

MODELO AGROCLIMÁTICO DE REGRESSÃO LINEAR MÚLTIPLA PARA PREVISÃO DE PRODUTIVIDADE DE CULTURAS DE SEQUEIRO¹

JERÓNIMO GARCÍA V.² e KLAUS REICHARDT³

RESUMO - Foram estabelecidas relações estatísticas entre produtividades anuais (Y) e precipitações mensais (X_i), para as culturas de trigo, cevada e batata. A expressão matemática usada no modelo foi: $\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$, na qual as constantes a, b₁, b₂, b₃ e b₄ foram determinadas mediante regressão linear múltipla. Os modelos estabelecidos permitem fazer a previsão das safras com três meses de antecipação. Os modelos referentes à cultura de trigo foram os melhores, seguidos pelos de cevada, e ficando em último lugar os referentes às culturas de batata.

Termos para indexação: estatística, precipitação mensal, trigo, cevada, batata, previsão de safras.

AGROCLIMATIC MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL FOR UPLAND CROP PRODUCTIVITY FORECAST

ABSTRACT - Linear Multiple-Regression was used to determine a relationship between monthly rainfall X_i and annual crop yield (Y) of wheat, barley and potatoes. The mathematical expression used in the models were expressed as: $\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4$ where the parameters a, b₁, b₂, b₃ and b₄ were found through multiple linear regression. The models allow yield forecast three months before harvest. The wheat models are the best and the barley's are better than those of the potatoes.

Index terms: monthly rainfall, wheat, barley, potatoes, statistics, yield forecast.

INTRODUÇÃO

Na maioria das situações, a produção agrícola é obtida sob regime natural de precipitação pluvial. Desta forma, as safras produzidas sob estas condições estão em estreita relação com este elemento climático e, também, com fatores do solo, doenças e demais elementos climáticos.

O modelo agrometeorológico de previsão de safra aqui apresentado foi aplicado para dados obtidos em regiões da Serra de Ancash, no Peru, para as quais os autores dispunham de uma série muito boa de dados (García Vilca & García Villanueva 1986). O trabalho foi feito para as culturas mais difundidas nas áreas estudadas, sendo elas o trigo, a cevada, o milho, a batata e a ervilha.

As práticas culturais da batata, para a região em questão, ocorrem nos meses de agosto e setembro, e para os casos de trigo, cevada e leguminosas de sequeiro, em dezembro e janeiro. Climaticamente, o ano hidrológico se inicia em agosto e termina em abril.

É óbvia a importância do conhecimento antecipado das safras ou colheitas de uma safra agrícola, so-

bretudo em um país como o Peru, onde importações de produtos agrícolas são feitas para cobrir o déficit da produção nacional. Estudos de previsão permitirão estimar antecipadamente as safras do ano agrícola e possibilitar a estimativa do déficit da produção agrícola da região.

O objetivo do presente trabalho consistiu em buscar relações matemáticas entre o rendimento das culturas de sequeiro de trigo, cevada e batata, com as precipitações pluviométricas mensais, com a finalidade de tais modelos servirem para fazer previsão das safras com três meses de antecipação.

Diversos modelos agroclimáticos ou agrometeorológicos para previsão de produtividade têm sido desenvolvidos em diversas partes do mundo. Assim, Mota (1965), em seu estudo "Clima e Trigo no Sul do Brasil", apresenta, para o estado do Rio Grande do Sul, um modelo de rendimento de trigo em função de elementos climáticos (precipitação e temperatura). Seus dados para o período de 1941 a 1960 mostram rendimentos estimados muito similares aos observados, mas no período 1920 a 1941, os rendimentos estimados diferiram muito dos observados.

Luz (1982), estudando o efeito da precipitação pluvial no rendimento de duas cultivares de trigo no Centro Nacional de Pesquisa de Trigo (CNPT), da EMBRAPA, em Passo Fundo, RS, em casa de vegetação, e com simulação de chuva, mostra que a precipitação pluvial provocou um decréscimo no

¹ Aceito para publicação em 1º de dezembro de 1987.

² Eng. - Met., Prof. - Adjunto, Dep. de Física e Meteorol. da Universidad Nacional Agraria La Molina - Perú; Pós-Graduando do CPG de Agrometeor. da ESALQ/USP.

³ Eng. - Agr., Ph.D., L.D., Titular do DFM/ESALQ-USP, Caixa Postal 9, CEP 13400 Piracicaba, SP.

número de grãos por espiga e no rendimento das culturas de trigo, mesmo na ausência de doenças e de pragas.

Pedro Júnior et al. (1984) utilizaram, para estimativa da produtividade da cultura de soja, um modelo baseado nas evapotranspirações real e potencial, introduzindo um coeficiente de produtividade cujo valor depende da fase de desenvolvimento da cultura. O estudo foi desenvolvido em três localidades: Campinas, Pindamonhangaba e Ribeirão Preto, SP. Os resultados indicam que os valores estimados, comparados aos observados, apresentam um erro médio de 25% para Campinas, 9% para Ribeirão Preto e 8% para Pindamonhangaba.

Brunini et al. (1982) fazem a análise e teste de outro modelo para estimativa da produção agrícola, que é também função da água disponível no solo.

Para o teste do modelo e determinação de seus parâmetros, foram utilizados dados de produção da cultura de soja obtidos também para as regiões de Campinas, Ribeirão Preto e Pindamonhangaba, SP. Os resultados mostraram que o modelo é capaz de estimar satisfatoriamente a produção agrícola e, para tanto, somente é necessário que se conheça a produção potencial média do local.

No Peru, Sanchez (1982) apresenta um estudo de modelos agrometeorológicos para a planificação econômica e desenvolvimento rural do vale de Mantaro. Seus resultados permitem conhecer os rendimentos com 30 dias de antecipação.

Wigley & Quipu (1983), na Austrália, desenvolveram um modelo estatístico de clima-rendimento para a cultura de trigo; como variáveis de previsão, foram usadas a temperatura e a precipitação pluvial. Os resultados indicam a grande participação da precipitação de inverno no modelo.

MATERIAL E MÉTODOS

Dados

Utilizaram-se dados de rendimento das culturas de trigo, cevada e batata, referentes a períodos de cinco a doze anos, cobrindo o período de 1971 a 1984. Também foram utilizados dados mensais de precipitação pluvial, registrados em postos pluviométricos dentro das áreas de previsão.

Região do estudo

A região do estudo no Peru está compreendida entre 2.700 m a 3.300 m de altitude, estando dividida em duas áreas:

1. **Distrito Agropecuário de Sihuas**, entre as latitudes 8°2' a 8°6' sul e longitude 77°5' a 77°8' oeste. Dentro desta área, encontra-se uma subárea chamada "distrito político de Sihuas".

2. **Distrito Agropecuário de Huari**, entre as latitudes 9°0' a 9°7' sul e longitudes 77°2' a 77°8' oeste. Dentro desta, encontra-se outra subárea chamada "distrito político de Chavin".

Neste trabalho são apresentados modelos para os dois distritos agropecuários e os dois distritos políticos; isto, porque os primeiros são mais amplos e englobam os últimos, onde se encontram as estações pluviométricas.

Modelo

No desenvolvimento de modelos, constam três fases: a obtenção do modelo teórico propriamente dito, a fase de ajuste e a fase de operação do modelo. Neste trabalho, é apresentada apenas a primeira fase, ficando as restantes para o futuro.

O modelo agroclimático utilizado no presente caso é definido por uma expressão matemática que relaciona a variável produtividade (Y) com as variáveis climáticas precipitações pluviais (Xi) da forma seguinte:

$$\hat{Y} = a + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4, \quad (1)$$

onde as variáveis independentes (Xi) para o caso de cereais, foram:

- X1 = precipitação de dezembro (D) do ano anterior do período agrícola que começa.
- X2 = precipitação de janeiro (J) do período agrícola em consideração.
- X3 = precipitação de fevereiro (F) do período agrícola.
- X4 = precipitação de março (M) ou soma de dezembro a março (DM).

Para o caso da cultura de batata, as Xi representam precipitações de setembro (S), outubro (O), novembro (N) e dezembro (D) ou soma de setembro a dezembro (SD), respectivamente.

A determinação dos parâmetros a, b1, b2, b3 e b4 da equação adotada foi feita fazendo uso da correlação linear múltipla.

Na equação escolhida, observa-se que não se consideram as precipitações de abril (X5) nem o total do período agrícola (X6); isso, porque se procura um modelo para fazer a previsão das safras com três meses de antecipação.

Como indicadores da precisão dos modelos foram usados dois parâmetros: o coeficiente de determinação (R²) e o erro relativo médio (Er):

$$R^2 = SSR/SST \quad (2)$$

$$Er = \sum_{i=1}^N [(Y_i - \hat{Y}_i) / Y_i] (1/N) \quad (3)$$

- onde: \hat{Y}_i = i-ésimo valor estimado da variável Y
- Y_i = i-ésimo valor observado da variável Y
- $|Y_i - \hat{Y}_i|$ = valor absoluto do desvio do valor estimado
- R² = coeficiente de determinação
- SSR = soma de quadrados da regressão
- SST = soma de quadrados totais

Foi também feita uma homogeneização dos dados, que consiste em dar um tratamento adequado aos dados de valores extremos, ou seja, máximos ou mínimos, isto é, dados com valores que se afastam demasiado do restante da amostra. Existem muitas técnicas estatísticas para homogeneizar os dados e, em nosso caso, a homogeneização foi realizada após o estabelecimento do modelo e só nos casos onde o teste foi não-significativo. Com os dados já homogeneizados, novamente se aplicou o modelo. O processo consistiu da eliminação dos dados que por simples observação mostraram uma separação muito grande dos dados restantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados obtidos para os distritos políticos Chavin e Sihuas, respectivamente.

No distrito de Chavin, de acordo com os valores do erro relativo médio (Er), observa-se que o modelo encontrado para as três culturas é bom, mostrando variações de 3,1%, 3,4% e 1,8% entre valores previstos e observados para as culturas de batata, trigo e cevada, respectivamente. O teste F, porém, indicou uma significância ao nível de 10%, só para a cultura de trigo, e não-significância para batata e cevada. Analisando-se os coeficientes de correlação múltipla, observa-se que para valores de R = 0,996 para cevada, R = 0,987 para trigo e R = 0,933 para batata (tendo em conta o R tabular ao nível de 5% de 0,987), apenas é significativo o da cultura de cevada.

Estes resultados também podem ser observados na forma gráfica, nas Figs. 1 e 2, que indicam como os valores estimados para as culturas de batata (a) e trigo (b) estão muito próximos aos valores observados.

No caso de Sihuas, os resultados que podem ser vistos nas Fig. 3 e 4 são semelhantes aos anteriores, indicando que os modelos para as três culturas têm boa precisão, considerando o erro relativo médio

(Er). Os testes F e R só puderam ser aplicados ao modelo para cultura de batata, e foram não-significativos.

Na Tabela 2 apresentam-se os resultados correspondentes aos distritos agropecuários de Huari e Sihuas, respectivamente.

No caso de Huari, observa-se que o erro relativo médio (Er) para as culturas de batata (10%), trigo (4%) e cevada (9,9%) estão dentro do valor máximo adotado. Por outro lado, os valores dos coeficientes de correlação múltipla de 0,74 para batata, de 0,93 para trigo e de 0,90 para cevada, comparados com o valor tabular ao nível de 5% = 0,93, foram não-significativos para batata e cevada. Da mesma maneira, o teste F foi significativo só para a cultura de trigo. Nas Fig. 5 e 6, tem-se a representação gráfica para as culturas de batata e trigo; no caso de batata, observa-se o grande afastamento dos valores estimados nos anos 80 e 82, ainda com efeitos contrários. O valor alto de Er (10%) é devido à discrepância destes dois valores.

Na Tabela 2 observam-se valores de 4,6, 3,1 e 2,9 dos erros relativos médios (Er) para as culturas de batata, trigo e cevada, respectivamente, e eles indicam a boa precisão dos modelos. Considerando o coeficiente de correlação múltipla de 0,925 para batata, 0,97 para trigo e de 0,933 para cevada, e tendo em conta que o valor tabulado a 5% é 0,93, verifica-se a boa precisão dos modelos para trigo e cevada. Ao contrário, o teste F mostrou-se significativo para batata e trigo, mas não para cevada.

Finalmente, nas Fig. 7 e 8 está a comparação entre os valores observados ou reais da produtividade com os estimados para a cultura de cevada nos distritos agropecuários; os valores estimados no caso de Huari têm menor precisão, porque o valor estimado do ano 80 foi de tendência contrária à do valor observado.

TABELA 1. Resultados para distritos políticos.

| Cult. | a | b1X1 | b2X2 | b3X3 | b4X4 | Er | R ² | Fc | N |
|---------------------------|--------|----------|----------|----------|-----------|------|----------------|-------|---|
| Distrito de Chavin | | | | | | | | | |
| batata | 5872,7 | -8,302 S | 5,045 o | -7,89 N | -6,849 SD | 3,1 | 0,87 | 1,73 | 6 |
| trigo | 593,8 | -4,82 D | 3,893 J | 5,741 F | -0,245 M | 3,4 | 0,95 | 10,5* | 7 |
| cevada | 491,7 | 29,89 D | -19,41 J | -8,499 F | | 1,8 | 0,99 | 35,9 | 5 |
| Distrito de Sihuas | | | | | | | | | |
| batata | 8856,8 | 46,79 S | 15,635 o | -31,71 N | -7,634 SD | 2,9 | 0,94 | 3,86 | 6 |
| trigo | 1135,6 | -1,53 D | 4,53 J | 4,94 F | -2,38 DM | 0,01 | 0,99 | 0 | 5 |
| cevada | 804,1 | 3,57 D | 4,85 J | 2,73 F | -2,0 DM | 0,01 | 0,99 | 0 | 5 |

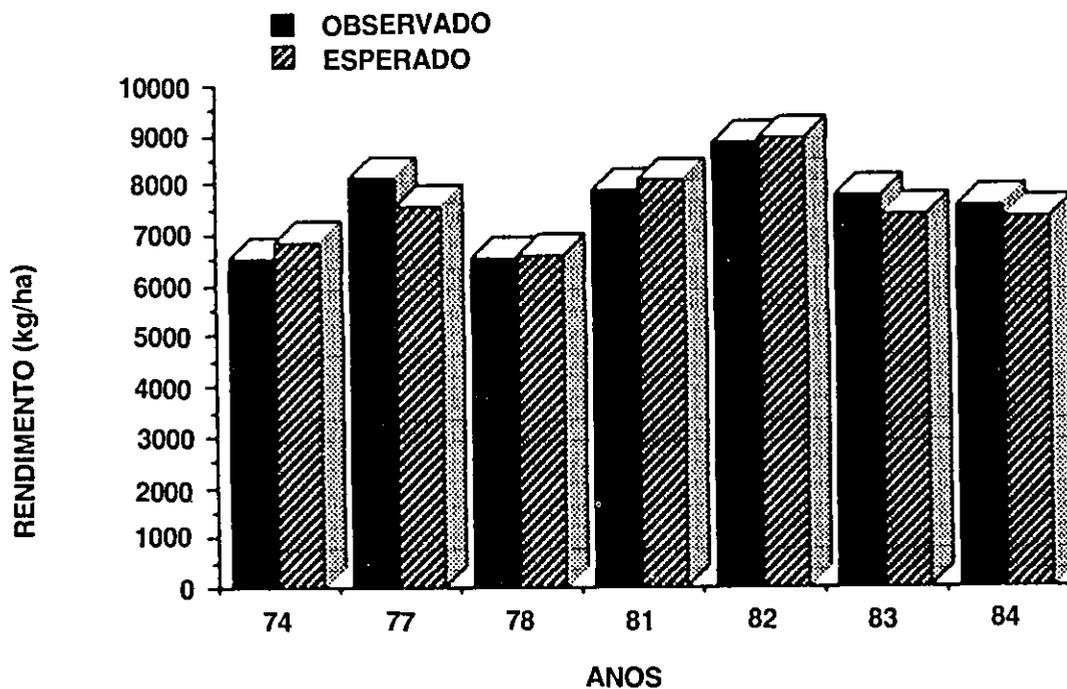


FIG. 1. Valores observados e estimados para cultura de batata no distrito político de Chavín.

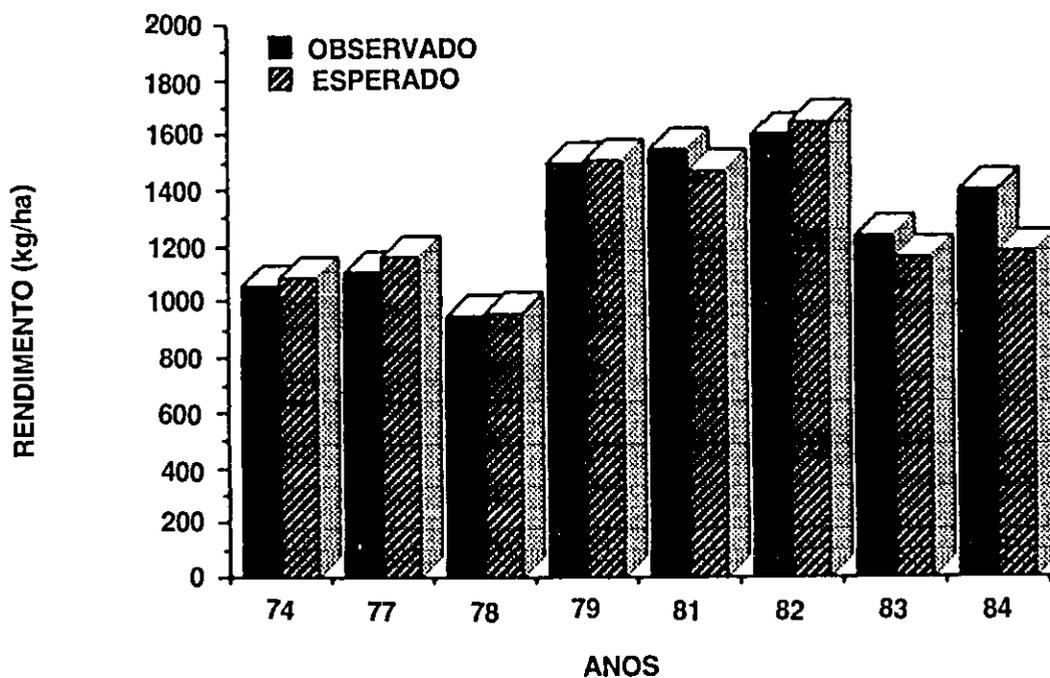


FIG. 2. Valores observados e estimados para cultura de trigo no distrito político de Chavín.

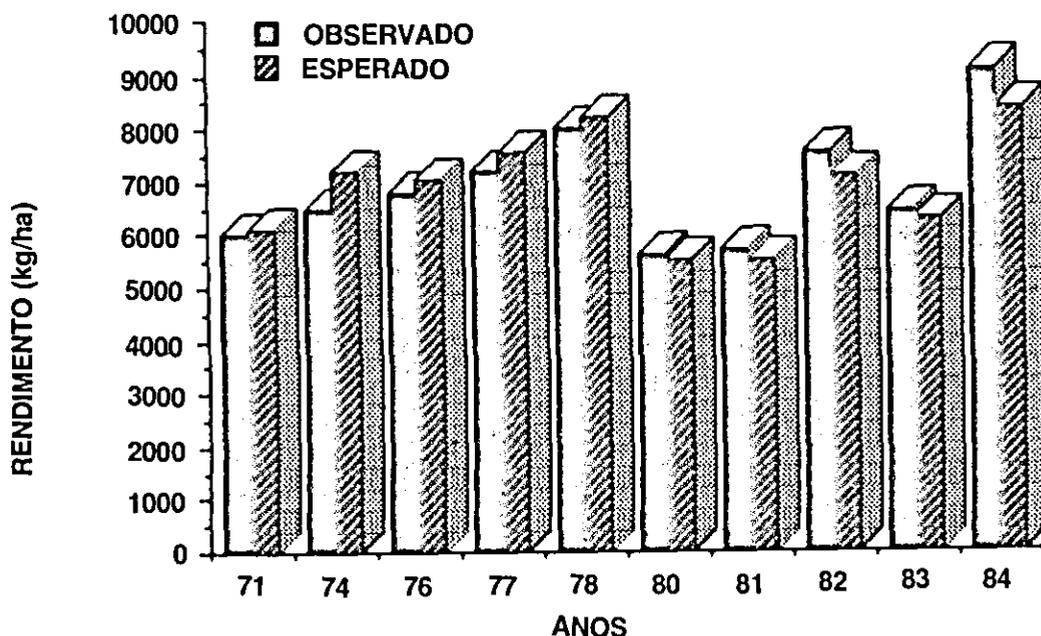


FIG. 3. Valores observados e estimados para cultura de batata no distrito político de Sihuas.

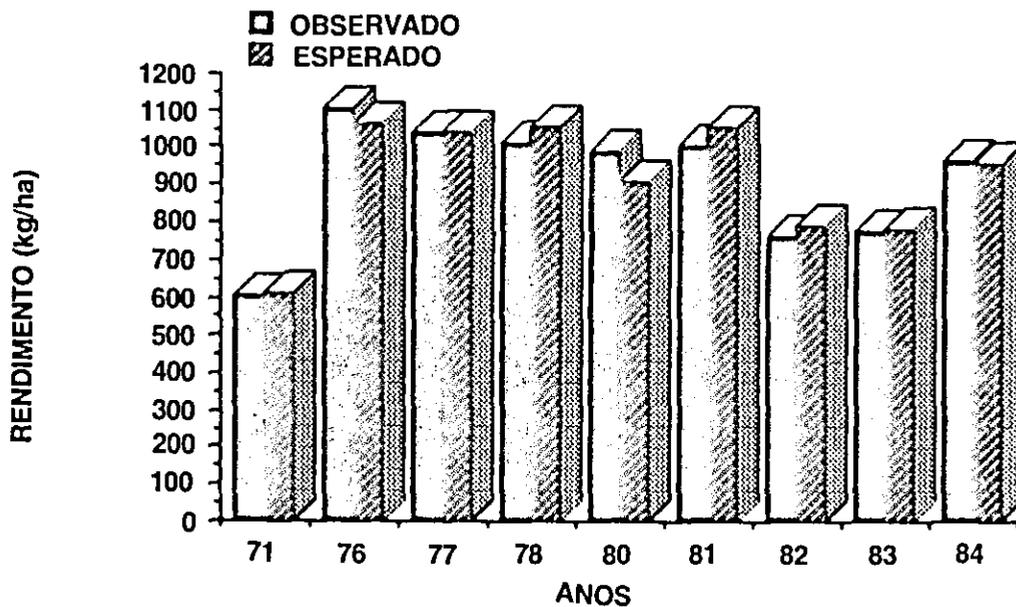


FIG. 4. Valores observados e estimados para cultura de trigo no distrito político de Sihuas.

Em todos os casos onde o teste F foi não-significativo, parece tratar-se do problema de este teste ser mais conveniente para amostras grandes. Mas, de

qualquer forma, a precisão dos modelos é decidida só na segunda fase, mediante o teste com dados experimentais posteriores aos usados na determinação dos modelos.

TABELA 2. Resultados para distritos agropecuários.

| Cult. | a | b1X1 | b2X2 | b3X3 | b4X4 | Er | R ² | Fc | N |
|--|--------|----------|----------|---------|----------|-----|----------------|--------|----|
| Distrito de Agropecuário de Huarí | | | | | | | | | |
| batata | 9953,7 | -58,06 S | -9,22 o | 1,241 N | -4,265 D | 10 | 0,54 | 1,16 | 9 |
| trigo | 1154,4 | 4,296 D | -0,04 J | -0,46 F | -3,336 M | 4 | 0,89 | 8,53** | 9 |
| cevada | 674,0 | 5,544 D | -3,49 J | 1,62 F | -0,314 M | 9,9 | 0,81 | 3,19 | 8 |
| Distrito Agropecuário de Sihuas | | | | | | | | | |
| batata | 7602,2 | 37,905 S | -5,79 o | -3,15 N | -9,69 D | 4,6 | 0,86 | 7,4** | 10 |
| trigo | 1017,8 | -2,421 D | 0,581 J | 1,323 F | -0,852 M | 3,1 | 0,94 | 14,5** | 9 |
| cevada | 1213,8 | 1,143 D | -0,069 J | -2,11 F | 0,819 M | 2,9 | 0,87 | 3,26 | 7 |

Nota 1: ** Nível de significância a 5%.

* Nível de significância a 10%.

Nota 2: em todas as equações, as letras correspondem aos iniciais dos meses e representam precipitações tal como foi estabelecido no método.

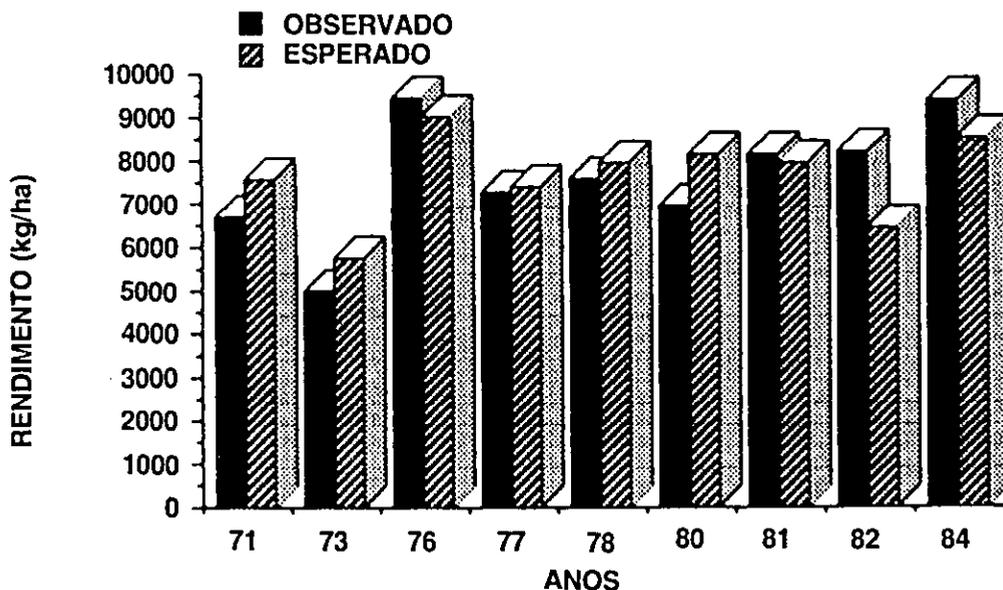


FIG. 5. Valores observados e estimados para cultura de batata no distrito agropecuário de Huarí.

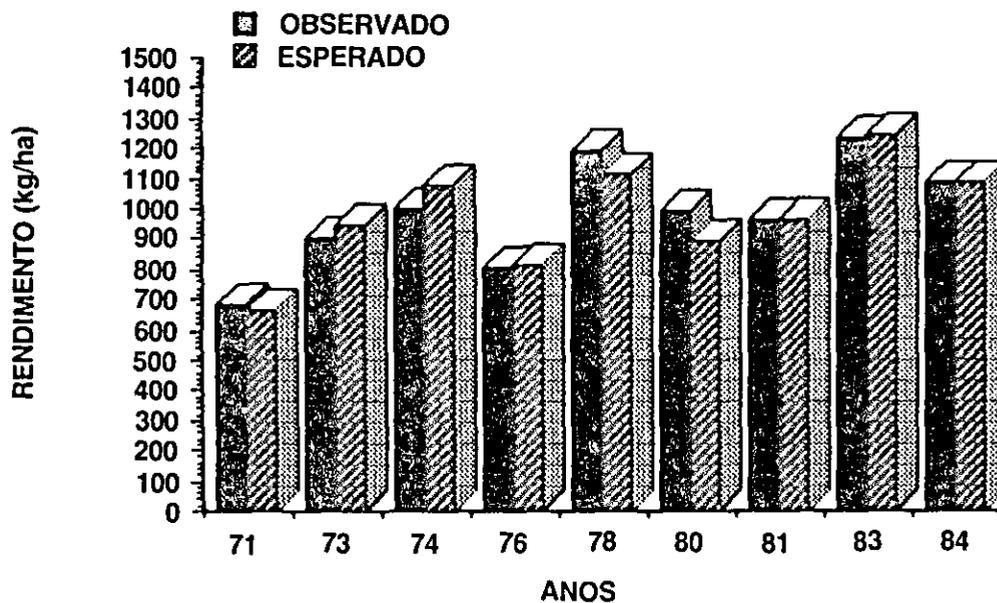


FIG. 6. Valores observados e estimados para cultura de trigo no distrito agropecuário de Huari.

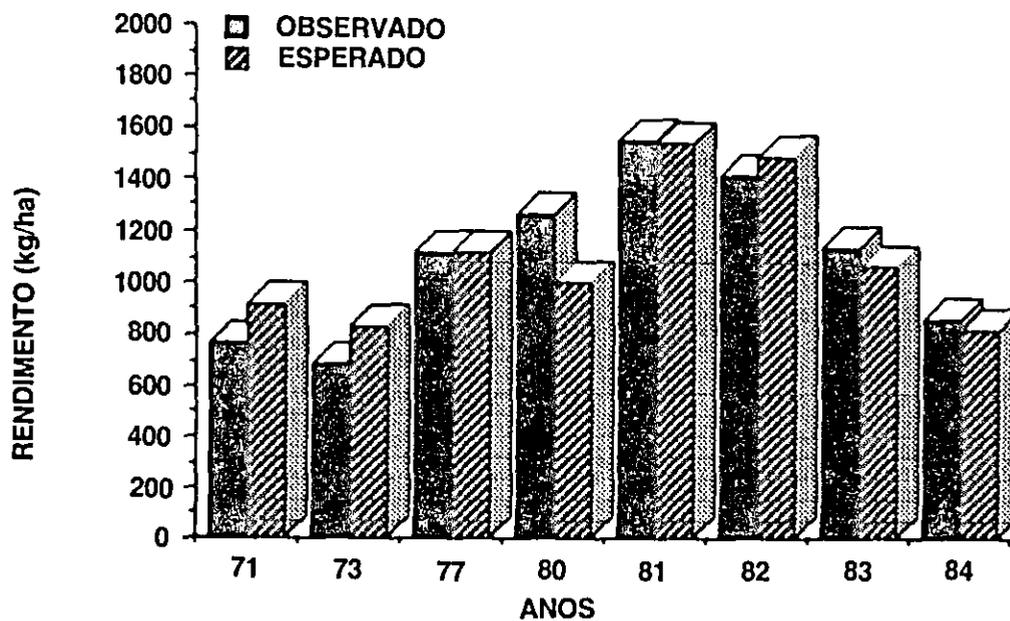


FIG. 7. Valores observados e estimados para cultura de cevada no distrito agropecuário de Huari.

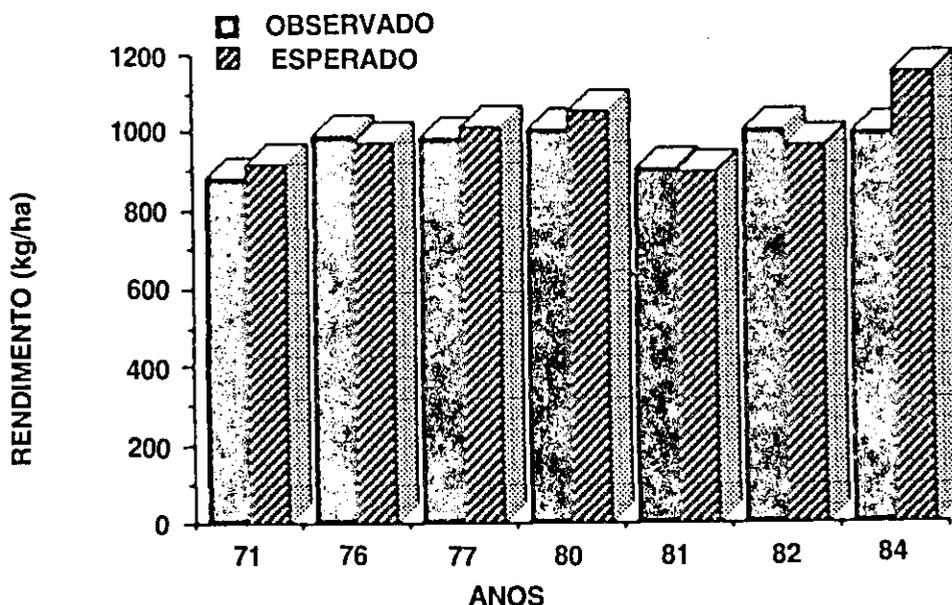


FIG. 8. Valores observados e estimados para cultura de cevada no distrito agropecuário de Sihuas.

CONCLUSÕES

1. Foi possível estabelecer equações do modelo para as três culturas consideradas, mostrando sua viabilidade. Em todos eles, o maior erro (Er), de 10%, correspondeu à cultura de batata do distrito agropecuário de Huari.

2. De forma geral, os testes estatísticos indicam que os modelos para cultura de trigo são os melhores, seguidos pelos das culturas de cevada, ficando em último lugar os correspondentes à cultura de batata.

3. O modelo determinado para a cultura de batata no distrito agropecuário de Sihuas mostrou-se bom para estimar as safras da mencionada cultura, o que não ocorreu no distrito agropecuário de Huari.

4. Por outro lado, conclui-se também que as precipitações totais mensais de dezembro, janeiro, fevereiro e março constituíram variáveis adequadas para a previsão da produtividade da cultura de trigo e cevada, com três meses de antecipação, nas regiões consideradas.

REFERÊNCIAS

- BRUNINI, O.; MIRANDA, M.A.C.; MASCARENHAS, H.A.A.; PEREIRA, J.C.; SCHMIDT, N.C. **Teste de um modelo agroclimático que relacione o regime pluviométrico com as variações da produtividade agrícola.** s.l., s.ed., 1982. (Coleção Análise e Pesquisa, Vol. 24)
- GARCÍA VILCA, G.T. & GARCÍA VILLANUEVA, J. **Condiciones agroclimáticas en el Departamento de Ancash.** s.l., s.ed., 1986.
- LUZ, W.C. da. Efeito da precipitação pluviométrica no rendimento de duas cultivares de trigo. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 17(3):531-54, 1982.
- MOTA, F.S. da. **Clima e trigo no sul do Brasil.** s.l. Ministério da Agricultura - Instituto de Pesquisa e Experimentação Agropecuária do Sul, 1965.
- NETER, J.; WASSERMAN, W.; KUTNER, M.H. **Applied linear regression Models.** Illinois, Richard D. Irwin, 1983. 547p.
- PEDRO JÚNIOR, M.J.; CAMARGO, M.B.P. de; MIRANDA, M.A.C. de; BRUNINI, O.; ALFONSI, R.R.; ORTOLANI, A.A.; MIRANDA, M.A.C. Teste de um modelo para estimativa da produtividade da cultura da soja de ciclo precoce. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 3, Campinas, 1983. *Anais...* Campinas, Soc. Bras. de Agrometeorologia, 1984. p.11-17.
- SANCHEZ, W.A. **Agrometeorological assessment models for economic planning and rural development in the Mantaro Valley of Peru.** s.l., AID, 1982.
- WIGLEY, T.M.L. & QUIPU, TU. Crop Climate modeling using spatial patterns of yield and climate. Part 1 Background and an example from Australia. *Clim. Appl. Meteorol.*, 22(11):1831-41, 1983.