

ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO NA  
CULTURA DO MILHO NO MUNICÍPIO DE BARRA MANSA, ESTADO DO RIO DE  
JANEIRO\*

Guarany Carlos Gomes  
João Basílio Costalonga Seraphim  
Sônia Coelho de Alvarenga\*\*

1. INTRODUÇÃO

Diante do crescimento demográfico dos países subdesenvolvidos em geral e em face do problema específico do Brasil, cujo crescimento populacional se dá à taxa de 3% ao ano, é de suma importância que se procure aumentar a oferta de alimentos. A produção de alimentos nos países em desenvolvimento não tem aumentado de modo a atender às exigências alimentares da população e a subvencionar importações de capital necessário ao desenvolvimento. Aumentos na oferta de produtos agrícolas podem-se verificar pela revolução nos métodos de cultivo da terra e pelo aumento das áreas cultivadas. A agricultura brasileira tem expandido bastante nos últimos anos; no entanto, tais aumentos se devem mais à expansão da área cultivada do que aos aumentos na produtividade. Os fertilizantes e outros insumos modernos podem desempenhar, nesse caso, um papel muito relevante. Estimativas da FAO, segundo MALAVOLTA (3), consideram que, no máximo, 25% das necessidades alimentares dos países subdesenvolvidos poderiam ser preenchidas pelos aumentos das áreas atualmente cultivadas.

O progresso tecnológico, portanto, é uma meta importante para a agricultura brasileira que, nesse setor, dá seus primeiros passos.

Os experimentos agrícolas têm buscado a tecnologia que melhor se adapte às condições do país e que supra, com o aumento de produtividade, a crescente demanda de produtos agropecuários.

A associação da economia e da técnica agrícola é um avanço na busca de melhores condições de implantação de novas tecnologias, graças, principalmente, à restrição de capital no setor.

---

\* Aceito para publicação em 19-9-1974.

\*\* Respectivamente, Engenheiro-Agrônomo da Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias e Bolsistas do CNPq, Engenheiro-Agrônomo da Companhia de Desenvolvimento do Estado de Goiás-CODEG. e Professora-Adjunta da Universidade Federal de Viçosa.

A experimentação agrícola no campo da adubação mineral tem se desenvolvido bastante e análises econômicas desses experimentos são necessárias para se determinar tanto os níveis econômicos de adubação quanto a adubação adequada às diferentes culturas.

No Brasil, ainda é bastante restrito o uso de fertilizantes; no entanto sua utilização tem aumentado, estimando-se um crescimento de cerca de 300% no período 1949/70 (3).

A experimentação agrícola com o uso de fertilizantes se faz em toda a rede do Ministério da Agricultura e nas universidades. Todavia, poucas vezes são feitas análises econômicas para verificação de níveis mais indicados.

O alto custo relativo dos fertilizantes parece ser um impedimento à expansão de seu uso. Em razão disto, a análise econômica de tais experimentos assume uma grande importância, não só pela possibilidade de maiores retornos ao capital investido como também pela possibilidade de maior difusão de técnicas avançadas, porém produtivas.

### 1.1. Objetivos

O presente trabalho tem, como objetivo geral, determinar os níveis econômicos de aplicação de nitrogênio e fósforo na cultura do milho (*Zea mays* L.), no município de Barra Mansa, Estado do Rio de Janeiro.

Especificamente, procurar-se-á:

- a) Estimar as taxas marginais de substituição entre nitrogênio e fósforo na região economicamente relevante;
- b) identificar a combinação ótima de recursos e nível ótimo de produção;

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

Toda análise econômica de experimentos de adubação, quer seja do ponto de vista simplesmente agrônomo, quer do ponto de vista da economia, pressupõe uma relação funcional entre quantidades de insumos empregados e rendimento cultural (2).

Existem várias maneiras possíveis de expressar tal relação funcional, sendo mais usual a forma matemática. Os cientistas têm estudado o assunto exaustivamente, desde Liebig (1855). Todos os tipos de funções geralmente apresentam certas restrições, sendo que, de acordo com o que se conhece até agora, as quadráticas são as que apresentam melhores ajustamentos.

MALAVOLTA (3) cita alguns inconvenientes das quadráticas, como: doses ótimas recomendadas, às vezes, apresentam erro-padrão elevado; às vezes os coeficientes dos polinômios não são significativos; as superfícies de respostas obtidas de ensaios em condições similares podem ser bem distintas.

Pesek *et alii*, citados por TEIXEIRA *et alii* (5), afirmam que as funções quadráticas são os tipos mais apropriados para a estimação de funções que envolvem populações de plantas. SILVA (4) concluiu, em estudos na região de Viçosa, Zona da Mata, que nas condições locais, funções quadráticas apresentaram resultados mais consistentes do que as funções do tipo Cobb-Douglas.

GOMES (1) salienta que estudos para ensaios em grupos tendem a apresentar menos anomalias do que as estimações estabe-

lecionadas sobre um ensaio somente em um estudo sobre aspectos econômicos da adubação.

TEIXEIRA *et alii* (5) efetuaram estudos sobre a função de produção quadrática com análise de todo o instrumental básico necessário para estabelecer superfícies de resposta, como isoclinas, produto marginal, taxas marginais de substituição e outros.

Estudaram também equações quadráticas para estabelecer superfícies de resposta às variáveis nitrogênio e população de plantas, encontrando resultados que se consideram satisfatórios (6).

Heady e Pesek (2) recomendam estudos a respeito das funções quadráticas aplicadas à adubação, visando aos interesses da ciência básica.

Brown *et alii*, citados por TEIXEIRA *et alii* (6), concluíram que as funções quadráticas permitem especificação de combinações de nutrientes que proporcionam o rendimento máximo por acre. Permitem a convergência das isoclinas no ponto de rendimento máximo e uma indicação de alterações nas proporções dos nutrientes necessários para atingir rendimentos altos; não necessitam de proporções de substituição constantes de produção, não forçam elasticidades constantes de produção.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1. Os Dados

Os dados do presente trabalho provêm de um experimento de adubação mineral em cultura de milho (*Zea mays* L.), realizado pelo Ministério da Agricultura, através do Instituto de Pesquisas Agropecuárias do Centro-Sul.

O experimento foi instalado em 27/10/71, na Fazenda Bom Retiro, na localidade de Quatis, Município de Barra Mansa, RJ, em solo Aluvião (Aluvião do Rio Paraíba).

##### 3.1.1. Planejamento Experimental

O experimento foi um fatorial  $3^2$ , de N e  $P_{205}$  e  $K_{20}$  com tratamentos dispostos em blocos ao acaso com quatro repetições. As dosagens de nitrogênio e fósforo e potássio corresponderam a 80 Kg/ha de N, 80 Kg/ha de  $P_{205}$  e 50 Kg/ha de  $K_{20}$  para o nível 1. Foram utilizados três níveis desses elementos: 1, 2 e 4.

As fontes de suprimento dos nutrientes foram: sulfato de amônio, superfosfato de cálcio simples e cloreto de potássio. O potássio ( $K_{20}$ ) foi mantido constante em todos os tratamentos no nível de 50 Kg/ha.

A densidade de plantio foi de 66.700 plantas/ha, sendo que, nos tratamentos que receberam nitrogênio, a densidade foi reduzida para 40.000 plantas/hectare. Os tratamentos acima correspondem a 40 parcelas, cada uma medindo 2 x 6m, compreendendo uma área útil de 12 m<sup>2</sup>. Em cada parcela existiam duas fileiras. O espaçamento entre covas foi de 0,30 m, à exceção dos tratamentos com nitrogênio que espaçavam de 0,50 m. Conservaram-se duas plantas por cova, depois do desbaste. Entre uma parcela e outra, deixou-se lateralmente uma fileira de bordadura sem adubação, comum a ambas as parcelas. Não houve borda-

dura nas cabeceiras das parcelas. Deixou-se um espaço livre de um metro entre uma parcela e outra. As sementes plantadas eram de "cultivar" híbrido "Cargill 5005".

Para o presente trabalho, utilizaram-se os dados de produção para a média dos tratamentos (quadro 1).

QUADRO 1 - Produção do milho - média dos tratamentos - Município de Barra Mansa - Ano agrícola 1971/72

Tratamentos			Peso dos grãos(Kg/ha)	% espigas boas
N	P	K		
0	0	50	2.542	58
80	80	50	5.083	82
80	160	50	4.917	80
80	320	50	5.250	81
160	80	50	5.854	83
160	160	50	5.708	81
160	320	50	6.021	82
320	80	50	5.396	80
320	160	50	6.271	86
320	320	50	6.271	80
0	0	0	2.792	58

Fonte: IPEACS-MA. Dados experimentais obtidos pelo Engenheiro-Agrônomo Paulo M. Tavares.

O maior rendimento que se obteve foi em torno de 6.271 Kg de milho, quando se empregaram 320 Kg/ha de N e 160 Kg/ha de  $P_{205}$ . Esta produção não se alterou quando se aumentou a dose de  $P_{205}$  para 320 Kg/ha. O menor nível de produção se deu quando o solo não recebeu nitrogênio, nem fósforo, mas recebeu potássio em doses de 50 Kg/ha. A testemunha (NoPoKo) produziu cerca de 2.792 Kg/ha. O peso dos grãos foi calculado para um teor de umidade dos grãos de 15%.

Os preços dos insumos em setembro/outubro de 1971 em Cr\$/quilo eram:

sulfato de amônio .....	Cr\$ 0,36/Kg
superfosfato de cálcio .....	Cr\$ 0,32/Kg
cloreto de potássio .....	Cr\$ 0,42/Kg

Considerando-se o fato de que o sulfato de amônio contém apenas 20% de N, como também o superfosfato contém 20% de  $P_{205}$ , conclui-se que N custa Cr\$ 1,80/Kg e  $P_{205}$  custa Cr\$ 1,60/Kg. Como o cloreto de potássio contém 60% de  $K_{20}$ , conclui-se que  $K_{20}$  custa Cr\$ 0,67/Kg. O preço do milho em Cr\$/Kg para a safra 71/72, fixado pela Comissão de Financiamento da Produção, foi de 0,227.

### 3.2. Modelo Conceitual

Aplicaram-se neste estudo os princípios da economia da produção num modelo fator-produto, e fator-fator empregando-se as

relações analíticas de acordo com a metodologia recomendada na literatura existente, principalmente conforme TEIXEIRA *et alii* (5).

O modelo estatístico utilizado foi a função quadrática da forma:  $Y_i = a + b_1X_{1i} + b_2X_{1i}^2 + b_3X_{2i} + b_4X_{2i}^2 + b_5X_{1i}X_{2i} + e_i$ , sendo  $Y_i$  uma variável aleatória,  $i = 1, 2, 3, \dots, n$ ,  $X_{1i}$  e  $X_{2i}$  variáveis desprovidas de erro experimental, supondo que as estimativas dos parâmetros não são tendenciosas e têm variância mínima.

Os parâmetros foram estimados pela minimização de  $\sum_{i=1}^n e_i^2$   
As variáveis consideradas foram:

$Y_i$  = produção de milho em Kg/ha

$X_{1i}$  = doses de nitrogênio (N) em Kg/ha

$X_{2i}$  = doses de fósforo ( $P_{205}$ ) em Kg/ha

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A equação de regressão quadrática ajustada foi:

$$\hat{Y} = 2.664,7338 + \frac{23,1045N}{(5,8402)} - \frac{0,0498N^2}{(0,0150)} + \frac{7,7482P}{(5,8402)} - \frac{0,0166P^2}{(0,0150)} + 0,0052NP \quad (0,00101)$$

sendo que somente os coeficientes de N e  $N^2$  foram estatisticamente significantes aos níveis de 2% e 5%, respectivamente.

No caso, o ajustamento quadrático parece bastante razoável. A produção observada para a testemunha, no campo, foi de 2.772 Kg/ha e a produção estimada para este tratamento, pela regressão, foi de 2.665 Kg/ha (termo constante). Na equação estimada,  $\hat{Y}$  representa a produção de milho em Kg/ha, N representa nitrogênio em Kg/ha e P representa  $P_{205}$  em Kg/ha. O coeficiente de determinação  $R^2$  encontrado foi 0,9598, indicando que 95,98% das variações na variável dependente são explicadas pela regressão quadrática.

Os maiores coeficientes de correlação simples foram 0,7186 e 0,6364 para as variáveis independentes N e NP, respectivamente (quadro 2).

QUADRO 2 - Matriz de correlação das variáveis da função quadrática e coeficientes de regressão parcial

	Y	N	P	$N^2$	$P^2$	NP
Y	1,0000	0,7186	0,5866	0,5468	0,6364	0,7964
N		1,0000	0,2592	0,9706	0,7157	0,3056
P			1,0000	0,1645	0,7157	0,7331
$N^2$				1,0000	0,6947	0,2333
$P^2$					1,0000	0,0610
NP						1,0000

A produção de milho (em Kg/ha) se correlaciona mais fortemente com N do que com P e mais com a interação de N e P do que com P somente. O  $R^2$  parcial (quadro 2) indica que 79,64 das variações da variável dependente são explicadas pelas variações da variável N, excluídas as demais variáveis. No caso presente, a variável N explica mais que a variável P as variações na produção de milho em Kg/ha.

Os produtos físicos médios de N e P derivados da função quadrática ajustada são apresentados algebricamente pelas equações:

$$PFMe(N) = \frac{2.664,7339}{N} + 23,1045 - 0,0498N + 7,7482 \frac{P}{N} -$$

$$- 0,0166 \frac{P^2}{N} + 0,0052P$$

$$PFMe(P) = 2.664,7339 + 23,1045 \frac{N}{P} - 0,0498 \frac{N^2}{P} + 7,7482$$

$$- 0,0166P + 0,0052N$$

Deve-se notar que tais relações não são lineares e decrescentes. Examinando as equações pode-se notar que ao se fixar P no nível zero, à medida que N aumenta o seu produto físico médio decresce.

Os produtos físicos marginais (figura 1 e 2) podem ser derivados através das equações:

$$PFMa(N) = 23,1045 - 0,0996N + 0,0052P$$

$$PFMa(P) = 7,7482 - 0,0332P + 0,0052N$$

Pode-se notar que os produtos físicos marginais decrescem ao crescerem as quantidades empregadas do fator variável. Eles decrescerão até os níveis de N e P que os tornem nulos. Notando que o produto físico médio é também decrescente, pode-se concluir, excluída a hipótese de produto marginal negativo, pelo segundo estágio de produção.

Ao se fixar o nível de uma das variáveis, o produto físico marginal aumentará à medida que níveis mais altos forem fixados, indicando uma interação N x P positiva.

As isoquantas constituem um aspecto básico da relação fator-fator. A equação geral das isoquantas derivada da função de produção é da forma  $N = f(P)$ :

$$N = 231,9728 + 0,052P \pm \left[ 10732,16768 + 18,01717P - 0,03327P^2 - 2,01212Y \right]^{1/2}$$

As isoquantas mostram as várias combinações de N e P que podem ser usadas para produzir rendimentos determinados de milho por hectare.

A inclinação de uma isoquanta mostra a alteração na quantidade de nitrogênio necessária para manter uma determinada produção quando uma unidade de fósforo é adicionada ou retirada e é chamada taxa marginal de substituição técnica. Para a equação ajustada tem-se:

$$TMaST_{NP} = \frac{PFMa(P)}{PFMa(N)} = \frac{7,7482 - 0,0332P + 0,0052N}{23,1045 - 0,0996N + 0,0052P}$$

$$TMaST_{PN} = \frac{1}{TMaS_{NP}} = \frac{23,1045 - 0,0996N + 0,0052P}{7,7482 - 0,0332P + 0,0052N}$$

Estas equações dão o grau de substituição de nitrogênio por fósforo e de fósforo por nitrogênio.

A taxa marginal de substituição técnica (TMST) indica uma relação física, entretanto, não diz quanto usar de cada insumo. A condição necessária para se conseguir um ótimo econômico é que a TMST entre dois fatores seja igual à relação entre seus preços, indicando que devem ser substituídos até o ponto em que o valor do insumo adicionado seja igual ao do insumo retirado. Essa relação gera o chamado "caminho de expansão" que indica, dados a função de produção e os preços dos insumos, qual é a proporção de fatores mais econômica para produzir diferentes níveis de produção:

$$TMaS_{PN} = \frac{P_N}{P_P}, \text{ portanto}$$

$$\frac{23,1045 - 0,0996N + 0,0052P}{7,7482 - 0,0332P + 0,0052N} = \frac{P_N}{P_P}$$

$$\frac{23,1045 - 0,0996N + 0,0052P}{7,7482 - 0,0332P + 0,0052N} = \frac{1,80}{1,60}$$

$$N = 136,3767 + 0,4053P$$

O caminho de expansão se apresenta como uma relação linear com inclinação positiva. Dada esta equação, estabelecida para a relação existente de preços, podem-se calcular as combinações de N e P que, ao mínimo custo, produzam uma quantidade desejada de produto.

Uma combinação ótima de recursos, no sentido econômico, é aquela que dará maior retorno a um custo mínimo. Dados os preços dos recursos e do produto, obter-se-á máximo lucro quando o valor que uma unidade de recurso adicionar à produção, à margem, for igual ao seu preço. Assim, para o experimento estudado, isto ocorre quando se usar 155,90 kg de Nitrogênio e 48,26 kg de fósforo.

Substituindo esta proporção de fatores na função ajustada, obtém-se o nível de produção que maximizará o lucro.

Dos cálculos resulta que:

$$Y = 5.430,7256 \text{ kg/ha de milho}$$

O nível ótimo econômico dos fatores de produção está contido na amplitude das dosagens das variáveis independentes utilizadas no experimento. No entanto, o máximo físico não foi alcançado no campo.

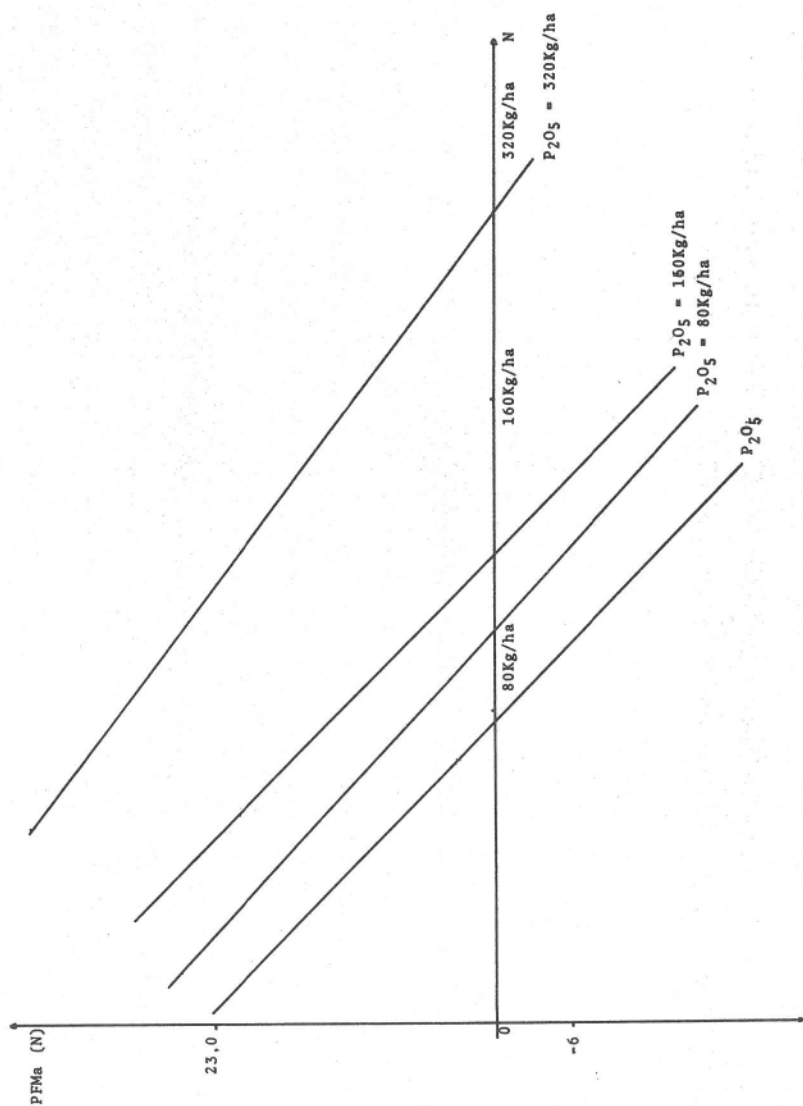


FIGURA 1 - Produtos físicos marginais de nitrogênio quando  $P_2O_5$  é mantido fixo nos níveis de 00-80-160 e 320 Kg/ha.



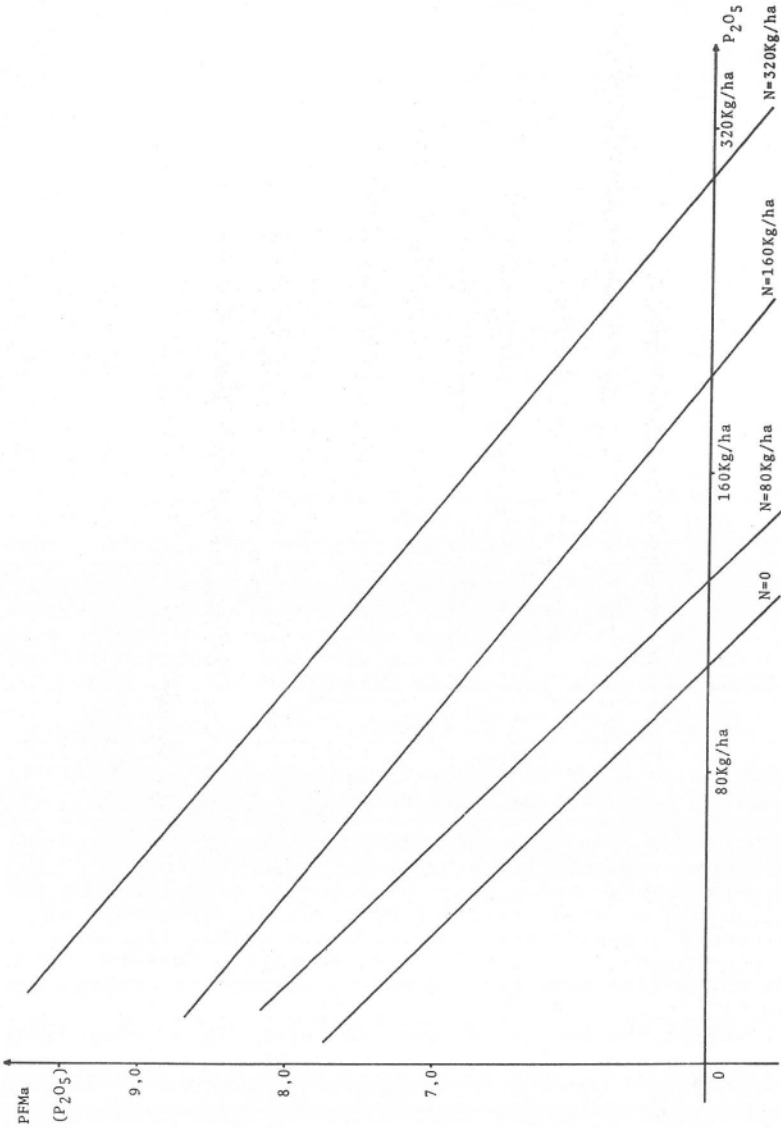


FIGURA 2 - Produtos físicos marginais de  $P_2O_5$  quando nitrogênio é mantido fixo nos níveis de 00-80-160 e 320 Kg/ha.

## 5. CONCLUSÕES

Aos níveis de preços considerados, o ótimo econômico é alcançado quando se aplicam 160 kg/ha de nitrogênio e 50 kg/ha de  $P_2O_5$ . Essas doses correspondem a 800 kg/ha de sulfato de amônio e 250 kg/ha de superfosfato simples e uma produção de 5.431 kg/ha de milho.

Não se levaram em consideração, aqui, as restrições de capital, porém, em presença de tal problema, doses menores dos elementos podem ser empregadas economicamente, obedecendo à relação entre a taxa marginal de substituição e os preços dos fatores, dada pelo caminho de expansão. Qualquer que seja o volume de produção, estas relações devem ser obedecidas para se operar ao mínimo custo.

Se os preços dos insumos e/ou produto variarem, ajustes devem ser feitos de forma que a relação seja restabelecida.

A produção física máxima possível é de 6.562,05 kg/ha, correspondendo aos níveis de 246,13 kg/ha de N e 271,23 kg/ha de  $P_2O_5$ . Dosagens de N e P maiores que estas tornam os produtos marginais de N e P negativos, o que equivale dizer, correspondentes a situações de decréscimo na produção, o que de modo algum é desejável ao produtor.

O nitrogênio é relativamente mais importante para a produção que o fósforo. Fixando-se o fósforo em algum nível, 100 kg/ha de N dão um retorno de 13,14 kg/ha de milho e fixando-se N, 100 kg/ha de  $P_2O_5$  dão um retorno de 3,42 kg/ha de milho.

Tais resultados são guias, mais que normas.

A aplicação dos níveis recomendados de adubo, quando transferida para o campo, pode não ter o mesmo comportamento que no experimento, o que é de esperar, dada a diferença de condições. Contudo, conhecendo-se as relações pertinentes derivadas do trabalho experimental e dos estudos econômicos ter-se-á menor dose de risco se utilizarem os níveis de adubação recomendados a não adubar ou fazê-lo em excesso.

## 6. RESUMO

Diante do crescimento demográfico dos países subdesenvolvidos em geral e em face do problema específico do Brasil, cujo crescimento populacional se dá à taxa de 3% ao ano, é de suma importância que se procure aumentar a oferta de alimentos.

O progresso tecnológico é uma meta importante para a agricultura brasileira buscando o aumento da produtividade para fazer frente à demanda crescente de produtos agropecuários.

O presente trabalho tem, como objetivo geral, determinar os níveis econômicos de aplicação de nitrogênio e fósforo na cultura de milho (*Zea mays* L.), no município de Barra Mansa, Estado do Rio de Janeiro.

Utilizou-se uma equação quadrática ajustada a dados de experimento.

Para os preços dados à época do experimento, o nível ótimo de produção foi alcançado, utilizando-se 160 kg de Nitrogênio/ha e 50 de fósforo/ha para uma produção de 5.431 kg de milho/ha.

A aplicação dos níveis recomendados de adubo, quando transferidas ao campo, pode não ter o mesmo comportamento que no experimento; contudo, tais dados são guias seguros para uma

boa adubação.

## 7. SUMMARY

Underdeveloped countries are faced with the widespread problem of rapid population growth. Brazil, whose population is increasing at the rate of 3 percent per year, is no exception. New methods of increasing food supplier must therefore be given the highest priorities.

Technical progress is an important method by which Brazilian agriculture can increase productivity to meet the increased demand for agricultural products.

The objective of this study was to determine the economic levels of nitrogen and phosphorus usage in corn (*Zea mays* L.) production in the município of Barra Mansa, Rio de Janeiro. The method of minimum least squares was used in adjusting the quadratic equation to the experimental data. Utilizing prices current at the time of the experiment, the highest level of production was obtained with 160 kilograms of nitrogen/hectare and 50 kilograms of phosphorus/hectare. At this fertilizer level production was 5,431 kilograms/hectare.

The application of these fertilizer levels, when applied under actual farming conditions, cannot give results identical to those obtained in this experiment. Nevertheless, this data is a safe guide for good fertilization.

## 8. LITERATURA CITADA

1. GOMES, Frederico Pimentel. Novos aspectos do estudo econômico de ensaios de adubação. *Fertilidade*, Paris (34): 3-9, août/sept. 1969.
2. HEADY, Earl O. & PESEK, John. A fertilizer production surface, with specification of economic optima for corn grown on calcareous to silt loam. *Journal of Farm Economics*, Menasha 36(3):466-82 aug. 1954.
3. MALAVOLTA, Euripedes. *Manual de química agrícola; adubos e adubação*. 2.ed. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 1967. 606 p.
4. SILVA, Paulo Roberto. *Análise econômica do emprego de fertilizantes na cultura do feijoeiro, através da função de produção - Zona da Mata - MG*. Viçosa, U.F.V., Imprensa Universitária, 1967. 61 p. (Tese M.S.)
5. TEIXEIRA, Teotônio Dias; GOMES, Fabio Ribeiro; TOLLINI, Helio; MOURA, Luiz Maria. Análise e derivação dos instrumentos básicos da análise econômica partindo-se da superfície quadrática. *Experientiae*, Viçosa, 8(10): 209-74, ago. 1970.
6. ——. Análise agroeconômica de experimentos de milho realizados em Capinópolis e Sete Lagoas, Minas Gerais, através da função de produção. *Experientiae*, Viçosa, 2(11):46-134, jan. 1971.