

COMPARAÇÃO DE MODELO SIMPLES E COMPOSTO DE PREVISÃO DE SAFRA DE SOJA NO ESTADO DE MINAS GERAIS*

William Tse Horng Liu**

Beverly Wen Yuh Liu**

RESUMO

Dois modelos de previsão de safra de soja no Estado de Minas Gerais foram desenvolvidos e comparados. Primeiro o modelo simples foi construído baseado nos dados meteorológicos das três estações (Paracatu, Furnas e Uberaba) e o modelo composto integrado de três modelos das microrregiões; chapadões do Paracatu, Mata da Corda e Uberaba.

No desenvolvimento dos modelos, os dados mensais de temperatura máxima e mínima, umidade relativa, precipitação, evapotranspiração potencial, déficit e excesso hídrico e interações dos parâmetros climáticos das três estações foram utilizados.

Os resultados mostraram que ambos modelos funcionaram bem nas previsões de produtividade de soja no período 1972 a 1986. O modelo simples teve erro médio de 5,9% e o modelo integrado de 6,9%.

Na aplicação do modelo simples, os baixos valores excepcionais de temperatura mínima, umidade relativa e precipitação no mês de janeiro devem ser aplicados cuidadosamente para evitar o erro exagerado. No entanto, os pesos do modelo composto devem ser aplicados adequadamente se tiver grande alteração das áreas plantadas nas diferentes regiões do Estado.

* Contribuição do Projeto Previsão de Safra Agrícola no Estado de Minas Gerais, financiado pela FINEP, convênio com o CETEC.

** Agrometeorologistas, Ph.D., CETEC, Caixa Postal 2306, Belo Horizonte, MG

INTRODUÇÃO

O Brasil junto com os países tais como Estados Unidos, China e Argentina são os principais produtores da cultura de soja no mundo. As exportações brasileiras de soja e seus derivados ocupam um peso substancial na economia brasileira. Uma boa safra pode afetar o preço da soja no mercado internacional. Uma previsão confiável da produção de soja é importante no planejamento global da economia brasileira bem como na avaliação dos preços no mercado internacional.

Empregando-se as tecnologias de computação, os cientistas tentaram desenvolver vários tipos de modelo de previsão de safra agrícola para diversos países e regiões. Nos Estados Unidos, por exemplo, as previsões de safras para as culturas de soja, milho, trigo e arroz foram integradas no plano econômico mundial da produção de grão. Sendo a produção agrícola um setor importante na economia brasileira é necessário desenvolver os modelos adequados que possam melhorar a previsão da safra agrícola e melhorar indiretamente a previsão do comportamento da economia do setor agrícola no país.

Este trabalho é a continuação do esforço que tenciona melhorar os modelos de previsão de safra agrícola. A previsão da safra de soja do Estado de Minas Gerais foi feita pela integração dos três modelos de microrregiões produtoras. Os resultados foram comparados com o modelo simples do Estado em trabalho anterior.

METODOLOGIA

Os dados da área colhida, produção e produtividade de soja nas microrregiões (chapadões do Paracatu, Mata da Corda e Uberaba) macrorregiões correspondentes (Noroeste Mineiro, Centro-Oeste Mineiro e Triângulo Mineiro) e o total do Estado de Minas Gerais dos anos de 1972 a 1986, fornecidos pelas publicações do IBGE foram utilizados.

Os dados mensais de precipitação, temperatura máxima e mínima e umidade relativa do mesmo período das três estações meteorológicas (Paracatu, Patos de Minas e Uberaba) foram fornecidos pelo INEMET. Os dados de evapotranspiração potencial foram estimados pelo método de Hargreaves. Os dados de excesso e déficit hídrico foram estimados pelo balanço hídrico que calculou as percentagens de uso d'água real comparando-se com o uso máximo da cultura em cada mês durante o ciclo fenológico da cultura. No caso de falta de dados climatológicos na região, foram completados pelas interpretações dos dados em estações vizinhas.

As variáveis independentes são os parâmetros climáticos e interações deles. De acordo com os fenômenos físicos mais importantes para produção da cultura de soja, os parâmetros mais significativos, selecionados pelo processo da regressão simples, foram agrupados nos vários modelos a serem desenvolvidos. O parâmetro de tendência tecnológica que representa mudanças das tecnologias foi incluído na seleção dos modelos alternativos. Os dados do ano 1972 a 1983 foram utilizados para construção dos modelos. Os dados de 1984 a 1986 foram utilizados para avaliação. Os critérios de regressão multivariáveis, para selecionar os modelos adequados, são

definidos pelos próprios objetivos do modelo, ou seja, confiabilidade (precisão), prazo adequado, simplicidade e consistência com as informações científicas. Os testes de "Jackknife" foram aplicados para avaliar a sensibilidade do modelo.

O modelo simples de previsão de soja para o Estado de Minas Gerais foi desenvolvido pelos dados climatológicos das três estações meteorológicas (Paracatu, Patos de Minas e Uberaba). O modelo composto foi desenvolvido pela integração dos três modelos de microrregião: dos Chapadões do Paracatu, Mata da Corda e Uberaba. A precisão de previsão e as vantagens foram comparadas para estes dois tipos de modelos.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através do teste de sensibilidade pelo processo de "jackknife" e da comparação dos erros de previsão, os modelos finais para o Estado e as microrregiões são apresentados no seguinte:

● Modelo simples

$$\hat{Y}_{sl} = 3116,075 + 25,737TRENDR + 0,4EH1 - 207,748TN1 - 15,043DH3 \\ - 0,816UN3 + 56,068TX3 + 1,545EH4 + 1,87UN4 - 6,398DH5 \\ - 1,608EH5 - 44,053TX5$$

onde: \hat{Y}_{sl} = produtividade prevista (kg/ha)

TREND = tendência tecnológica que é o valor do ano n menos 1971

EH1, EH4 e EH5 = excesso hídrico de outubro (ano anterior), janeiro e fevereiro respectivamente.

DH3 e DH5 = déficit hídrico de dezembro (ano anterior) e fevereiro respectivamente

TN1 = temperatura mínima de outubro (ano anterior)

UN3 = interação de umidade relativa e temperatura mínima de dezembro (ano anterior)

TX3 e TX5 = temperatura máxima de dezembro (ano anterior) e fevereiro respectivamente

UN4 e UN5 = interação de umidade relativa e temperatura mínima de janeiro e fevereiro respectivamente

O modelo \hat{Y}_{sl} teve o valor de R^2 de 0,9254 com todos os parâmetros com o nível de significância menor que 0,01 exceto o parâmetro TX5 com o valor menor que 0,1.

A comparação das produtividades previstas pelo modelo \hat{Y}_{sl} com as indicadas pelo IBGE resultou que o erro médio de 2,9% nos anos de 1972 a 1983. O erro médio do teste do processo de "jackknife" foi 6,8% que significa o modelo é estável (Tabela 1).

As produtividades previstas pelo \hat{Y}_{sl} foram 1.008,6kg/ha, 2.413,7kg/ha e 1.811,8kg/ha para 1984, 1985 e 1986, respectivamente. Comparando-se estes resultados com os do IBGE (1.669kg/ha, 1.975kg/ha e 1.812kg/ha para 1984, 1985 e 1986, respectivamente), verificou-se que o erro de previsão pelo modelo \hat{Y}_{sl} foi de 39,5%, 13,8% e 0% para 1984, 1985 e 1986, respectivamente. A produtividade da soja no ano de 1986 foi indicada pelo IBGE como tendo um

Revista | 84 1008 kg/ha | 85 2413 " | 86 1811 " | observadas | 84 1669 | 85 1975 | 86 1812 | 39,100 | 13,500 | 8,000

valor quase igual ao previsto (1.812 contra 1.811,8kg/ha). A previsão de menos que 15% para 1985 foi considerada aceitável. O erro foi aparentemente elevado para 1984.

Tabela 1 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo Ysl e pelo processo de "Jackknife" com indicada pelo IBGE para a cultura de soja das safras de 1972 a 1983.

Ano	Ysl		"Jackknife"		
	IBGE kg/ha	kg/ha	%erro*	kg/ha	%erro*
1972	996	1017	2,1	1048	5,8
1973	1592	1503	5,6	1368	14,0
1974	1200	1201	0,1	1191	0,8
1975	1152	1116	3,1	1077	6,5
1976	1324	1322	0,1	1271	4,1
1977	1057	1106	4,7	1168	10,5
1978	1222	1318	7,8	1421	16,4
1979	1644	1699	3,4	1724	0,9
1980	1783	1731	2,9	1629	8,6
1981	1473	1448	1,7	1428	3,1
1982	1702	1719	1,0	1737	2,1
1983	1852	1813	2,1	1758	5,1
Média	1418	1418	2,9	1406	6,8

* Os erros são os valores absolutos

Examinando os valores dos parâmetros incluídos no modelo Ysl, verificou-se que realmente as condições climatológicas do ano de 1984 foram desfavoráveis à produção da soja. A precipitação total nos meses de janeiro e fevereiro foi de 131mm e 91mm, respectivamente. O mês de janeiro não apresentou excesso hídrico que não aumentou portanto o valor de EH4. Por outro lado o alto déficit hídrico em fevereiro, aumentou o valor negativo de DH5. Além disso, a combinação dos baixos valores de temperatura mínima e umidade relativa no mês de janeiro forneceu um valor de UN4 abaixo do normal. O controle de pragas no período seco dos meses de janeiro e fevereiro aumentou portanto a produtividade, podendo ser esta uma explicação provável para o erro de previsão observado.

• Modelo para a microrregião dos Chapadões do Paracatu

$$\hat{Y}_m2 = 814,393 + 87,520TRENDA + 4,042EH4 - 0,118PN4 - 87,539DTX6$$

onde: \hat{Y}_m2 = produtividade prevista, (kg/ha)

TRENDA = tendência tecnológica (ano previsto menos 1973)

EH4 = excesso hídrico de janeiro

PN4 = interação de precipitação e temperatura mínima de janeiro

DTX4 = desvio do valor normal de temperatura máxima de março.

O modelo \hat{Y}_m2 tem o valor de R^2 de 0,963 e os níveis de significância menor que 0,01, exceto o parâmetro DTX6 com o nível menor que 0,1. O erro médio de previsão foi de 4,5% e o erro médio do processo de "Jackknife" foi de 9,5% (Tabela 2). As produtividades previstas pelo \hat{Y}_m2 foram 1.508,9kg/ha, 2.238kg/ha e 1.548,6kg/ha para 1984, 1985 e 1986, respectivamente. Comparando-se estes resultados com os do IBGE (1.331,0kg/ha para 1984 e 2.156kg/ha para 1985) os erros de previsão foram de 13% e 3,8% para 1984 e 1985, respectivamente. O modelo \hat{Y}_m2 foi considerado adequado para a microrregião dos Chapadões do Paracatu.

Tabela 2 - Comparação da produtividade prevista pelo \hat{Y}_m2 e pelo processo de "jackknife" com indicada pelo IBGE para a cultura de soja das safras de 1974 a 1983 para a microrregião dos Chapadões do Paracatu - MG

Ano	IBGE kg/ha	\hat{Y}_m2		"Jackknife"	
		kg/ha	%erro*	kg/ha	%erro*
1974	921	902	2,0	858	6,8
1975	768	719	6,4	692	9,9
1976	1098	1157	5,3	1238	12,7
1977	721	775	7,5	838	16,3
1978	1036	1019	1,6	1008	2,7
1979	1628	1729	6,2	1936	18,9
1980	1835	1640	10,6	1553	15,3
1981	1278	1288	0,8	1294	1,2
1982	1625	1696	4,3	1774	9,1
1983	1836	1871	0,8	1851	1,8
Média	1280	1280	4,5	1304	9,5

* Os erros são os valores absolutos

• Modelo para a microrregião de Mata da Corda

$$\hat{Y}_m8 = 6619,387 - 146,634TN2 + 3,113EH4 + 3,781UX4 - 12,751DH5 - 575,303TN5$$

Onde: \hat{Y}_m8 = produtividade prevista (kg/ha)

TN2 = temperatura mínima de novembro (ano anterior)

UX4 = interação de umidade relativa e temperatura máxima de janeiro

DH5 = déficit hídrico de fevereiro

TN5 = temperatura mínima de fevereiro

O modelo \hat{Y}_m8 tem o valor de R^2 de 0,979 e os níveis de significância menor que 0,001, exceto TN2 com o nível menor que 0,1. O valor de erro de previsão variou de 0,4% a 6,1% com uma média de 3,5%; o valor de erro do processo de "jackknife" variou de 1% a 19,7% com uma média de 7,9% (Tabela 3).

Os resultados de previsão foram 1.332,1kg/ha, 2.554,2kg/ha e 2.341,9kg/ha para as safras de 1984, 1985 e 1986, respectivamente.

te. Comparando-se estes dados com os do IBGE (1.581kg/ha e 2.378kg/ha para 1984 e 1985, respectivamente), observamos os erros de previsão de 15,7% e 6,1% para 1984 e 1985, respectivamente.

O modelo em geral funcionou bem nas previsões para a microrregião de Mata da Corda.

Tabela 3 - Comparação da produtividade prevista pelo \hat{Y}_{m8} e pelo processo de "jackknife" com a indicada pelo IBGE para a cultura de soja das safras de 1972 a 1983 para a microrregião de Mata da Corda, MG.

Ano	IBGE kg/ha	\hat{Y}_{m8}		"jackknife"	
		kg/ha	%erro*	kg/ha	%erro*
1972	1500	1505	0,4	1518	1,2
1973	1654	1579	4,5	1428	13,7
1974	1057	1121	6,1	1174	11,0
1975	1052	1116	6,1	1259	19,7
1976	1077	1096	1,8	1112	3,2
1977	1166	1150	1,3	1129	3,1
1978	1428	1341	6,1	1219	14,7
1979	2087	2137	2,4	2158	3,4
1980	2422	2363	2,4	2267	6,4
1981	1957	1878	4,1	1844	5,7
1982	1615	1602	0,8	1599	1,0
1983	2119	2245	6,0	2360	11,4
Média	1594	1594	3,5	1589	7,9

* Os erros são os valores absolutos

• Modelo para a microrregião de Uberaba

$$\hat{Y}_{m12} = 4797,445 + 51,748\text{TREND} + 3,564\text{EH3} - 4,03\text{UN3} - 26,519\text{DH4} + 119,621\text{TN7}$$

Onde: \hat{Y}_{m12} = produtividade prevista (kg/ha)

TREND= tendência tecnológica (ano previsto menos 1971)

EH3 = excesso hídrico de dezembro (ano anterior)

UN3 = interação de umidade relativa e temperatura mínima de dezembro (ano anterior)

DH4 = déficit hídrico de janeiro

TN7 = temperatura mínima de abril.

O modelo \hat{Y}_{m12} tem o valor de R^2 de 0,924 e os parâmetros têm o nível de significância menor que 0,01, exceto EH3 (menor que 0,1). O erro médio de previsão foi 5,2% que variou de 0,5% a 11,8%. O erro médio do teste do processo de "jackknife" foi 7,1% que variou de 0,2% a 20,1%. A Tabela 4 mostra os resultados de previsão e o teste de "jackknife" pelo modelo \hat{Y}_{m12} .

Os resultados de previsão foram 1.761,8kg/ha, 1.950,8kg/ha,

e 2.107,4kg/ha para as safras de 1984, 1985 e 1986, respectivamente. Comparando-se os dados do IBGE de 1.993kg/ha e 1.989kg/ha para as safras de 1984 e 1985, os erros de previsão foram 11,6%, para 1984 e 1,9% para 1985. Consideramos portanto, o modelo \hat{Y}_{m2} adequado para esta microrregião.

Tabela 4 - Comparação da produtividade prevista pelo \hat{Y}_{m2} e pelo processo de "jackknife" com a indicada pelo IBGE para a cultura de soja das safras de 1972 a 1983 para a microrregião de Uberaba, MG

Ano	IBGE		\hat{Y}_{m2}		"jackknife"	
	kg/ha	kg/ha	%erro*	kg/ha	%erro*	
1972	993	920	7,1	995	0,2	
1973	1580	1554	1,6	1576	2,3	
1974	1356	1368	0,9	1182	12,9	
1975	973	1073	10,4	1094	12,4	
1976	1281	1245	2,8	1128	12,0	
1977	1303	1340	7,1	1358	5,0	
1978	1067	1191	11,6	1281	20,1	
1979	1565	1529	2,3	1693	8,2	
1980	1612	1422	11,8	1616	0,3	
1981	1598	1558	2,5	1508	5,6	
1982	1899	1910	0,5	1781	6,2	
1983	1887	1947	3,2	1891	0,2	
Média	1426	1426	5,2	1426	7,1	

* Os erros são os valores absolutos

● Modelo Composto

Os três modelos microrregionais (\hat{Y}_{m2} , \hat{Y}_{m8} e \hat{Y}_{m12}) foram utilizados para construir o segundo modelo estadual chamado o modelo composto. O peso de cada modelo microrregional foi incorporado na previsão do Estado. Os pesos foram determinados pelas porcentagens médias da área colhida das macrorregiões que correspondem as microrregiões envolvidas. A Tabela 5 mostra os dados e as porcentagens da área colhida das macrorregiões do Estado e os valores médios dos últimos 5 anos (1982 a 1986).

Os valores de 0,65; 0,15 e 0,20, que correspondem as porcentagens da área colhida das macrorregiões do Triângulo Mineiro, Centro-Oeste Mineiro e Noroeste Mineiro foram utilizados como pesos dos modelos microrregionais de Uberaba, Mata da Corda e Chapadões do Paracatu, respectivamente.

De acordo com os dados das áreas colhidas fora destas 3 macrorregiões estudadas, indicadas na Tabela 5, soube-se que o peso com o valor de 1,8% destas regiões pode ser considerado como negligível. Por outro lado, a recente expansão da área da produção de soja na região noroeste mineira, indica a tendência do aumento da porcentagem da área plantada desta região. Portanto, o peso de 0,20 que é ligeiramente maior que o valor estimado (0,18) e que foi utilizado para o modelo \hat{Y}_{m2} foi considerado adequado.

Tabela 5 - Os dados e as Percentagens de área colhida da cultura de soja nas macrorregiões do Estado de Minas Gerais (Fonte: IBGE)

Ano	Minas Gerais		Triângulo Mineiro		Centro-Oeste Mineiro		Noroeste Mineiro		Restantes	
	área (ha)	%	área (ha)	%	área (ha)	%	área (ha)	%	área (ha)	%
1982	239097	63,4	151729	63,4	37399	15,6	45897	15,0	14072	5,9
1983	257526	66,2	170616	66,2	44484	17,3	39351	15,4	2891	1,1
1984	332238	66,2	220114	66,2	46568	14,0	62682	19,2	1874	0,6
1985	446848	65,6	293115	65,6	60317	13,5	90199	20,2	3317	0,7
1986	438762	65,2	285983	65,2	58133	13,2	92060	21,0	2586	0,6
Média	342893	65,3	224311	65,3	49360	14,4	64274	18,2	4948	1,8

Baseado nos valores dos pesos para os modelos \hat{Y}_m2 ; \hat{Y}_m8 e \hat{Y}_m12 , formulou-se modelo \hat{Y}_s2 a seguir apresentado:

$$\hat{Y}_s2 = 0,2\hat{Y}_m2 + 0,15\hat{Y}_m3 + 0,65\hat{Y}_m12$$

onde: \hat{Y}_s2 = produtividade prevista pelo modelo microrregional integrado (kg/ha)

\hat{Y}_m2 , \hat{Y}_m8 e \hat{Y}_m12 são os modelos microrregionais de Chapa - dões do Paracatu, Mata da Corda e Uberaba, respectivamente.

Os coeficientes 0,2; 0,15; e 0,65 são os pesos para modelo \hat{Y}_m2 ; \hat{Y}_m8 e \hat{Y}_m12 , respectivamente.

Devido as produções de soja nas regiões de Paracatu e Patos de Minas terem sido insignificantes nos anos anteriores à 1974 a região do Triângulo Mineiro ocupou a maioria da produção de soja no Estado. Portanto, as previsões da produtividade nos anos 1972 e 1973 foram feitas com o modelo de microrregião de Uberaba \hat{Y}_m12 , que não considerou os pesos dos outros modelos. Os resultados mostraram que o erro de previsão variou de 1% a 16,7% com uma média de 7% dos anos de 1972 a 1983. Este indicou que o modelo composto foi aceitável.

Tabela 6 - Comparação da produtividade prevista pelo modelo \hat{Y}_s1 e \hat{Y}_s2 com indicada pelo IBGE da cultura de soja das safras de 1972 a 1986 para o Estado de Minas Gerais.

Ano	IBGE kg/ha	\hat{Y}_s1		\hat{Y}_s2	
		kg/ha	%erro*	kg/ha	%erro*
1972	996	1017	2,1	920	7,6
1973	1592	1503	5,6	1554	2,4
1974	1200	1201	0,1	1238	3,1
1975	1152	1116	3,1	1009	12,4
1976	1324	1322	0,1	1205	9,0
1977	1057	1106	4,7	1234	16,7
1978	1222	1318	7,8	1179	3,5
1979	1644	1699	3,4	1660	1,0
1980	1783	1731	2,9	1607	9,9
1981	1473	1448	1,7	1552	5,4
1982	1702	1719	1,0	1821	7,0
1983	1852	1813	2,1	1977	6,7
1984	1669	1009	39,5	1646	1,4
1985	1975	2413	13,8	2094	6,0
1986	1812	1812	0,	2031	12,1
Média	1498	1483	5,9	1515	6,9

* Os erros são os valores absolutos comparando-se com os dados do IBGE.

• Comparação do modelo simples e composto

A Figura 1 mostra os resultados das previsões de produtivi-

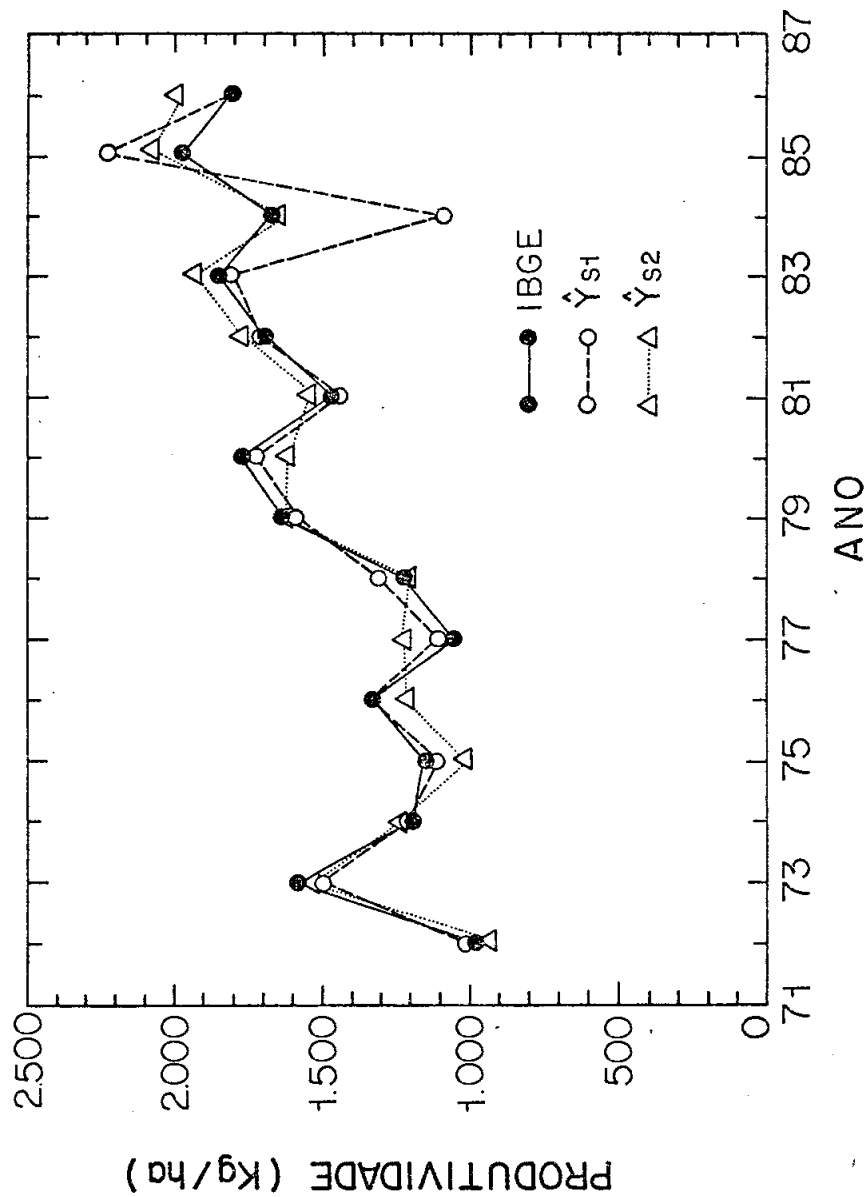


FIG. 1 - Comparação das produtividades de soja de modelo \hat{Y}_{s1} e \hat{Y}_{s2} com os dados do IBGE, MG.

dade pelos modelos \hat{Y}_{s1} e \hat{Y}_{s2} para as safras dos anos 1972 a 1986. O valor médio do erro da previsão foi 5,9% e 6,9% para modelo \hat{Y}_{s1} e \hat{Y}_{s2} , respectivamente (tabela 6).

É considerável que o erro médio do modelo \hat{Y}_{s2} ligeiramente, mais alto que \hat{Y}_{s1} contados os pesos dos 3 modelos microrregionais foram obtidos com os valores médios que na realidade mudaram de um ano para outro especialmente na década de 1970, enquanto iniciava-se a plantação de soja nas regiões do Noroeste e Centro - Oeste mineiros.

O modelo \hat{Y}_{s2} mostrou melhores previsões nos anos 1984 e 1985, e, o modelo \hat{Y}_{s1} foi o melhor indicado para o ano 1986.

Em geral o modelo simples teve a tendência de previsão da produtividade mais alta que a fornecida pelo IBGE nos anos com as condições climáticas extremas, mas funcionou muito bem nos anos normais; pelo contrário, o modelo composto teve a tendência de prever bem nos anos com clima excepcional e funcionou razoavelmente nos anos normais. Embora o modelo composto tenha funcionado melhor nas previsões de todos os anos, apresenta os erros levemente mais altos.

CONCLUSÃO

Ambos modelos simples e composto desenvolvidos para previsão da produtividade de soja no Estado de Minas Gerais foram considerados adequados. Na aplicação do modelo simples, os valores baixos de temperatura mínima, umidade relativa e precipitação, no mês de janeiro devem ser aplicados com cuidado para evitar a tendência de baixar a previsão. A precisão da previsão pelo modelo composto pode ser melhorada se utilizar os pesos atuais nas aplicações das previsões dos três modelos microrregionais se a contecer a alteração drástica da área plantada nas macrorregiões consideradas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

01. BAIER, W. 1973. Crop-weather analysis model: review and model development, J. Applied. Meteorol. 12:937-947.
02. DA MOTA, F.S. 1983. Weather technology models for corn and soybeans in the south of Brazil, Agri. Meteorol. 28:49-64.
03. HANKS, R.J. 1974. Model for predicting plant yields as influenced by water use. Agron. J. 65:660-665.
04. HARGREAVES, G.H. 1974. Precipitation dependability and potential for agricultural production in Northeast Brazil. EMBRAPA and Utah State Univ. 123p.
05. 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. 33: 257-264.
06. ————. 1986. Um modelo de previsão da produtividade de soja no Estado de Minas Gerais. IV Congr. Bras. de Meteorologia. Anais 1, 38-47. Brasília, DF.
07. SAKAMOTO, C.M. 1978. The Z-Index as variable for crop yield estimation, Agri. Meteorol. 19:305-313.
08. VAUX, H.J. & PRINTE, W.O. 1985. Crop water production functions. Adv. Irrig. 2:61-97.