



Palestra proferida pelo
Engº Agrº Alfredo Oyama
Homma, Altamira, 19/04/78

ANALISE ECONOMICA DA APLICACÃO DE FERTILIZANTES
NO CULTIVO DE ARROZ NO MUNICIPIO DE
ALTAMIRA, PARÁ

* Trabalho resultante da coopera-
o entre pesquisadores do
CPATU e do DDM, rgos da EM-
BRAPA.

- abril de 1977 -

VINCULADA AO MINISTERIO DA AGRICULTURA



- I N D I C E -

1.	INTRODUÇÃO -----	1
2.	MODELO DE OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA A DETERMINAÇÃO DE DOSES DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES -----	2
2.1.	Delineamento experimental -----	2
2.2.	Análise de Variância -----	2
2.3.	Equações de regressão -----	4
2.4.	A função de resposta e determinação do nível ótimo de aplicação de fertilizantes -----	5
2.4.1.	Cálculo do nível ótimo econômico -----	5
2.4.2.	Cálculo do máximo físico -----	8
2.5.	Taxas relativas de retorno -----	8
3.	RESULTADOS DAS REGRESSÕES AJUSTADAS AOS DADOS EXPERIMENTAIS -----	10
4.	CÁLCULO DAS DOSAGENS ECONÔMICAS -----	15
4.1.	<u>Experimento 1</u> -----	15
4.1.1.	Dosagens econômicas -----	15
4.1.2.	Taxas de retorno -----	19
4.2.	<u>Experimento 2</u> -----	21
4.2.1.	Dosagens econômicas -----	21
4.2.2.	Taxas de retorno -----	22
4.3.	<u>Experimento 3</u> -----	24
4.3.1.	Dosagens econômicas -----	24
4.3.2.	Taxas de retorno -----	25
5.	SUMÁRIO E CONCLUSÕES -----	28

ANÁLISE ECONÔMICA DA APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES
NO CULTIVO DE ARROZ NO MUNICÍPIO DE
ALTAMIRA, PARA

1. INTRODUÇÃO

Este informativo contém os resultados da análise econômica da aplicação de fertilizantes no cultivo de arroz em duas localidades do Pará.

O trabalho consiste de uma descrição dos modelos agrônômicos usados para a análise econômica das respostas ao uso de fertilizantes.

Derivou-se, em seguida, a função de receita líquida em relação ao fertilizante aplicado e se apresentaram os valores da aplicação do fertilizante que maximizam a utilidade em diferentes situações de preço.

Apresentam-se também os cálculos das taxas de retorno médio e de retorno marginal ao uso dos fertilizantes, analisados para diversas situações de preço.

* As informações básicas para a execução deste trabalho foram oriundas dos experimentos realizados pelos pesquisadores Emmanuel de Souza Cruz, Walmir Salles Couto, Francisco José Câmara Figueiredo, Donald Lieber Kass e Joaquim Braga Basto, pesquisadores do ex-IPEAN, atualmente CPATU-Centro de Pesquisas Agropecuária do Trópico Úmido da EMBRAPA.

** As análises estatísticas e econômicas foram realizadas por Vitor Afonso Hoeflich, Hernan Tejeda, Robério F. dos Santos e Alfredo Oyama Homma, pesquisadores da EMBRAPA.

2. MODELO DE OTIMIZAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA PARA A DETERMINAÇÃO DE APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES

2.1. Delineamento experimental

Neste trabalho foram analisados estatística e economicamente três experimentos de campo, realizados em solo de terra roxa estruturada, da região de Altamira, como abaixo descrito:

<u>Experimento</u>	<u>Local</u>	<u>ano</u>
1	Altamira (km 48)	1972
2	Altamira (km 101)	1973
3	Altamira (km 101)	1974

Todos experimentos incluíam três fatores; nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), sendo seu delineamento o fatorial NPK 3x3x2, dispostos em blocos ao acaso com duas repetições.

De posse dos dados procedeu-se à análise de variância de cada experimento e, a partir desta, estabeleceu-se a superfície de resposta necessária para se determinar o ótimo econômico

2.2. Análise de Variância

O quadro 1 mostra o nível de significação da análise de variâncias de cada experimento .

Quadro 1. Análise de Variância dos experimentos realizados com arroz em, Altamira-PA. 1972/74

Experimento	N	P	K	NxP	N*K	PxK	F	R ²	CV
E ₁	**	**		+	**		4,60 ^{**}	0,76	11,419
E ₂		**	+				3,97 ^{**}	0,73	23,30
E ₃	**	**					3,46 ^{**}	0,70	9,56

** (1%) ; * (5%); ++ (10%); + (25%)

Experimento 1 (E₁): corresponde aos dados de Altamira, KM48, ano de 1972

Os resultados estão a indicar que Nitrogênio e Fósforo foram altamente significativos, ao nível de 1%, bem como foram significativas as interações N*P e N*K;

O rendimento será considerado, pois, como uma função (Y) dos seguintes fatores; $Y = f(N, N^2, P, P^2, NP)$ (1)

Experimento 2 (E₂): corresponde aos dados de Altamira, KM101, ano de 1973

Neste experimento somente fósforo foi significativo ao nível de 1%. O potássio mostrou-se significativo somente ao nível de 25%.

O rendimento será considerado como a função

$$Y = f(P, P^2, K, PK) \quad (2)$$

Experimento 3 (E₃): refere-se aos dados de Altamira, KM101, ano de 1974.

Neste experimento tanto fósforo como nitrogênio apresentaram-se como altamente significativos, ao nível de 1% de probabilidade.

A análise de variância induz que o rendimento seja considerado como uma função do tipo

$$Y = f(N, N^2, P, P^2, NP) \quad (3)$$

Considerando-se a semelhança das formas das funções nos experimentos 1 e 3, ajustar-se-á, também, um modelo envolvendo variável dummy para identificar diferenças entre os resultados destes experimentos. Assim, ter-se-á que para o experimento 1 (Altamira KM48, ano 72) a variável dummy será zero, e para experimentos 3 (Altamira KM101, ano 74) a variável dummy será um.

A função que envolve os experimentos 1 e 3 será do tipo.

$$Y = f(N, N^2, P, P^2, NP, D, DN, DN^2, DP, DP^2, DNP) \quad (4)$$

onde D é a variável dummy.

2.3. Equações de regressão

Foram escolhidas funções quadráticas do tipo da equação 5 abaixo, com as quais serão ajustadas as regressões para cada experimento.

$$Y = \beta_0 + \beta_1 N + \beta_{11} N^2 + \beta_2 P + \beta_{22} P^2 + \beta_{12} NP + e \quad (5)$$

Na equação 5, Y representa o rendimento em quilos por hectare, N é o insumo Nitrogênio, P é o insumo fósforo (P_2O_5), ambos em kg/ha. O termo NP representa a interação entre o nitrogênio e o fósforo. O elemento "e" representa o termo de erro do ajustamento.

Na regressão da função quadrática, espera-se encontrar sinal negativo para o estimador dos parâmetros β_{11} e β_{22} . Esta ca -

racterística reflete a resposta decrescente dos rendimentos aos incrementos sucessivos de N e P.

Outra característica da função quadrática é que seus produtos marginais ($\frac{\partial Y}{\partial N}$, $\frac{\partial Y}{\partial P}$) são lineares, indicando que diminuem em uma quantidade constante, quando se aumentam as quantidades do insumo.

Usando-se a função quadrática e observadas as restrições acima, se obtém uma superfície de resposta em que existe um ponto de rendimento máximo após o qual o rendimento diminui.

2.4. - A função de resposta e determinação do nível ótimo de aplicação de fertilizantes.

Seja a equação de regressão (6) e a relação calculada* entre os rendimentos físicos (Y) e os nutrientes (N,P), ou seja

$$Y = b_0 + b_1N + b_{11}N^2 + b_2P + b_{22}P^2 + b_{12}NP \quad (6)$$

2.4.1.- Cálculo do nível ótimo econômico

O nível ótimo de aplicação de N será alcançado quando o produto marginal de N (isto é, $\partial Y/\partial N$) tornar-se igual a razão entre o preço do fertilizante e o preço do produto (isto é, P_N/P_Y). Da mesma forma obtém-se o nível ótimo de fósforo.

Isto pode ser demonstrado quando, associada à equação (6), se introduz uma função objetivo representada como

* As constantes b_i da equação de regressão (6) são os estimadores dos parâmetros do modelo (5), baseados nos dados do experimento que está sendo analisado.

$$RL = P_Y \cdot Y - P_N \cdot N - P_P \cdot P - C \quad (7)$$

onde RL é a receita líquida, que é igual à receita bruta menos o custo total; C é uma constante que reflete o custo fixo total;

$P_N \cdot N$ representa o custo variável do nitrogênio;

$P_P \cdot P$ representa o custo variável do fósforo.

A função de renda líquida é máxima quando a derivada primeira da equação (7) for nula e a sua derivada segunda for menor que zero. Portanto:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial RL}{\partial N} = P_Y \frac{\partial Y}{\partial N} - P_N = 0 \quad (8) \\ \frac{\partial RL}{\partial P} = P_Y \frac{\partial Y}{\partial P} - P_P = 0 \quad (9) \end{aligned} \right\} \text{são as condições de 1.ª ordem para que a função de Renda líquida passe por um máximo.}$$

Das equações (8) e (9) fica evidente que a equação de renda líquida ajustada ao nível ótimo (ou de renda líquida máxima) é obtida quando

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = \frac{P_N}{P_Y} \quad (8.1)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial P} = \frac{P_P}{P_Y} \quad (9.1)$$

onde $\frac{\partial Y}{\partial N}$ e $\frac{\partial Y}{\partial P}$ representam o produto marginal de N de P, respectivamente.

Aplicando as condições (8.1) e (9.1) à equação (6) tem-se que

$$\frac{\partial Y}{\partial N} = b_1 + 2b_{11}N + b_{12}P = P_N/P_Y \quad (8.2)$$

$$\frac{\partial Y}{\partial P} = b_2 + b_{12}N + 2b_{22}P = P_P/P_Y \quad (9.2)$$

Reorganizando-se as equações (8.2) e (9.2) obtém-se:

$$2b_{11}N + b_{12}P = (P_N/P_Y - b_1) \quad (8.3)$$

$$b_{12}N + 2b_{22}P = (P_P/P_Y - b_2) \quad (9.3)$$

O sistema de equação (8.3) e (9.3) pode ser resolvido a partir da regra dos determinantes. O resultado final proporciona os valores ótimos de N e P, respectivamente, expressos pelas expressões (8.4) e (9.4)

$$N^* = \frac{\begin{vmatrix} (P_N/P_Y - b_1) & (b_{12}) \\ (P_P/P_Y - b_2) & (2b_{22}) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2b_{11} & b_{12} \\ b_{12} & 2b_{22} \end{vmatrix}} \quad (8.4)$$

$$P^* = \frac{\begin{vmatrix} 2b_{11} & (P_N/P_Y - b_1) \\ b_{12} & (P_P/P_Y - b_2) \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} 2b_{11} & b_{12} \\ b_{12} & 2b_{22} \end{vmatrix}} \quad (9.4)$$

Das equações (8.4) e (9.4) resultam, respectivamente:

$$N^* = \frac{2b_{22} \frac{P_N}{P_Y} - b_{12} \frac{P_P}{P_Y} + (b_2 b_{12} - 2b_1 b_{22})}{4b_{11} b_{22} - (b_{12})^2} \quad (8.5)$$

$$P^* = \frac{2b_{11} \frac{P_P}{P_Y} - b_{12} \frac{P_N}{P_Y} + (b_1 b_{12} - 2b_2 b_{11})}{4b_{11} b_{22} - (b_{12})^2} \quad (9.5)$$



2.4.2- Cálculo do máximo físico

Para se calcular o nível dos insumos associados ao nível de rendimento físico máximo, basta tornar nulas as relações $\frac{P_N}{P_Y}$

$\frac{P_P}{P_Y}$ nas equações (8.5) e (9.5). Como resultado obtém-se

$$N_{\text{máx}} = \frac{b_2 b_{12} - 2b_1 b_{22}}{4b_{11} b_{22} - (b_{12})^2} \quad (8.6)$$

$$P_{\text{máx}} = \frac{b_1 b_{12} - 2b_2 b_{11}}{4b_{11} b_{22} - (b_{12})^2} \quad (9.6)$$

2.5 - Taxas Relativas de Retorno

Com o objetivo de se obter uma base para a comparação de quantidades adicionais de fertilizantes como alternativas da produção, será útil examinar os retornos marginais causados pela aplicação de fertilizantes.

Estes retornos devem representar um aumento na renda líquida. Com o objetivo de torná-los mais facilmente comparáveis com os retornos obtidos a partir de outras alternativas de produção dentro da propriedade, os retornos podem ser expressos como uma porcentagem dos custos envolvidos. Com certeza os produtores não estão somente interessados no retorno médio mas também nos retornos marginais.

Os produtores necessitam observar a taxa de retorno de cada cruzeiro adicional gasto em fertilizante. Necessitam, ainda, deter o gasto com fertilizante tão logo observem que este retorno marginal seja menor que o primeiro cruzeiro gasto em

qualquer outra alternativa da propriedade.

O retorno marginal (r_{ma}) pode ser definido como

$$r_{ma} = P_Y \left(\frac{\Delta Y}{\Delta (CV)} \right) - 1 \quad (10)$$

onde ΔY = variação na produção;

P_Y = preço do produto;

$P_Y \Delta Y$ = valor da variação da produção

$\Delta (CV)$ = variação no custo variável (que corresponde, neste caso, ao custo dos fertilizantes).

Vale ressaltar que a dosagem ótima econômica deve ocorrer quando a taxa de retorno marginal for igual a zero. Taxas de retorno marginal positivas estão a indicar que o(s) insumo(s) está(ão) sendo usado(s) aquém de seu(s) nível(is) ótimo(s). Por outro lado, taxas de retorno marginal negativas estão a indicar que o(s) insumo(s) está(ão) sendo usado(s) além de seu(s) nível(is) ótimo(s).

O retorno médio (r_{me}), por sua vez, é definido pela relação

$$r_{me} = \frac{RT}{CT} - 1 \quad (11)$$

onde RT = venda total e

CT = custo total, (neste caso considerando-se apenas o custo total com fertilizantes).

3. RESULTADOS DAS REGRESSÕES AJUSTADAS AOS DADOS EXPERIMENTAIS

As equações de regressão, definidas apartir da análise de variância, estão indicadas no quadro 2.

Experimento 1: Para o experimento 1, foi ajustada a equação de regressão

$$\hat{Y} = 2467,56 + 14,75N - 0,06N^2 + 24,35P - 0,18P^2 - 0,05NP \quad (12)$$

Os termos lineares de N e P foram altamente significativos, ao nível de 1% de probabilidade; o termo quadrático do Nitrogênio não se apresentou estatisticamente diferente de zero; o termo quadrático do fósforo mostrou-se com uma significância estatística ao nível de 5%, e a interação NP foi estatisticamente diferente de zero somente ao nível de 25% de probabilidade. O R^2 da regressão foi de 0.50, significativa ao nível de 1%.

Quadro 2. Regressões ajustadas aos dados experimentais.

		EXPERIMENTO						
		1	2		3	1-3		
MODELO		I	II	III	IV	V	VI	VII
Variável								
b_0		2467,56	1679,74	1731,58	4720,25	4645,25	2467,56	2335,91
N		14.75 ^{**}			5.56		14.75 ⁺	11.34 ⁺⁺
N^2		-0.06			0.06		-0.06	-0.002
P		24.35 ^{**}	36.67 ^{**}	38.49 ^{**}	24,31 ⁺	20,63 [*]	24,35 [*]	24,33 ^{**}
P^2		-0.18 [*]	-0.20 ^{**}	-0.20 ⁺	-0,13 [*]	-0,13 ⁺⁺	-0.18 [*]	-0.15 ^{**}
K			1.73					
N * P		-0.05 ⁺			-0.09 ⁺		-0.05	-0.073 ⁺⁺
P * K								
DM							2253,10 ^{**}	2516,38 ^{**}
N * D							-20,31 ^{**}	-13,48 [*]
$N^2 * D$							0,11	
P * D							-0,04	
$P^2 * D$							0.05	
NP * D							-0.04	
F		5.99 ^{**}	17.15 ^{**}	30 ^{**}	4.11 ^{**}	5,60 [*]	29 ^{**}	44 ^{**}
R^2		.50	.69	.65	.41	.25	.84	.83
CV		13.6	20.4	21.0	11.2	12.0	12.3	12.0

níveis de significância: ** = 1%; * = 5%, ++ = 10%; + = 25%

Experimento 2: Estimou-se a regressão, conforme o modelo ' definido pela análise da variância (modelo' II, no quadro 2), e observou-se que o potássio não foi significativamente diferente de zero.

Procedeu-se, então, ao ajuste do modelo III, o qual expressa a produtividade tão somente em termos de fósforo. Este modelo indica que o termo linear de fósforo foi significativo ao nível de 1% e o termo quadrático foi significativo ao nível de 25% de probabilidade.

A equação de regressão estimada foi:

$$\hat{Y} = 1731,58 + 38.49 P - 0,2P^2 \quad (13)$$

Seu R^2 foi de 0.65, significativa ao nível de 1%-

Experimento 3

Efetuada a regressão conforme o resultado da análise de variância (modelo IV) observou-se que o Nitrogênio não foi significativamente diferente de zero, tanto no seu componente linear como no seu componente quadrático.

Ajustou-se, então, uma nova regressão conforme o modelo V. Neste modelo observa-se que o termo linear do fósforo foi significativamente diferente de zero ao nível de 5% de probabilidade. O termo quadrático, neste modelo, apresentou-se significativo ao nível de 10% de probabilidade. Seu R^2 foi de 0.25, significativa ao nível de 5%.

A equação ajustada foi:

$$\hat{Y} = 4645,25 + 20.63P - 0,13P^2 \quad (14)$$

Experimento 1-3: Este experimento representa as observações dos experimentos 1 e 3, que foram agrupados tendo em vista o resultado da análise de variância, que indicou que nelas N e P haviam sido significativos.

Entretanto, ao se efetuar a regressão incluindo a variável dummy para explicar a diferença entre experimentos, e que tem no modelo VI a sua forma completa, observou-se que apenas a variável dummy associada ao intercepto e a interação associada à inclinação da variável $N(D*N)$ é que se apresentou significativa. Por esta razão ajustou-se o modelo VII.

No modelo VII as variáveis foram significantes ao menos ao nível de 10%.

O modelo ajustado foi

$$\hat{Y} = 2335,91 + 11,34N - 0,002N^2 + 24,33P - 0,15P^2 - 0,073NP + 2516,38D - 13,48D*N \quad (15)$$

Este modelo apresentou um R^2 de 0.83, algo superior aos modelos isolados dos experimentos 1 e 3.

Vale salientar, ainda, que quando os experimentos 1 e 3 foram considerados em conjunto, houve a indicação clara da influência do local e ano, influência esta representada pela significância da variável dummy associada ao intercepto e pela significância da interação associada a variável $N(D*N)$.

Fazendo a variável $D = 0$, tem-se a equação que representa o Experimento 1, ou seja

$$\hat{Y} = 2335,91 + 11,34N - 0,002N^2 + 24,33NP - 0,25P^2 - 0,073NP \quad (15.1)$$

Por outro lado, quando se faz D assumir o valor 1 tem-se a equação para o experimento 3, ou seja.

$$\hat{Y} = 4.852,29 - 2,14N - 0,002N^2 + 24,33P - 0,15P^2 - 0,073NP \quad (15.2)$$

Observe-se que nesta equação (15.2) a variável N aparece, em seus termos linear e quadrático com coeficientes negativos. Isto estaria a indicar que a produtividade marginal do Nitrogênio não só seria decrescente como também negativa.

4. CÁLCULO DAS DOSAGENS ECONÔMICAS

Aplicando os coeficientes de regressão das equações ajustadas às expressões (8.5) e (9.5) encontra-se, respectivamente, as equações de níveis ótimos de N e de P, as quais se apresentam relacionadas com os preços relativos do fósforo e do nitrogênio em relação ao preço do produto.

4.1 - Experimento 1

4.1.1 - Dosagens econômicas

Escolhida a função de produtividade como sendo a representada pela equação (15.1) tem-se as seguintes equações de níveis ótimos:

$$N^* = - 393,78 + 72,66 \frac{P_N}{P_Y} - 17,68 \frac{P_P}{P_Y} \quad (16)$$

$$P^* = 176,92 + 0,97 \frac{P_P}{P_Y} - 17,68 \frac{P_N}{P_Y} \quad (17)$$

Estas equações (16) e (17) se apresentam com características não esperadas nas relações econômicas usuais já que à medida que o preço relativo do insumo cresce também cresce a sua dosagem econômica, o que se contrapõe com uma aplicação racional da teoria da demanda.

Isto ocorreu porque o coeficiente do nitrogênio quadrático é bastante baixo ($b_{11} = -0.002$), favorecendo para que o denominador das expressões (8.5) e (9.5) fosse negativo. Isto, por outro lado, implicou na reversão dos sinais dos preços relativos, como indicado pelas equações (16) e (17).

Além disso, a equação (16) está a indicar que o máximo físico da produtividade ocorre quando $N = -393,78$ e quando $P = 176,92$. Isto pode ser verificado igualando-se a zero as relações de preço e substituindo-as na equação (16). Observe-se que a quantidade de fósforo máxima está fora do limite utilizado. Isto é equivalente a utilizar diretamente as relações (8.6) e (9.6).

Por estas razões tomar-se-ão as equações ajustadas para os experimentos isoladamente, representados pelas equações (12), (13) e (14) já apresentadas.

Para o experimento 1 tomar-se-á o modelo I ajustado que pode ser assim expresso:

$$\hat{Y} = 2467,56 + 14,75N - 0,06N^2 + 24,35P - 0,18P^2 - 0,05NP \quad (12)$$

A aplicação direta das fórmulas (8.5) e (9.5) à regressão (12) resulta em:

$$N^* = 100,55 - 8,85 \frac{P_N}{P_Y} - 1,23 \frac{P_P}{P_Y} \quad (12.1)$$

$$P^* = 53,67 - 2,95 \frac{P_P}{P_Y} - 1,23 \frac{P_N}{P_Y} \quad (12.2)$$

Das equações (12.1) e (12.2) tem-se que o nível máximo de produtividade ocorre quando $N=100$ e $P=54$ kg, aproximadamente. Substituindo estes valores na equação (12) resulta que a produtividade máxima é da ordem de 3860 kg/ha. Este resultado está compreendido, aproximadamente, no intervalo das dosagens de N (0-40-80) e de P (0-60-120).

Far-se-á, agora, a partir das equações (12.1) e (12.2), uma análise de sensibilidade das dosagens ótimas, consideradas al gumas relações de preços. Tomou-se o preço do arroz com base nos preços mínimos de 1973 e 1974, épocas de realização dos experimentos. O nitrogênio foi calculado como oriundo do sulfato de amônio com 20%, e seus preços relacionados com os anos de 1973 e 74. O fósforo foi tomado como oriundo do superfosfato triplo, com 48% de P_2O_5 . O quadro 3 indica as situações objeto de estudo.

Quadro 3 - Preços de arroz, nitrogênio e fósforo, 1973-1974 ^{**}

	ANO (Cr\$/kg)	
	1973	1974
Preço do Arroz (P_Y)	0.55	0.66
Preço do Nitrogênio (P_N)	4.25	10.10
Preço do Fósforo (P_P)	2.24*	6.73

* - estimativa; ** - dados da FGV,

A partir dos preços acima foram estabelecidos os preços relativos e, com estes, far-se-á uma análise de sensibilidade das dosagens ótimas. Os resultados das análises estão nos quadros 4 e 5.

No quadro 4 são apresentadas diferentes combinações de preços relativos do nitrogênio e do fósforo e suas implicações sobre a dosagem ótima.

Observe-se que, para o preço relativo de nitrogênio igual a zero ($P_N/P_Y = 0$) a dosagem ótima de nitrogênio pode variar de 100 kg/ha, quando $P_P/P_Y = 0$, até zero quando $P_P/P_Y = 81,7$.

Quadro 4. Análise da sensibilidade das dosagens ótimas de Nitrogênio (N*), frente a variações nos preços relativos do Nitrogênio e do Fósforo, Experimento 1.

$\frac{P_P/P_Y}{P_N/P_Y}$	0	3	4	10	24	38.6	81.7
0	100.55	96.9	95.6	88,3	71.0	53.1	0
6	47.45	43.8	42.5	35.2	17.9	0	
8	29.75	26.1	24.8	17.5	0		
10	12.05	8.4	7.1	0			
10.8	5.0	1.3	0				
10.9	4.1	0					
11.4	0						

Quadro 5. Análise da sensibilidade das dosagens ótimas de Fósforo (P*), frente a variações nos preços relativos de Nitrogênio e de Fósforo, Experimento 1.

$\frac{P_N/P_Y}{P_P/P_Y}$	0	4	8	12	34	36.4	43.6
0	53.7	48.8	43.8	38.9	11.9	8.9	0
3	44.8	39.9	35.0	30.1	3.0	0	
4	41.9	37.0	32.0	27.1	0		
13	15.3	10.4	5.5	0			
14.9	9.7	4.8	0				
16.5	5.0	0					
18.2	0						

Tomando, por outro lado, a relação de preço $P_P/P_Y=0$, as dosagens ótimas de nitrogênio variam de 100 kg, quando $P_N/P_Y = 0$, até zero, quando $P_N/P_Y=11.4$. Isto nos permite concluir que, dada a função de produtividade ajustada a relação de preços P_N/P_Y deve ser inferior a 11.4 para que o nitrogênio participe do processo produtivo.

A análise do quadro 5 permite indicar que a máxima produtividade física do arroz seria alcançada quando fossem aplicados em torno de 54kg de fósforo, para o que seria necessário que os preços relativos de fósforo e de nitrogênio fossem nulos.

Se levarmos em conta que o intervalo do preço relativo de fósforo se encontra entre zero e 13 e que o intervalo do preço relativo do nitrogênio se encontra entre zero e 8, observa-se, do quadro 5, que a dosagem ótima do fósforo estará contida entre 53.7 e 5.5 kg/ha.

4.1.2. Taxas de Retorno do Experimento 1

O quadro 6 apresenta as taxas de retorno médio e marginal, para o experimento 1. Foram considerados os preços do arroz como sendo Cr\$ 0.55; nitrogênio como sendo Cr\$ 4.25 e fósforo como sendo Cr\$ 2.24. Isto equivale às relações $P_N/P_Y \approx 8$, $P_P/P_Y \approx 4$.

O quadro 6 indica que para aos preços estipulados o máximo retorno médio se verifica quando se aplica em torno de 60 kg de fósforo. A este nível de aplicação o retorno médio devido a aplicação é de 12.5, enquanto que o retorno marginal correspondente é de -1. Isto equivale dizer que fósforo está sendo utilizado além do seu nível econômico. Alternativamente tem-se que a combinação

de 32kg de P com 27kg de N (que são as combinações ótimas para este conjunto de preços) produz um mesmo lucro líquido idêntico à aplicação de 60kg de fósforo. Neste segundo caso, o retorno médio é de 18.9 e o retorno marginal é zero, indicando ser esta a dosagem ótima aos preços estipulados.

Quadro 6 - Retornos médio e marginal do uso de fertilizantes em arroz, Experimento 1^a/

DOSAGENS (kg/ha)		Produção (kg/ha)	Valor de Produção (Cr\$/ha)	Custo de Adubação (Cr\$/ha)	Retorno médio --	Retorno marginal --	Lucro líquido (Cr\$/ha)
N	P						
0	0	2468	1357	0	--	--	570,50
0	120	2798	1539	269	4.7	-0.32	483,50
40	0	2962	1629	170	8.6	-1.9	672,50
40	120	3052	1679	439	2.8	-1.2	453,50
80	120	3114	1713	609	1.8	-0.80	317,50
80	0	3264	1795	340	4.3	-1.3	668,50
0	60	3281	1805	134	12.5	-1.0	884,50
27	32	3377	1857	186	18.9	0.0	884,50
80	60	3837	2110	474	3.5	-0.12	849,50

a/ A função ajustada foi:

$$\hat{Y} = 2467,56 + 14,75N - 0,06N^2 + 24,35P - 0,18P^2 - 0,05NP$$

b/ Foi considerado o preço do arroz no nível de Cr\$ 0,55/kg.

c/ O nitrogênio foi calculado ao preço de Cr\$ 4,25/kg e o fósforo ao preço de Cr\$ 2.24/kg.

d/ Retorno médio = $\frac{\text{valor da produção}}{\text{custo da adubação}} - 1 = \frac{\text{coluna b}}{\text{coluna c}} - 1$

e/ Retorno marginal = $\frac{\text{variação do valor da produção}}{\text{variação do custo da adubação}} - 1$

f/ Lucro Líquido = (Valor de Produção) - (Custo da adubação) - (cr\$ 786,50)**

** - O valor de cr\$ 786,50 corresponde ao custo dos outros fatores, aqui considerado como custo fixo. A decomposição deste custo consta do apêndice deste trabalho.

Para o cálculo do retorno marginal inicialmente se coloca a produção em ordem crescente. A partir daí calcula-se a variação do valor da produção e a variação do custo da adubação somando-se a diferença respectiva entre cada dosagem e a dosagem imediatamente anterior.

4.2 - Experimento 2

4.2.1 - Dosagens econômicas do experimento 2

Para o experimento 2 ajustou-se a equação

$$\hat{Y} = 1731.58 + 38.49P - 0.2P^2 \quad (13)$$

Da equação (13) pode-se, facilmente, determinar a equação de níveis ótimos de fósforo. Esta equação corresponde a

$$P^* = 96.23 - 2.5 \frac{P_P}{P_Y} \quad (13.1)$$

A partir da equação (13.1) serão feitas as análises de sensibilidade, que constam no quadro 7.

Quadro 7. Análise de sensibilidade das dosagens ótimas de fósforo (P^*) frente a variações no preço relativo do fósforo, experimento 2.

P_P/P_Y	P^*	P_P/P_Y	P^*
0	96.2	10	71.3
2.5	90.0	12	66.3
3	88.7	14.5	60.0
4	86.2 ✓	26.5	30.0
6	81.2	38.5	0
8	76.2		

O quadro 7 nos permite visualizar que o máximo físico da função é alcançado quando o nível de fósforo estiver em torno de 96 kg. A esta dosagem corresponde uma produtividade da ordem de 3583kg.

Observa-se também, que estando a relação de preços do fósforo (P_P/P_Y) no intervalo entre 2.5 e 6.0 ocorrem pequenas variações na dosagem ótima, o mesmo ocorrendo no intervalo de 8 a 12. Para que fósforo não participasse do processo produtivo, seria necessário que a relação de preços fosse da ordem de 38,5, o que indica que quando o preço do fósforo fosse 38,5 vezes o preço do arroz, fósforo não entraria no processo produtivo.

4.2.2. Taxas de retorno do Experimento 2

O quadro 8 apresenta as taxas de retorno médio e marginal para o experimento 2. Foram considerados, os preços de Cr\$... 0,55 para o quilo de arroz e de Cr\$ 2.24 para o quilo de fósforo.

Quadro 8 - Retornos médio e marginal do uso de fertilizante em arroz, Experimento 2; (Preço do Arroz Cr\$ 0,55; Preço do fósforo Cr\$ 2,24/kg ; Outros Custos Cr\$ 786,50)

	DOSAGEM de P (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO MÉDIO --	RETORNO MARGINAL ---	LUCRO * LÍQUIDO (Cr\$/ha)
	0	1732	953	0	--	--	165,50
	20	2421	1332	45	28.6	7.4	500,50
	40	2951	1624	90	17.0	5.5	746,50
	60	3320	1826	135	12.6	3.5	904,50
	80	3530	1942	180	9.8	1.6	974,50
	85	3558	1957	190	9.3	0.5	980,50
	86	3563	1960	193	9.2	0.0	980,50
	90	3576	1967	202	8.7	-0.22	978,50
	100	3580	1969	224	7.8	-0.91	958,50
	110	3545	1950	246	6.9	-1.9	917,50
	120	3470	1909	269	6.1	-2.8	853,50

* Lucro Líquido = (Valor da Produção)-(Custos de Adubação)-(Outros custos)

Do quadro 8 observa-se que a dosagem ótima de fósforo , para a situação de preços proposta, está em redor de 86 kg, pois à esta dosagem corresponde o retorno marginal zero.

Os quadros 9, 10 e 11 apresentam situações alternativas de preços e suas influências sobre as dosagens econômicas.

Quadro 9 - Retornos médio e marginal do uso de fertilizantes em arroz, Experimento 2 (Preço do arroz = Cr\$ 0.55; Preço do fósforo = Cr\$ 6.73 ; Outros Custos Cr\$ 786,50)

DOSAGEM (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO * Líquido (Cr\$/ha)
0	1732	953	0	--	--	166,50
20	2421	1332	135	8.9	1.8	410,50
40	2951	1624	269	5.0	1.2	568,50
60	3320	1826	404	3.5	0.49	635,50
65	3388	1863	437	3.2	0.12	639,50
65.64	3396	1868	442	3.2	0	639,50
70	3446	1895	471	3.3	-0.06	637,50

*Lucro Líquido = (Valor da Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros custos)

Quadro 10 - Retornos médio e marginal do uso de fertilizantes em arroz, Experimento 2, (Preço do arroz = Cr\$ 0.66, Preço do fósforo Cr\$ = 2.24 ; Outros Custos Cr\$ 736,50)

DOSAGEM (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO * Líquido (Cr\$/ha)
0	1732	1143	0	--	--	356,50
20	2421	1598	45	34.5	9.1	766,50
40	2951	1948	90	20.6	6.8	1071,50
60	3320	2191	135	15.2	4.4	1269,50
70	3446	2274	157	13.5	2.8	1330,50
80	3530	2330	180	11.9	1.4	1363,50
85	3558	2348	190	11.4	0.80	1371,50
87.7	3569	2356	196	11.0	0.33	1373,50
90.0	3576	2360	202	10.7	-0.33	1371,50

* Lucro Líquido = (Valor da Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros Custos)

VINCULADA AO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

Quadro 11. - Retornos médio e marginal do uso de fertilizantes em arroz, Experimento 2, (Preço do arroz = Cr\$ 0,66; Preço do fósforo Cr\$ = 6.73; Outros Custos Cr\$ 736,50)

DOSAGEM (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO * Líquido (Cr\$/ha)
0	1732	1143	0	--	--	356,50
20	2421	1598	135	10.8	2.4	676,50
40	2951	1948	269	6.2	1.6	892,50
60	3320	2191	404	4.4	0.80	1000,50
70	3446	2274	471	3.8	0.24	1016,50
70.7	3453.5	2279	476	3.8	0	1016,50
80	3530	2330	538	3.3	-0.18	1005,50

*Lucro Líquido = (Valor da Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros Custos)

4.3 - Experimento 3

4.3.1 - Dosagens econômicas

Para o experimento 3 ajustou-se a seguinte equação de regressão:

$$\hat{Y} = 4645,25 + 20,63P - 0,13P^2 \quad (14)$$

que é a equação (11) anteriormente apresentada e discutida.

Desta equação pode-se determinar, facilmente, a equação de níveis ótimos de fósforo. Esta equação é

$$P^* = 79,35 - 3,85 P_P/P_Y \quad (14.1)$$

A partir da equação (14.1) serão feitas as análises de sensibilidade que constam do quadro 12.

Quadro 12 - Análise de sensibilidade das dosagens ótimas de fósforo (P^*) frente a variações no preço relativo do fósforo experimento 3.

P_P/P_Y	P^*	P_P/P_Y	P^*
0	79.4	10	40.9
3	67.8	12	33.2
4	64.0	12.8	30.0
5	60	20.6	0
8	48.6		

O quadro 12 nos indica que o máximo físico da função é alcançado quando o nível de fósforo estiver em torno de 79,kg. A esta dosagem corresponde uma produtividade da ordem de 5463kg.

Observa-se, também, que ocorrendo a relação de preço P_P/P_Y no intervalo de 3 a 5, a dosagem ótima de fósforo correspondente estaria entre 67,8 kg e 60,kg, respectivamente.

Para relações de preço acima de 12 as dosagens econômicas de fósforo seriam inferiores a 30kg.

4.3.2 - Taxas de Retorno do Experimento 3

O quadro 13 apresenta as taxas de retorno médio e marginal para o experimento 3. Foram considerados os preços de Cr\$.... 0,55 para o quilo do arroz e de Cr\$ 2,24 para o quilo do fósforo.



Quadro 13. - Retornos médio e marginal do uso de fertilizante em arroz, Experimento 3. (Preço do arroz = Cr\$ 0,55; Preço do fósforo = Cr\$ 2,24; Outros Custos Cr\$ 786,50)

DOSAGEM (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO* Líquido (Cr\$/ha)
0	4645	2555	0	-	-	1768.5
20	5006	2753	45	60.2	3.4	1921.50
40	5262	2894	90	31.2	2.1	2017.50
60	5415	2978	135	21.1	0.37	2056.50
63.68	5431	2987	143	19.9	0	2057.50
70	5452	2999	157	18.1	-0.14	2055.50

* Lucro Líquido = (Valor da Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros custos)

Do quadro 13 observa-se que a dosagem ótima de fósforo, para a situação de preços proposta, está em redor de 64kg.

Os quadros 14, 15 e 16 apresentam situações alternativas de preços e suas influências sobre as dosagens econômicas.

Quadro 14. Retornos médio e marginal do uso de fertilizante em arroz, Experimento 3. (Preço do arroz = Cr\$ 0,55, Preço do fósforo = Cr\$ 6,73; Outros Custos Cr\$ 786,50)

DOSAGEM (kg, ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO* Líquido (Cr\$/ha)
0	4645	2555	0	-	-	1768,50
20	5006	2753	135	19.4	0,47	1831,50
30	5147	2830	202	13.0	0,15	1841,50
32.28	5175	2846	213	12.1	0.	1841,50
40	5262	2894	269	9.8	-0.06	1833,50

* Lucro Líquido = (Valor da Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros Custos)

Quadro 15 - Retornos médio e marginal do uso de fertilizante em arroz, Experimento 3. (Preço do arroz = Cr\$ 0,66; Preço do fósforo = Cr\$ 2,24; Outros Custos Cr\$ 786,50).

DÓSAGEM (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO Líquido (Cr\$/ha)
0	4645	3066	0	-	-	2279,50
20	5006	3304	45	73.4	4.3	2472,50
40	5262	3473	90	37.6	2.8	2596,50
60	5415	3574	135	25.5	1.2	2652,50
65	5436	3588	146	23.6	0,27	2655,50
66,29	5441	3591	149			2655,50
70	5452	3598	157			2654,50

* Lucro Líquido = (Valor de Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros Custos)

Quadro 16 - Retornos médio e marginal do uso de fertilizante em arroz, Experimento 3. (Preço do arroz = Cr\$ 0,66; Preço do fósforo = Cr\$ 6.73; Outros Custos Cr\$ 786,50).

DOSAGEM (kg/ha)	PRODUÇÃO (kg/ha)	VALOR DA PRODUÇÃO (Cr\$/ha)	CUSTO DA ADUBAÇÃO (Cr\$/ha)	RETORNO médio --	RETORNO marginal --	LUCRO * Líquido (Cr\$/ha)
0	4645	3066	0	-	-	2279,50
20	5006	3304	135	23.5	0.75	2382,50
40	5262	3473	269	11.9	0.26	2417,50
50	5352	3532	337	9.5	-0.13	2408,50

* Lucro Líquido = (Valor de Produção) - (Custo de Adubação) - (Outros Custos).

5. SUMÁRIO E CONCLUSÕES

As superfícies de respostas ajustadas aos dados experimentais resultantes da aplicação de fertilizantes no cultivo do arroz, em diferentes localidades da Transamazônica estão a indicar que a cultura de arroz tem respondido, com alguma intensidade, às aplicações de fertilizantes.

No experimento 1, do KM48, realizado em 1972, verificou-se que arroz respondeu a nitrogênio e a fósforo. A equação de regressão ajustada foi $\hat{Y} = 2467,56 + 14,75N - 0,06N^2 + 24,35P - 0,18P^2 - 0,05NP$. Considerados os preços de Cr\$ 0,55 para o quilo de arroz; Cr\$ 2,24 para o quilo do fósforo e de Cr\$ 4,25 para o quilo de nitrogênio, o que equivale dizer, para relações de preços $P_N/P_Y \cong 7.7$ e $P_P/P_Y \cong 4.1$, a análise econômica demonstrou que o melhor tratamento para este experimento correspondeu à aplicação de 27kg/ha de N e 32kg/ha de P, com uma produtividade de 3377kg/ha. Com esta dosagem, a taxa de retorno média foi de 10,0, indicando que cada cruzeiro gasto em adubação resultava em 10 cruzeiros de renda líquida. A produtividade física máxima seria alcançada quando $N \cong 100\text{kg/ha}$ e $P \cong 54\text{kg/ha}$, o que corresponderia à uma produtividade 3860kg/ha.

Para o experimento 2, realizado no KM101 em 1973, a equação de regressão ajustada foi $\hat{Y} = 1731,58 + 38,49P - 0,2P^2$, indicando que, neste caso, o arroz respondeu somente ao fósforo. O máximo físico seria alcançado quando $P = 96\text{kg/ha}$, o que corresponderia a uma produtividade da ordem de 3583 kg/ha. Para as relações de preços $P_N/P_Y \cong 7.7$ e $P_P/P_Y \cong 4.1$ a análise econômica demonstrou que o melhor tratamento para este experimento, correspondeu à

EMBRAPA

aplicação de 86kg/ha de P, com uma produtividade de 3563kg/ha. Com esta dosagem, a taxa de retorno média foi de 9.2.

O experimento 3 foi realizado no KM101 no ano de 1974 . A equação de regressão ajustada foi $\hat{Y} = 4645,25 + 20.63P - 0.13P^2$. A produtividade física máxima seria alcançada quando $P \approx 79\text{kg/ha}$, o que corresponderia a uma produtividade de 5463kg/ha. Consideradas as relações de preços $P_N/P_Y \approx 7.7$ e $P_P/P_Y \approx 4.1$, a análise econômica demonstrou que a dosagem econômica ótima de fósforo estaria em torno de 64kg/ha, a qual corresponderia uma produtividade de 5431kg/ha. A esta dosagem a taxa de retorno média foi de 19.9.

Foram feitas, ainda, algumas análises de sensibilidade das dosagens econômicas frente a variação nos preços relativos dos fertilizantes.

Convém ressaltar que não foram introduzidos no trabalho elementos associados a risco e incerteza.

mmb/

VINCULADA AO MINISTÉRIO DA AGRICULTURA

A P Ê N D I C E

Composição do Custo de Produção de lha de Arroz, no Pará^{1/}

<u>CUSTO VARIÁVEL</u>	<u>1.792,14</u>
Mão de Obra	1.438,52
Sementes	123,89
Adbos e Sementes	3,44
Outros (2)	226,29
<u>CUSTO FIXO</u>	<u>372,14</u>
Terra	370,27
Outros (3)	1,87
<u>CUSTO TOTAL</u>	<u>2.164,28</u>

FONTE: CFP/DPE

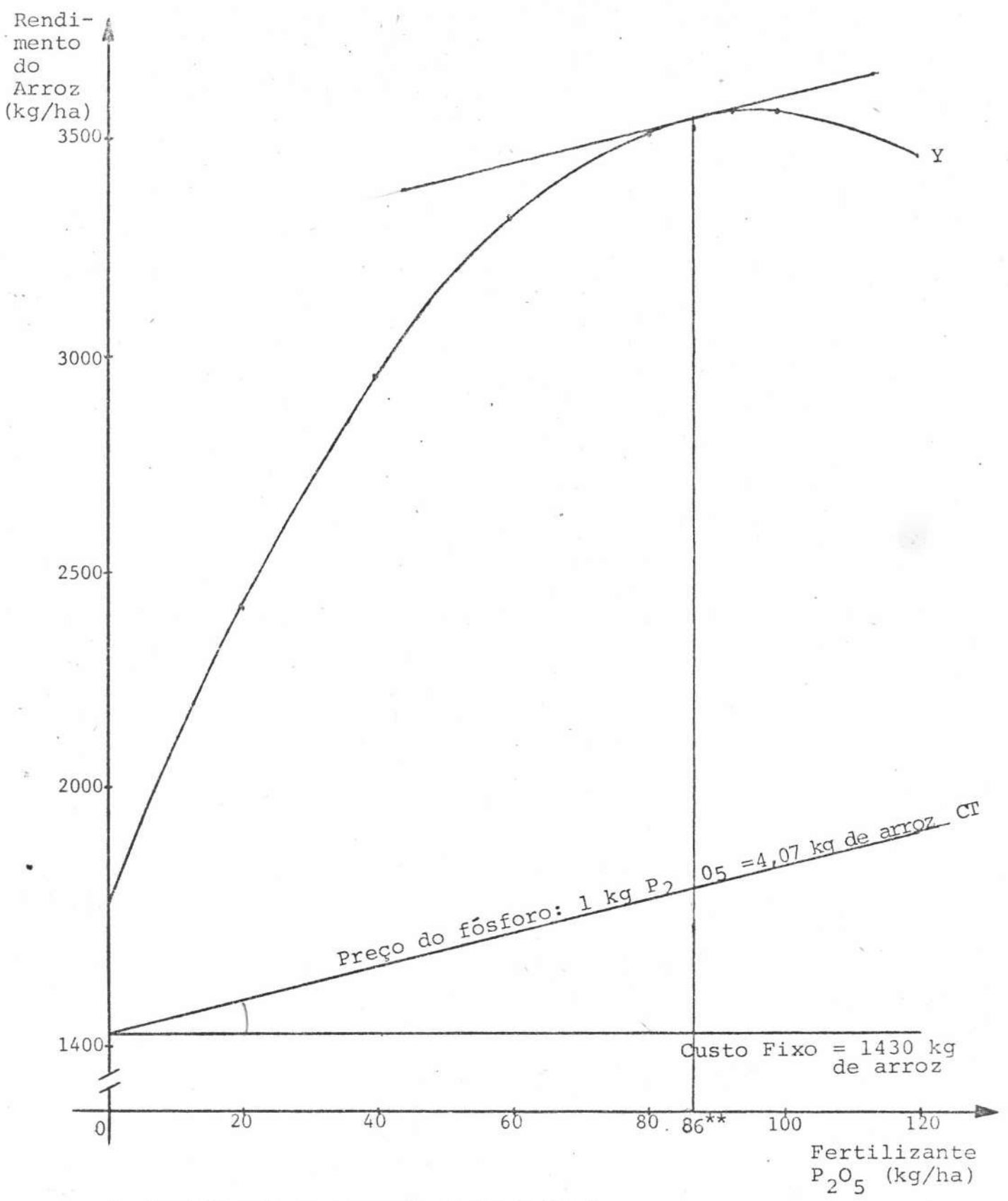
- (1) Elaborado considerando os preços correntes de insumos, em outubro/1975.
- (2) Inclui remuneração ao capital de giro, custo de máquinas, implementos, animais e transporte.
- (3) Inclui remuneração ao capital fixo aplicado em máquinas, implementos, animais, etc.

OBS.: Em outubro de 1975, o preço pago por quilo de arroz foi de Cr\$ 1,51.

Pelos dados do Custo acima, tem-se que o Custo total de produção, por hectare, foi equivalente a aproximadamente, 1430kg de arroz, ao preço de outubro/75.

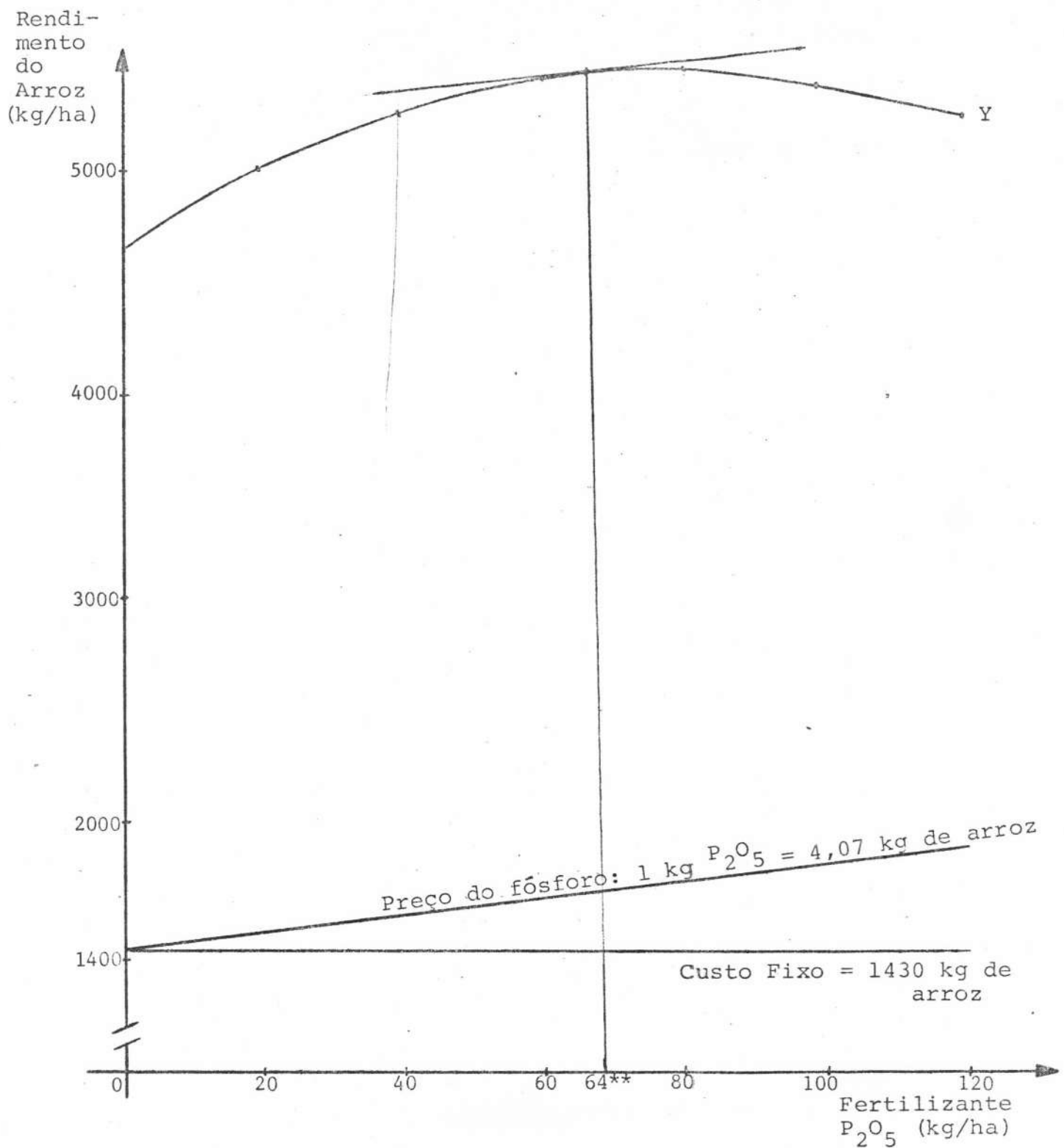
À época de realização dos experimentos objetos de análise, o preço do arroz, pago ao produtor, oscilava na faixa de Cr\$.. 0,55 a 0,66.

Consideramos para fins práticos, o valor de Cr\$ 786,50, (= 1430kg x Cr\$ 0,55/kg) como sendo o custo dos outros fatores de produção que não fertilizantes.



* Considerando-se a equação de Custo Total
 $CT = 1430 + 4,07 P_2O_5 / P_Y$
 ** Dosagem econômica $\approx 86,00$ kg/ha.

EMBRAPA Determinação da dosagem econômica* do Experimento 3, pelo método gráfico, onde $Y = 4645,25 + 20,63P - 0,13P^2$



* Considerando-se a equação de CUSTO TOTAL
 $CT = 1430 + 4,07 \frac{P_p}{P_y}$

** Dosagem econômica ≈ 64 kg/ha.