

# PREVISÃO E PROBABILIDADE AGROMETEOROLÓGICA DO RENDIMENTO DE CEREAIS NO BRASIL: uma revisão

FERNANDO SILVEIRA DA MOTA<sup>(1)</sup>

## INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de modelos clima-rendimento baseados em computadores e sua implementação em sistemas de informação agroclimática podem ser importantes para o planejamento e elevação da produtividade agrícola. Esta tecnologia é uma parte essencial da revolução da Informática computadorizada na qual vivemos atualmente, com enormes implicações para o nosso futuro. A informação agroclimática permitirá realizar uma mistura adequada de tecnologia agrícola importada com os nossos talentos locais permitindo a adaptação às nossas condições ambientais, econômicas e sociais.

Para ter sucesso os modelos agroclimáticos necessitam mais do que computadores. Necessitam a obtenção de dados históricos (meteorológicos e de rendimentos) das regiões agrícolas e do conhecimento dos agrossistemas. Estes fatores precisam ser integrados na simulação matemática ou estatística envolvida na modelagem da influência do clima na agricultura. Além do conhecimento dos tipos de solo, sua retenção de umidade e outras características do ambiente, são necessários dados meteorológicos diários (precipitação pluvial, temperatura do ar, insolação, entre outros) em tempo real para os modelos. Estas entradas de dados devem ser fornecidas pelas estações meteorológicas conectadas a uma central onde estejam presentes agrometeorologistas, estatísticos e pessoal de computação que possam usar os dados recebidos e interpretá-los em termos de rendimentos agrícolas regionais. Também são necessárias informações de satélites ou aeronaves sobre as mudanças nas características do ambiente, especialmente as áreas plantadas, incidências de enchentes, doenças e pragas. Também é necessário um sistema de informática ligado à comunida-

---

<sup>(1)</sup> UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS

de de uma maneira socialmente benéfica para os usuários potenciais.

No Brasil, primeiramente precisamos estabelecer a credibilidade no uso destes modelos clima-rendimento, através de projetos demonstrativos, mostrando sua operacionalidade.

Ao mesmo tempo há necessidade de estabelecer um Banco de Dados Históricos Meteorológicos e de Rendimento das Culturas e de Dados Meteorológicos em tempo real.

No Brasil, quase todos os dados meteorológicos históricos encontram-se apenas em livros espalhados em diversos escritórios. Assim, embora vários modelos tenham sido desenvolvidos, eles não estão podendo ser usados e postos em operação porque os dados não são disponíveis em tempo real para processamento nos computadores. Em outras palavras, a tecnologia de modelos está na frente da disponibilidade dos sistemas de informação necessários para usar estes modelos.

Nos últimos 3 anos, agrometeorologistas e meteorologistas brasileiros tem procurado desenvolver modelos clima-rendimento-tecnologia visando a previsão do rendimento dos cereais no Sul do Brasil\*, especialmente nos Estados do Rio Grande do Sul e São Paulo. Esta atividade científica é motivada pela necessidade cada vez maior de melhorar as informações sobre o suprimento e a demanda de alimentos no Brasil.

O papel dos modelos clima-rendimento-tecnologia tem se tornado cada vez mais importante para:

1) monitoria das previsões de safras a partir de dados meteorológicos permitindo a tomada de decisões de importação e exportação, de comércio nacional e programas de produção de alimentos básicos;

2) avaliação do impacto de variabilidade climática, natural ou provocada pelo homem, sobre os rendimentos dos cereais;

3) interpretação dos efeitos do clima na experimentação agrícola de campo;

---

\* Consideramos como Sul do Brasil, para efeito do presente trabalho, os Estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul

- 4) avaliação do potencial de produção agrícola regional: zoneamento agroclimático; e,
- 5) planejamento agrícola: probabilidade de níveis de rendimento.

Em relação ao primeiro objetivo, devemos salientar que a informação mais importante para os responsáveis pelo comércio de cereais é ter dados precisos de produção em tempo hábil. Uma estimativa de produção antecipada pode ser determinada se o rendimento é conhecido. A principal causa da variação anual da produção de cereais no Sul do Brasil, é devida à flutuação na quantidade e distribuição das chuvas.

#### MODELOS E SUB-MODELOS

Os modelos clima-rendimento-tecnologia são definidos como uma representação simplificada das complexas relações entre o clima e o comportamento das culturas pelo uso de técnicas estatísticas bem estabelecidas.

Os modelos desenvolvidos no Brasil pertencem ao tipo denominado empírico-estatístico que usam uma amostra de dados de rendimento de uma região e uma amostra de dados de clima, solo, fenologia e tecnologia da mesma área para produzir estimativas dos coeficientes do modelo, usando algum tipo de técnica de regressão por mínimos quadrados.

Nestes modelos empírico-estatísticos, uma ou várias variáveis que representam o clima e a tendência dos rendimentos tem sido relacionadas com o rendimento dos cereais de verão e de inverno no Sul do Brasil. As variáveis "independentes" tem sido a precipitação, a temperatura ou variáveis agrometeorológicas derivadas, como índices de tensão hídrica ou de prejuízos por baixas ou altas temperaturas. Os coeficientes de ponderação destas equações são necessariamente obtidos de maneira empírica usando processos estatísticos padronizados, como análise de regressão múltipla. Este enfoque estatístico não leva necessariamente à uma fácil explicação das relações de causa e efeito, mas é um enfoque muito prático para a previsão dos rendimentos. Os coeficientes destes modelos empíricos e a validade das estimati-

vas dependem grandemente da escolha do modelo, das variáveis e da representatividade dos dados utilizados. Se as condições de clima, solo e práticas tecnológicas agrícolas são bastantes homogêneas na área representada pelos dados, ou, se as condições geográficas e de solo são adequadamente ponderadas nas equações, pode-se esperar que os coeficientes e as estimativas de rendimento tenham significação prática.

Nos modelos desenvolvidos para os cereais de verão no Sul do Brasil tem aparecido três fontes principais de variabilidade dos rendimentos, nos últimos 20 anos:

1. Mudanças tecnológicas, como aumento crescente de rendimentos, exceto em trigo;
2. Variabilidade meteorológica, especialmente no regime pluviométrico; e,
3. Variabilidade casual.

As mudanças tecnológicas têm sido a fonte mais importante de variabilidade dos rendimentos dos cereais de verão, ao passo que a variabilidade meteorológica corresponde a fonte mais importante da variabilidade dos rendimentos dos cereais de inverno no Sul do Brasil. Nessa Região, o rendimento do milho aumentou de 1496 kg.ha<sup>-1</sup> em 1964 para 1907kg.ha<sup>-1</sup> em 1978, evoluindo o índice tecnológico de 1 para 6. No caso da soja o aumento foi de 1062 kg.ha<sup>-1</sup> para 1711 kg.ha<sup>-1</sup> no mesmo período, com aumento do índice tecnológico de 1 para 7 (MOTA, 1983). Outro autor(CHEN 1981) encontrou valores semelhantes para a soja no Estado de São Paulo, e CELASCHI & ALMEIDA (1981) encontraram valores semelhantes para o milho, também no Estado de São Paulo. No caso do arroz irrigado, no Rio Grande do Sul, também a variável tecnológica foi a principal causa da variação dos rendimentos no período 1964-1976, tendo os rendimentos aumentados de 2.750 kg.ha<sup>-1</sup> para 4.000 kg.ha<sup>-1</sup> (MOTA & SILVA, 1980).

O impacto das mudanças tecnológicas foi devido ao incremento das aplicações de fertilizantes químicos, melhor qualidade genética das sementes e maior aplicação de defensivos, especialmente herbicidas e inseticidas.

No caso dos cereais de inverno, especialmente trigo, as

variáveis meteorológicas tem sido muito mais importantes do que as tecnológicas (MOTA, 1982), embora se reconheça a importância das tecnologias empregadas para manter os atuais níveis de rendimento.

Alguns autores tem usado diretamente os dados de precipitação, balanço hídrico mensal, temperatura, insolação, evaporação, umidade relativa e informações fenológicas. Assim, REIS *et al.* (1972) efetuaram uma extensa análise econômica da produção agrícola na Região Centro-Sul do Brasil, incluindo amendoim, arroz, feijão, milho, soja e trigo. Apresentaram modelos econômicos para cada cultura usando deficiência e excesso hídrico (THORNTHWAITE), temperatura do ar, precipitação e ocorrência de geadas.

Outros autores também utilizaram diretamente este tipo de dados meteorológicos (CHEN & FONSECA, 1980; CHEN, 1981; CELASCHI & ALMEIDA, 1981, 1982; LIU & LIU, 1981; MOTA & SILVA, 1980).

Sub-modelos de balanço hídrico diário (Figura 1) que fornecem índices de tensão hídrica e índices derivados de dados meteorológicos e geográficos, bem como dados meteorológicos diários também foram utilizados (MOTA & ROSSKOFF, 1982; MOTA, 1983; LIU & STEINMETZ, 1982; CELASCHI & ALMEIDA, 1982). Estes modelos estão incluídos na Tabela 1, que engloba os principais modelos incluídos nesta revisão. A Figura 2 exemplifica o fluxograma de um destes modelos.

As Figuras 3 a 9 apresentam uma comparação entre os rendimentos observados e estimados de vários entre os modelos desenvolvidos no Sul do Brasil para a previsão do rendimento dos cereais de verão e de inverno, segundo os vários autores citados.

A Tabela 2 indica a possibilidade de determinar, a partir destes modelos, a probabilidade dos vários níveis do rendimento visando o planejamento agrícola.

#### REFERÊNCIAS

- CELASCHI, W. & ALMEIDA, F.C. 1981. Um modelo para estimar e produtividade do milho no Estado de São Paulo. Anais da So-

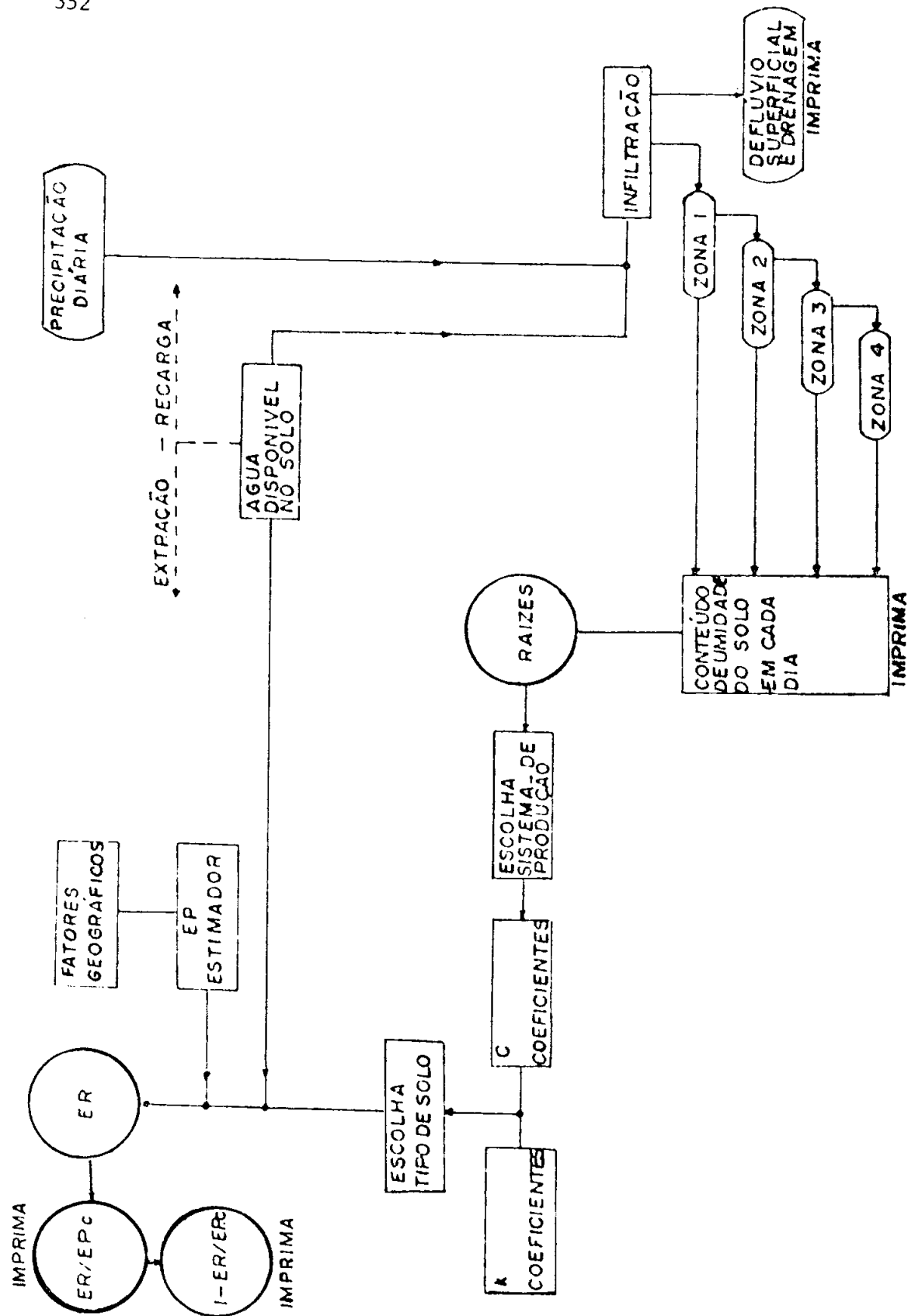


FIGURA 1. Caminhos da água no balanço hídrico diário simplificado da unidade do solo. Reproduzido de MOTA e ROSSKOFF (1982).

TABELA 1. Principais modelos para previsão do rendimento de cereais desenvolvidos no Sul do Brasil, segundo vários autores.

CULTURA	REGIÃO	MODELO	R <sup>2</sup>	AUTOR(ES)
ARROZ	Munic. Pelotas, RS	$Y = 0,3274 + 0,0059x_1 - 0,0133x_3 + 0,2733x_5 + 0,0725x_6$ (1)	0,85	Mota e Silva (1980)
MILHO	DIRA, Ribeirão Preto, SP	$Y = 1454,25 + 17,18x_1 + 46,68x_2$ (2)	0,94	Chen e Fonseca (1980)
TRIGO	Rio Grande do Sul	$Y = 1200,72 + 54,669T - 0,6352PPET6 - 5,413 \times 10^{-3} QPPT8 - 76,065NB + 3,1374PPET10 - 1,624 \times 10^{-2} QPPT10$ (3)	0,97	Liu e Liu (1981)
SOJA	DIRA, Ribeirão Preto, SP	$Y = 1242,35 + 22,46x_1 - 69,58x_2 - 100,55x_3 - 0,74x_4$ (4)	0,83	Chen (1981)
TRIGO	Rio Grande do Sul	$Y = 2232,56 - 2,26x_1 - 418,33x_2 - 367,91x_3$ (5)	0,62	Mota, (1982)
MILHO	Sul do Brasil (8)	$Y = 1514,61 - 4,21x_1 + 86,81x_2$ (6)	0,80	Mota (1983)
SOJA	Sul do Brasil (8)	$Y = 1254,54 - 6,87x_1 + 95,19x_2$ (7)	0,79	Mota (1983)

(1)  $x_1$  = % da área semeada até 30 de novembro

$x_3$  = insolação total média de fevereiro e março

$x_5$  = média da temperatura mínimas de novembro, dezembro e janeiro

$x_6$  = índice de mudanças tecnológicas de 1957 a 1972 (1 a 15)

(2)  $x_1$  = soma das umidades relativas de outubro a março

$x_2$  = índice das mudanças tecnológicas de 1957 a 1978 (1 a 22)

(3) T = tendência dos rendimentos

PPET6 = diferença do valor da precipitação mensal menos evapotranspiração mensal de junho.

QPPT8 = quadrado da diferença do valor da precipitação mensal menos evapotranspiração mensal de agosto.

NB = temperatura mínima mensal média de agosto.

PPET10 = diferença do valor de precipitação mensal menos evapotranspiração mensal de outubro.

QPPT10 = quadrado da diferença do valor de precipitação mensal menos evapotranspiração mensal de outubro.

(4)  $x_4$  = índice de mudanças tecnológicas de 1956 a 1979 (1 a 24)

$x_2$  = diferença entre o valor mensal da temperatura média das máximas em fevereiro e seu valor normal

$x_3$  = valor absoluto da diferença entre a temperatura média de novembro e seu valor normal

$x_4$  = valor absoluto da diferença entre a precipitação de dezembro e seu valor normal

(5)  $x_1$  = número estimado de horas com umidade relativa acima de 95%

$x_2$  = índice de danos por geadas

$x_3$  = índice de danos por calor excessivo

(6)  $x_1$  = índice de tensão hídrica

$x_2$  = índice de mudanças tecnológicas no período 1942 a 1978 (1 a 6)

(7)  $x_1$  = índice de tensão hídrica

$x_2$  = índice de mudanças tecnológicas no período 1952 a 1978 (1 a 7)

(8) Rio Grande do Sul, Santa Catarina, Paraná, São Paulo e Mato Grosso do Sul.

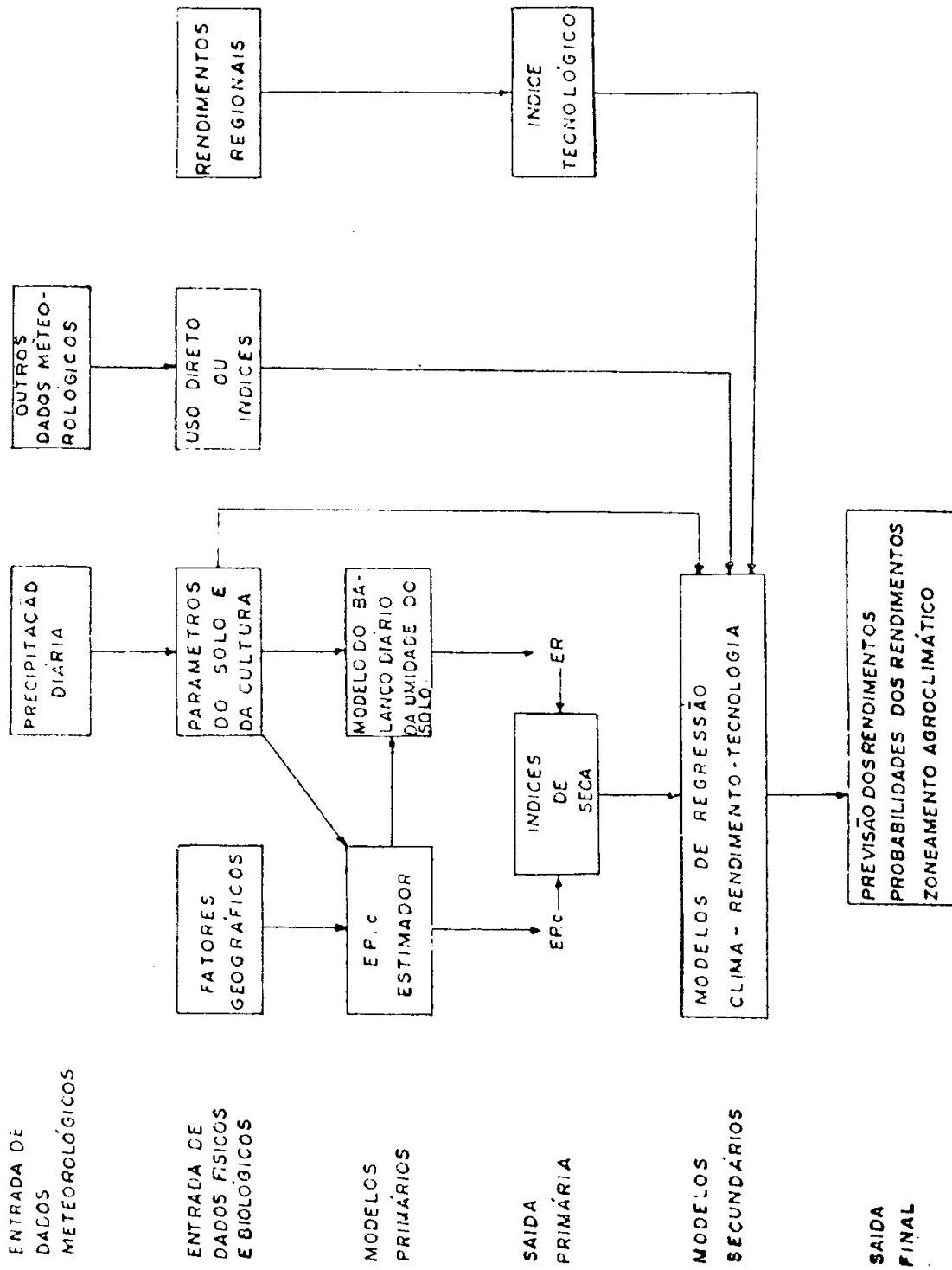


FIGURA 2. Entradas e saídas de um modelo clima-rendimento-tecnologia. Reproduzido de MOTA e ROSSKOFF (1982).



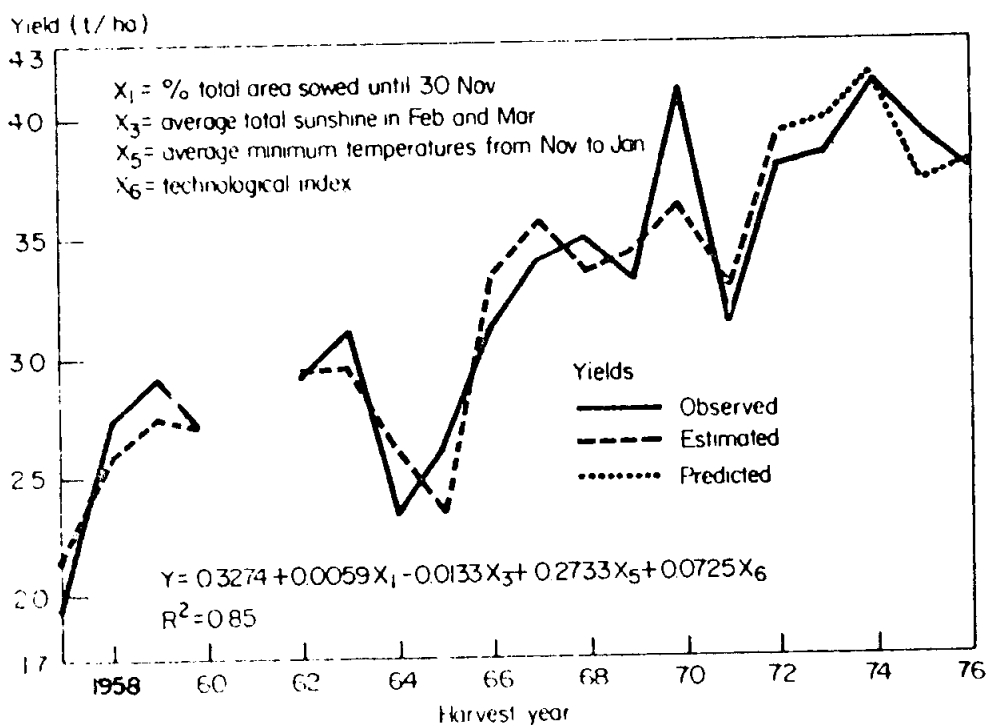


FIGURA 3. Comparação dos rendimentos observados e previstos do arroz irrigado no município de Pelotas, RS. Reproduzido de MOTA e SILVA (1980).

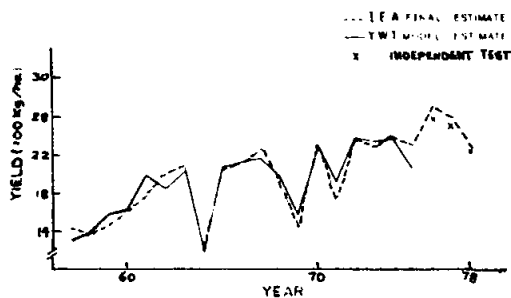


FIGURA 4. Comparação dos rendimentos observados e previstos do milho na DIRA de Ribeirão Preto, SP. Reproduzido de CHEN (1980).

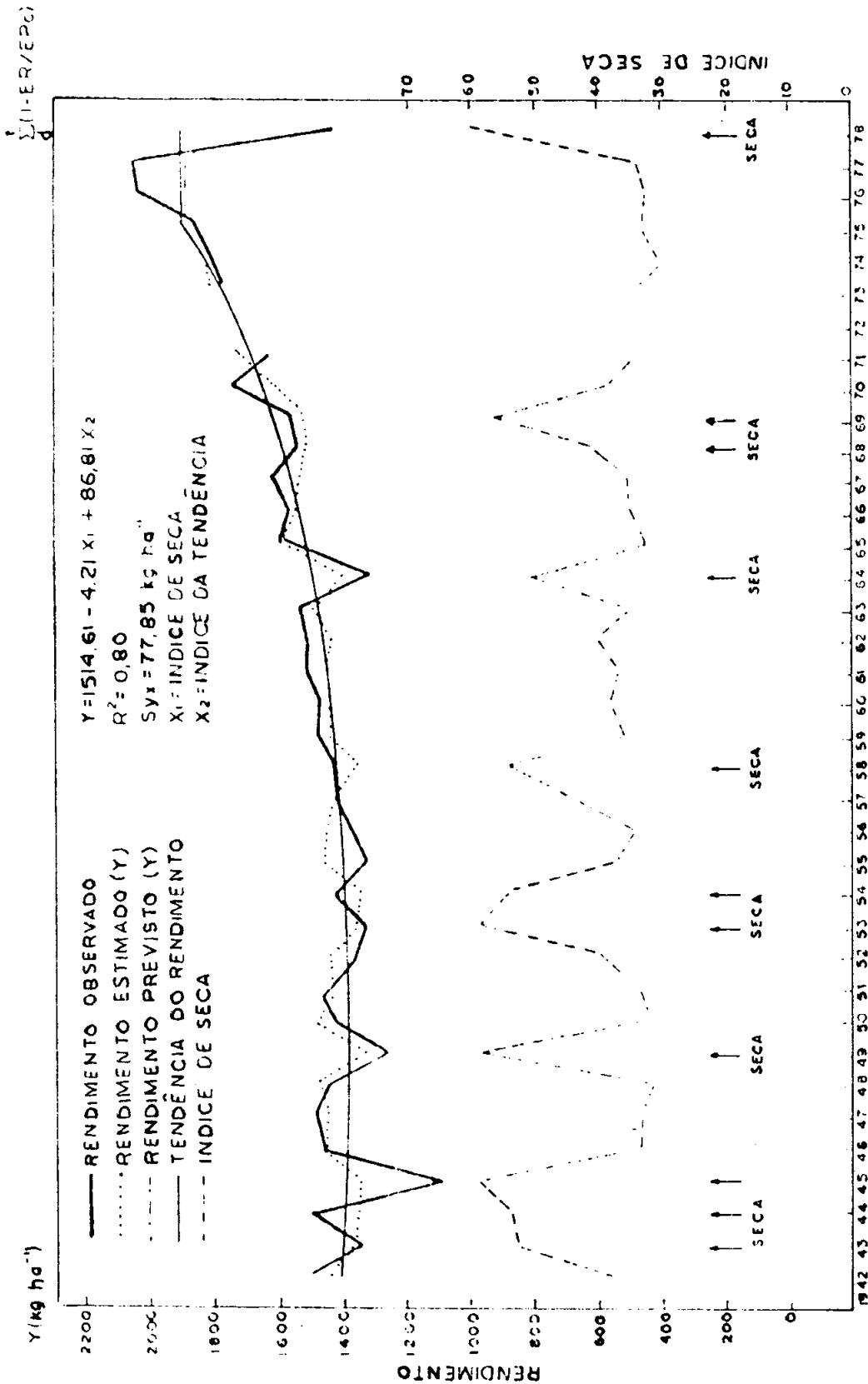


FIGURA 5. Comparação entre os rendimentos observados e previstos do milho no Sul do Brasil. Reproduzido de MOTA e ROSSKOFF (1982).

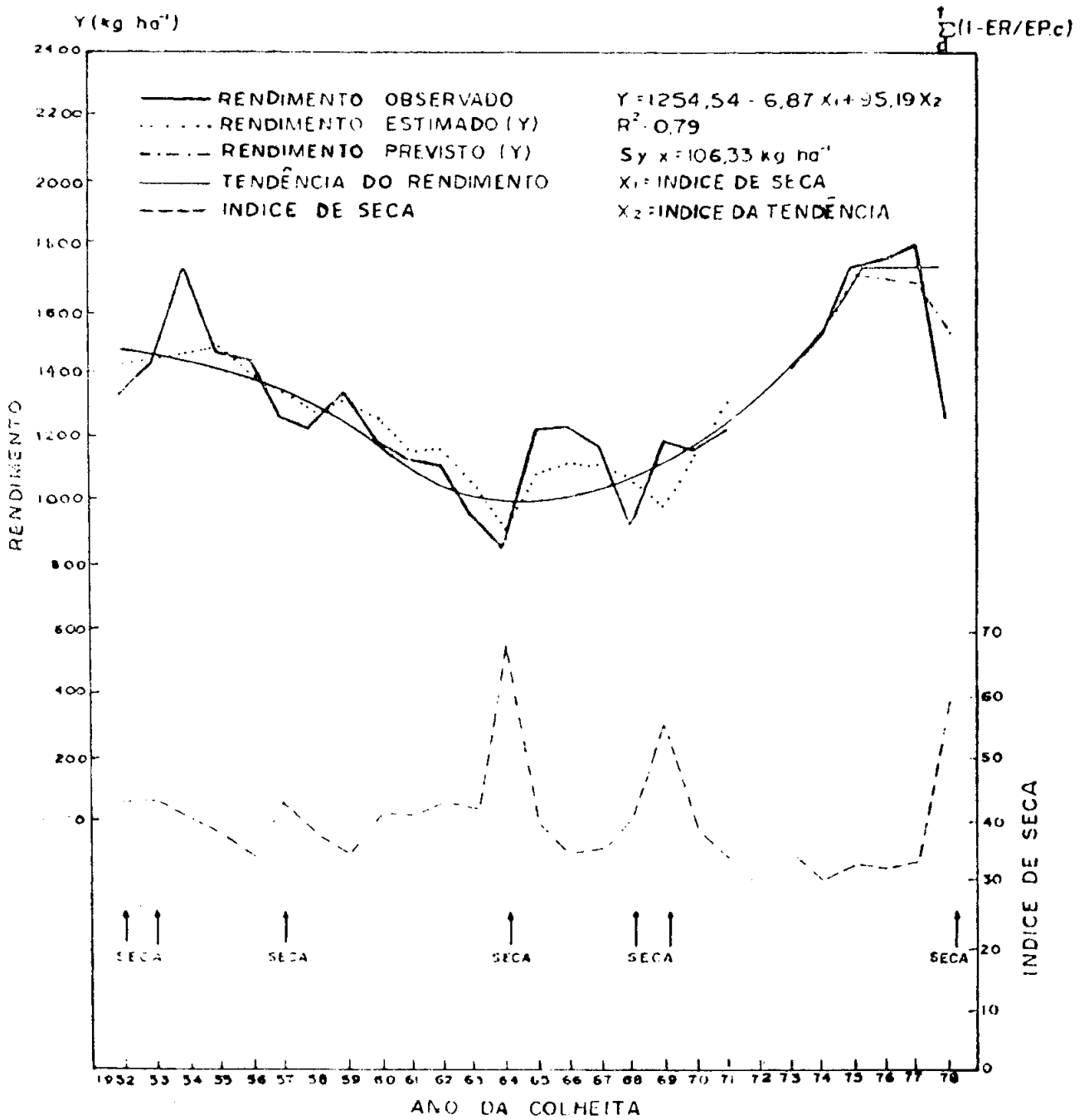


FIGURA 6. Comparação entre os rendimentos observados e previstos da soja no Sul do Brasil. Reproduzido de MOTA e ROSSKOFF (1982).

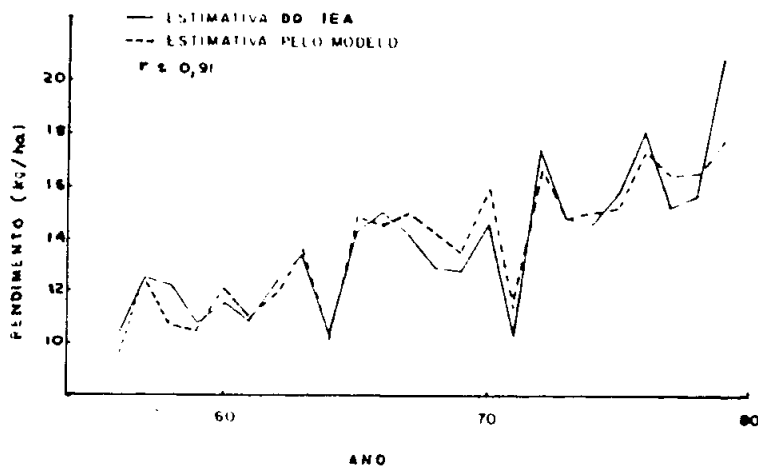


FIGURA 7. Comparação entre os rendimentos observados e estimados de soja na DIRA de Ribeirão Preto, SP. Reproduzido de CHEN (1981).

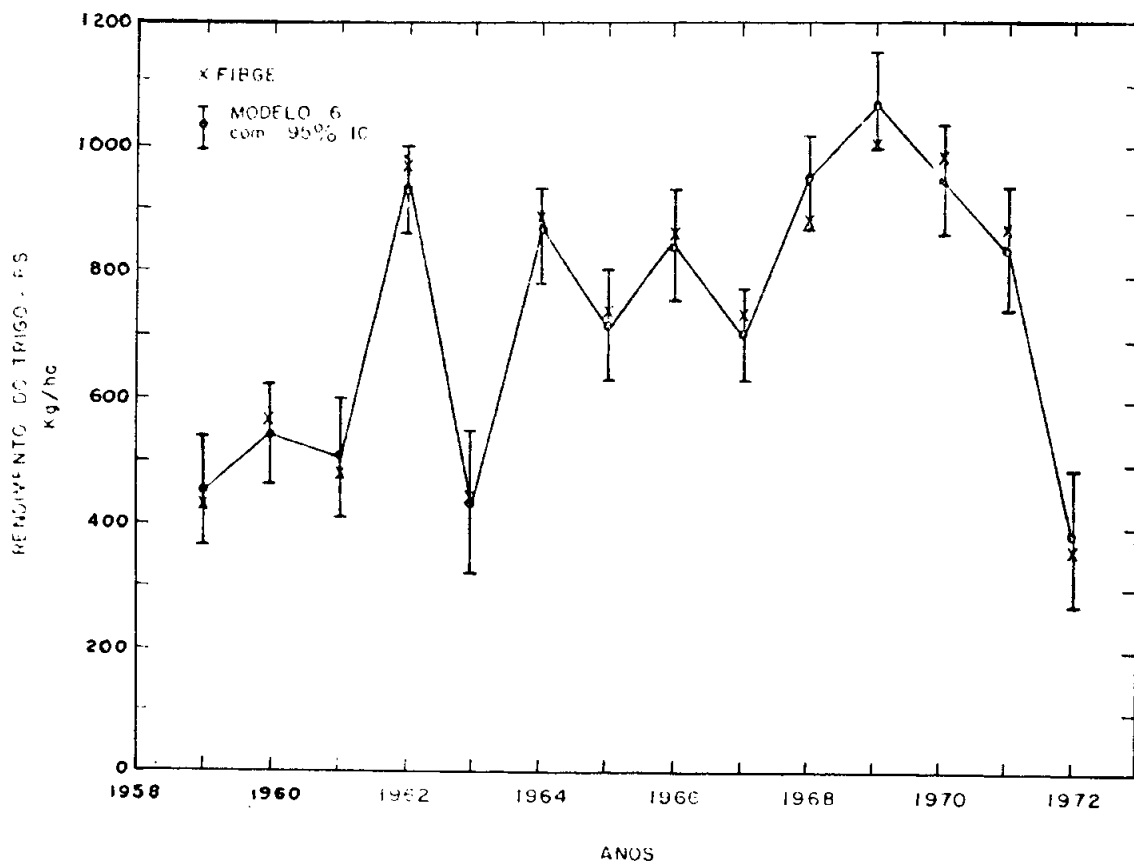


FIGURA 8. Comparação entre os rendimentos observados e previstos do trigo no Rio Grande do Sul. Reproduzido de LIU e LIU (1981).

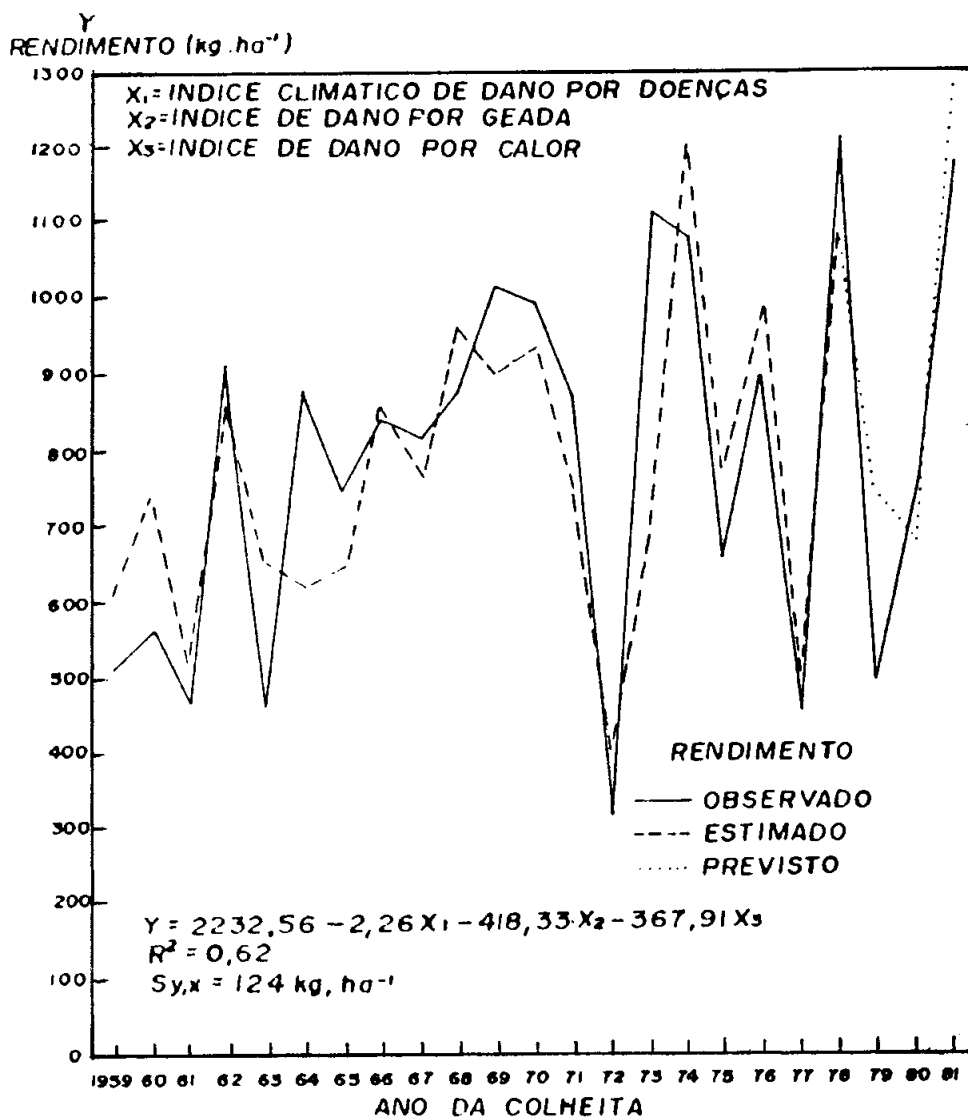


FIGURA 9. Comparação entre os rendimentos observados e previstos do trigo no Rio Grande do Sul. Reproduzido de MOTA (1982).

TABELA 2. Probabilidades de secas e rendimentos da soja e do milho no Sul do Brasil.  
Reproduzido de Mota e Rosskoff (1982).

Valor	Índice de seca		Rendimento do milho		Rendimento da soja	
	Probabilidade acumulada %	kg.ha <sup>-1</sup>	Probabilidade acumulada %	kg.ha <sup>-1</sup>	Probabilidade acumulada %	kg.ha <sup>-1</sup>
< 36	46	> 1883	46	> 1674	46	> 1674
< 50	70	> 1824	70	> 1577	70	> 1577
< 64	97	> 1766	97	> 1481	97	> 1481

- cidade Brasileira de Agrometeorologia, II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Pelotas. 282p.
- CELASCHI, W. & ALMEIDA, F.C. 1982. Previsão de safras - um modelo de produtividade que utiliza dados meteorológicos diários. Resumo II Congresso Brasileiro de Meteorologia, Pelotas. 146p.
- CHEN, S.C. 1981. Estimativas de rendimento de soja, baseados na tendência tecnológica e nas variáveis climáticas. Anais da Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, II Congresso Brasileiro de Agrometeorologia. Pelotas. 289p.
- CHEN, S.C. & FONSECA, L.B. 1980. Corn yield model for Ribeirão Preto, São Paulo State, Brazil. Agric. Meteorol., 23:34+349.
- LIU, W.T.H. & LIU, B.W.Y. 1981. Um modelo de previsão de safra de trigo no Rio Grande do Sul. Ciência e Cultura, São Paulo 33(2):257-264.
- LIU, W.T.H. & STEINMETZ, S. 1982. Índice versátil para avaliar risco agrícola em cultura de sequeiro. Resumos, II Congresso Brasileiro de Meteorologia. Pelotas. 146p.
- MOTA, F.S. da & SILVA, J.B. 1980. A weather-technology model for rice in Southern Brazil. Proceedings of a Symposium on the Agrometeorology of the rice crop. WMO and IRRI, Manila, 254p.
- MOTA, F.S. da. 1982. Clima e zoneamento para a triticultura no Brasil. Trigo no Brasil, vol. 1, Fundação Cargill. Campinas 287p.
- MOTA, F.S. da & ROSSKOFF, J.L. da C. 1982. Estratégias e tecnologias para minimizar os efeitos das secas sobre a produção de alimentos no Sul do Brasil. Estação Agroclimatológica, Universidade Federal de Pelotas, Boletim técnico nº 5, Pelotas. 27p.
- MOTA, F.S. da. 1983. Weather-technology models for corn and soybeans in the south of Brazil. Agric. Meteorology., 28:49-64.
- REIS, M.R.; NEVES, J.R.B. & ROCHA, J. 1972. Variações climáticas e flutuações da oferta agrícola no Centro-Sul do Brasil. Instituto de Planejamento Econômico e Social, Brasília, 419p.