*, Madison, v.62, n.2, p.232-236, 1970.
- THORNTHWAITE, C.W. *The water balance*. Centerton: Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 1955 104p. (Publications in Climatology, v.8, n.1).
- UCHIJIMA, Z. Yield variability of crops in Japan. *Geological Journal*, v.5, p.151-169, 1981.
- WINKLER, E.I.G.; GOEDERT, W.J. Características hídricas dos solos de Pelotas, Rio Grande do Sul. *Pesquisa Agropecuária Brasileira, Série Agronomia*, v.7, n.5, p.1-4, 1972.
- YAO, A.Y.M. Agricultural potential estimated from the ratio of actual to potential evapotranspiration, *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.13, n.3, p.405-417, 1974.
- YAO, A.Y.M. Evaluating climatic limitations for a specific agricultural enterprise. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.12, n.1, p.65-73, 1973.
- YAO, A.Y.M. The R index for plant water requirements. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v.6, n.4, p.259-273, 1969.