



EMBRAPA

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA
CENTRO NACIONAL DE PESQUISA – ARROZ, FEIJÃO

INTERPRETAÇÃO AGRO-ECONÔMICA DE ENSAIOS DE ADUBAÇÃO

INTERPRETAÇÃO AGRO-ECONÔMICA DE ENSAIOS DE ADUBAÇÃO

Wayne Robert Kussow
kenton Rex Corum
Fernando Maida Dall'Acqua

ERRATA

Na pág. 38, nota 12, do rodapé,
onde se lê: ...se verificam as
seguintes condições...
leia-se: ...se se verificam as
condições...

ÍNDICE

1. SINOPSE.	7
2. Introdução.	7
3. Interpretação Agronômica.	8
4. Resultados e Discussão.	20
5. Interpretação Econômica.	27
6. Análise Econométrica.	37
7. Literatura Citada.	47
8. Agradecimento.	48
9. Abstract.	49

APRESENTAÇÃO

Partindo de resultados existentes, este trabalho propôs-se a formular novas recomendações de adubação sob o aspecto agrônômico e econômico, demonstrando as técnicas que devem ser aplicadas para interpretação de ensaios de adubação.

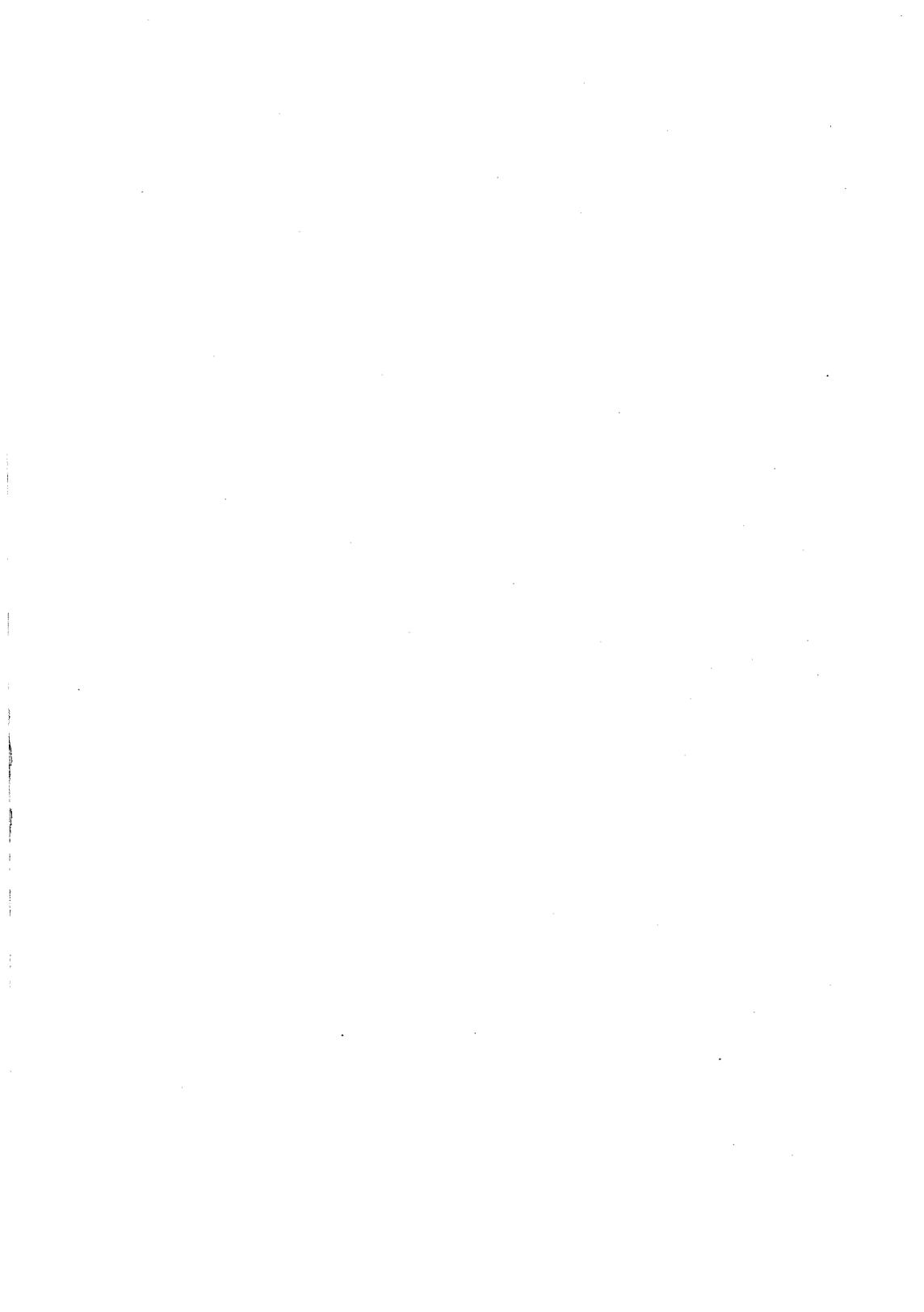
Presta-se, por outro lado, a evidenciar aos pesquisadores os tipos de informações inexistentes ou deficitárias, a fim de que realizem pesquisas que as completem.

Espera-se que este trabalho sirva, também, de estímulo a que os pesquisadores procedam a interpretações semelhantes com os dados de que disponham, gerando, destarte, informações melhores e mais concretas aos produtores.



José Francisco Valente Moraes

Chefe do CNPAF.



INTERPRETAÇÃO AGRO-ECONÔMICA DE ENSAIOS DE ADUBAÇÃO¹

Wayne Robert Kussow² Kenton Rex Corum³ e Fernando Maida Dall'Acqua⁴

SINOPSE. — Os resultados de ensaios de adubação de arroz de sequeiro realizados no sul de Goiás foram interpretados do ponto de vista agrônomo e econômico.

Na interpretação agrônoma, foram construídas curvas de calibração para as análises de solo para o fósforo e o potássio e utilizadas para formulação de novas recomendações de adubação de arroz de sequeiro para a região sul do Estado.

Na interpretação econômica, as novas recomendações foram comparadas com as recomendações existentes, através da análise de custo-retorno e de uma análise econométrica onde se utilizou de uma função de produtividade quadrática. Em comparação com as recomendações existentes, as recomendações propostas pelo presente trabalho mostraram certas vantagens econômicas, principalmente por definir as análises de solo, acima das quais não compensa ao produtor aplicar fósforo e potássio.

As interpretações realizadas, além de apresentarem uma metodologia útil e de fácil aplicação, apontaram também os tipos de pesquisa necessários para melhorar as recomendações de adubação para o arroz de sequeiro no sul de Goiás.

INTRODUÇÃO

Existem no país muitos dados de pesquisa que, até hoje, não foram interpretados em termos de recomendações para o produtor. Essa situação é particularmente comum no caso de ensaios de adubação. Sem dúvida, há muitas razões para essa lamentável situação. Talvez, uma delas seja a falta de conhecimentos das técnicas que devam ser aplicadas para transformar os resultados de ensaios de adubação em recomendações, baseadas nas análises de solo.

¹ Aceito para publicação em 25/10/76.

² Pesquisador Ph. D em Fertilidade de Solos, do Centro Nacional de Pesquisa — Arroz, Feijão, BR-153, km 4, Goiânia-Anápolis.

³ Pesquisador Ph. D em Economia, do International Agricultural Programs, University of Wisconsin, Madison, Wisconsin — U.S.A.

⁴ Pesquisador M.S. em Economia, do Centro Nacional de Pesquisa Arroz, Feijão, BR-153, km 4, Goiânia-Anápolis.

O objetivo principal do presente trabalho é demonstrar as técnicas para a interpretação de ensaios de adubação, na esperança de que isto estimule os pesquisadores no país a fazerem interpretações semelhantes com dados existentes. Essas interpretações não somente trarão ao produtor as melhores recomendações possíveis, mas também demonstrarão mais claramente aos pesquisadores quais os tipos de informações ainda não existentes ou insuficientes, para que se possam tirar conclusões definitivas. Neste caso servirão, também, para orientar a pesquisa de tal maneira que não sejam executadas aquelas que simplesmente repetem informações já existentes, mas sim, as que procuram completar, complementar ou trazer novas informações.

Como objetivo corolário, pretende-se apresentar, com base nos resultados da análise, uma tabela de recomendação de adubação para arroz de sequeiro, para os solos do sul de Goiás. Como será evidenciado posteriormente, essa tabela apresenta algumas limitações decorrentes da deficiência dos dados analisados. Porém, acredita-se que ela seja uma aproximação razoável que, na falta de dados que permitam conclusões definitivas, poderá ser útil para orientar as recomendações de adubação ao produtor.

INTERPRETAÇÃO AGRONÔMICA

Material e Métodos

Seleção dos Dados. Os resultados interpretados aqui são de 129 ensaios de adubação de arroz de sequeiro, executados no sul de Goiás pelo programa FAO/ANDA/ABCAR, pelo Ministério da Agricultura e pela Secretaria da Agricultura, nos anos agrícolas de 1967/68 a 1972/73. Os ensaios foram executados em mais de 40 locais diferentes dentro da região.

Como regra geral, nem todos os dados existentes servem para uma interpretação do tipo a ser utilizado aqui. Para isso, devem satisfazer os seguintes critérios: a) os dados de cada ensaio devem ser acompanhados por análises do solo amostrado antes da aplicação do adubo; b) os dados de cada ensaio devem definir para todos os nutrientes, que estão sendo pesquisados, os níveis máximos, ou seja, aqueles que dão a produtividade máxima da cultura; c) a produtividade da cultura deve ser limitada somente pelos nutrientes que estão sendo pesquisados, e não por qualquer outro nutriente essencial ou outro fator controlável, tal como forte infestação de invasoras.

A aplicação destes critérios aos resultados dos 129 ensaios do arroz de sequeiro do sul de Goiás resultou numa taxa de rejeição de 86%. Em outras palavras, somente os resultados de 21 dos 129 ensaios foram úteis nesta interpretação.

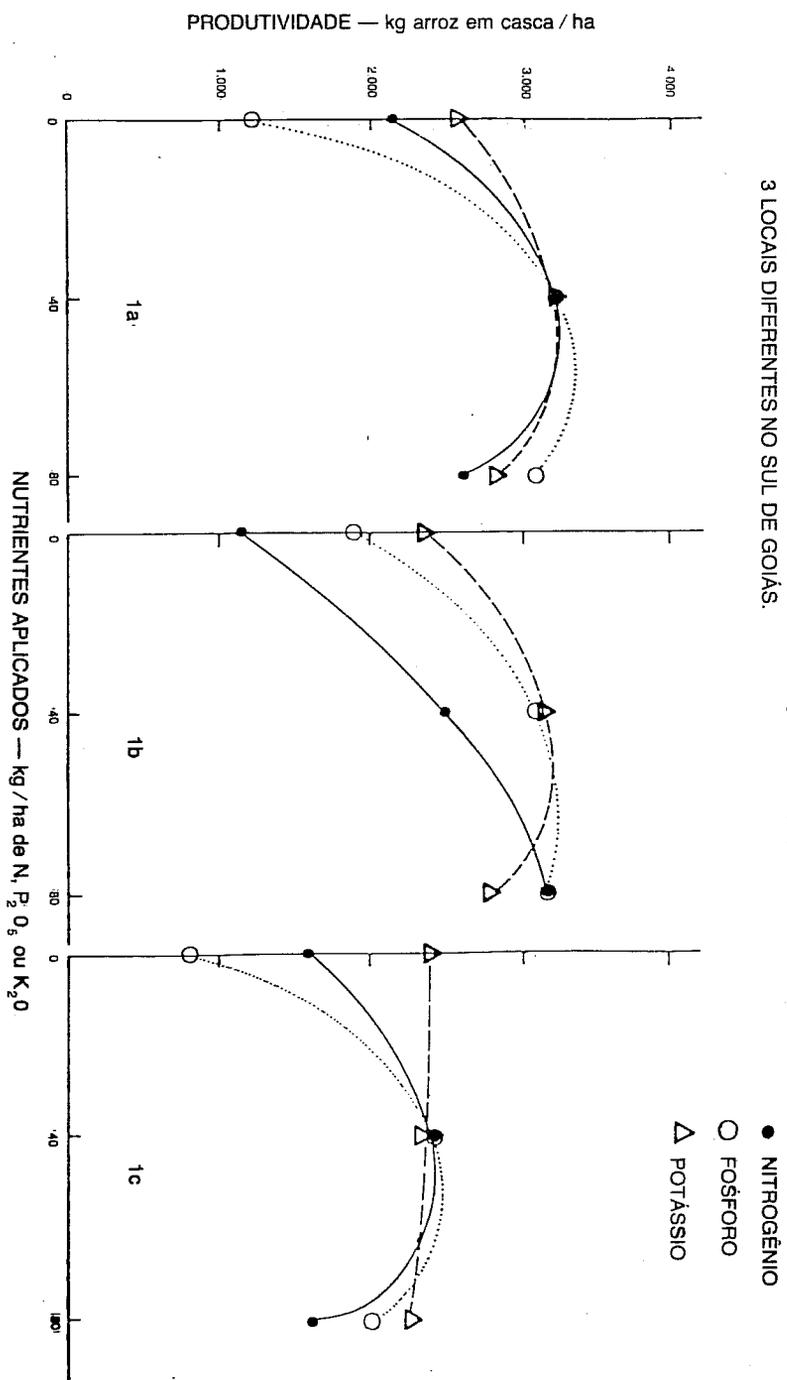


FIG. 1 - AS RESPOSTAS DE ARROZ DE SEQUEIRO A APLICAÇÕES DE N, P, E K EM 3 LOCAIS DIFERENTES NO SUL DE GOIÁS.

A principal razão de rejeição dos ensaios foi a falta de definição dos níveis máximos de N, P e K. Essa característica é essencial porque, como veremos na segunda etapa do processo de interpretação, será necessário calcular, para cada ensaio, as produtividades relativas (produtividade sem a aplicação de N, P ou K ÷ produtividade máxima do ensaio).

Uma inspeção visual serve para identificar a maioria dos casos em que as dosagens de um ou mais dos nutrientes não foram suficientes para atingir a produtividade máxima. Nos casos em que a dosagem mais pesada foi aparentemente ótima, devem-se, para confirmar esse fato, fazer as curvas de resposta (produtividade x dosagem do nutriente) para os três nutrientes e observá-las em conjunto, para se saber se estão definidas as doses ótimas dos três nutrientes.

Para tornar mais clara a utilização deste critério, várias curvas de resposta, para ensaios de adubação de arroz de sequeiro no sul de Goiás, são apresentadas na Fig. 1. Na Fig. 1a, as curvas de resposta definem bem as dosagens máximas dos três nutrientes N, P e K. Assim, os resultados do ensaio servem para a interpretação que se está fazendo aqui. Na fig. 1b, as dosagens foram insuficientes para definir o nível máximo de N. No caso de P, parece que a dosagem de 80 kg de P_2O_5 /ha foi ótima, mas, devido ao fato de a resposta ao N não ter atingido um máximo, não se pode concluir que as respostas ao P ou K foram as máximas possíveis, dentro das condições ambientais do experimento, devendo os dados serem rejeitados. Na Fig. 1c, não houve resposta positiva ao K, mas a sua análise no solo foi de 78 ppm, que, mais tarde, será mostrada como quantidade suficiente para o arroz de sequeiro. Assim, as respostas ao N e P são válidas para os fins de interpretação.

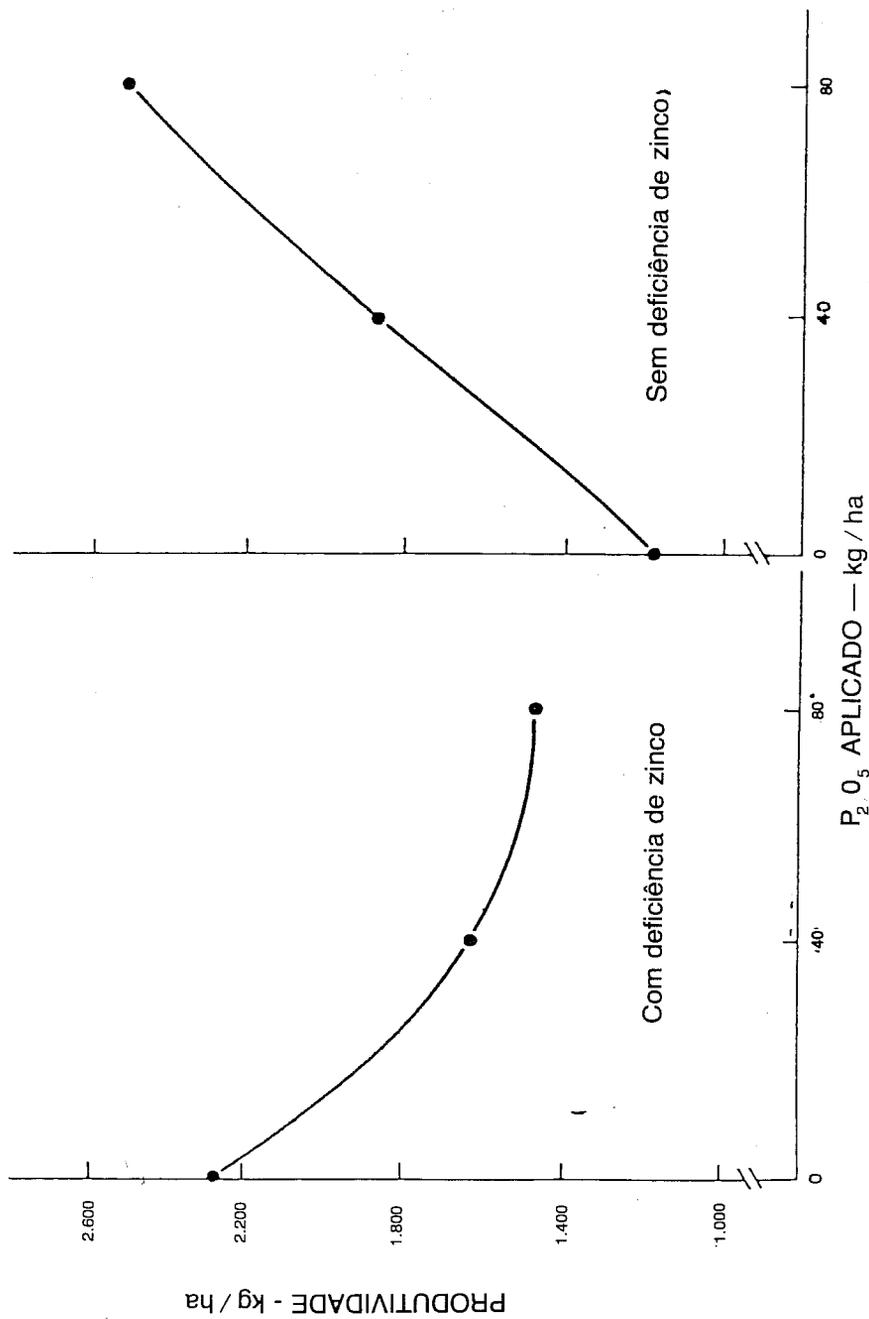
Outra razão de rejeição foi que, dos 129 ensaios, 21 não estavam acompanhados por análises de solo ou estas estavam incompletas. Assim, os resultados destes 21 ensaios não tinham valor para esta interpretação.

A terceira razão de rejeição dos resultados de ensaios foi a ocorrência de deficiências de outros nutrientes além de N, P ou K. A deficiência mais comum, anotada pelos executores dos experimentos, foi a de zinco. A influência de deficiência de zinco na resposta de arroz de sequeiro ao fósforo no mesmo solo, em anos consecutivos, está ilustrada na Fig. 2. É evidente que, no caso da deficiência de zinco, a aplicação de fósforo acentua esta carência. Sem considerar este fato, seria possível chegar à conclusão errônea de que neste solo 1 ppm de P era suficiente para o arroz de sequeiro.

Após a seleção dos dados válidos, passou-se-lhe à interpretação agrônômica. Nesta, a primeira tarefa foi preparar curvas de calibração.

Preparo das Curvas de Calibração. A curva de calibração define a relação entre as produtividades relativas de uma cultura e as respectivas análises de solo. É essencial o uso de produtividades relativas e não de produtividades absolutas. Isto porque, leva-se em conta

FIG. 2 - EFEITO DA DEFICIÊNCIA DE ZINCO NAS RESPOSTAS DE ARROZ DE SEQUEIRO A APLICAÇÕES DE FÓSFORO NUM LOCAL NO SUL DE GOIÁS.



o fato de que cada lavoura tem características intrínsecas, que lhes importam em diferentes potenciais de produtividade.

Como foi indicado antes, a produtividade relativa nada mais é do que a relação entre a produtividade observada na ausência de um nutriente e a obtida com a presença deste, em nível máximo, considerando-se, nos dois casos, níveis máximos de todos os outros nutrientes.

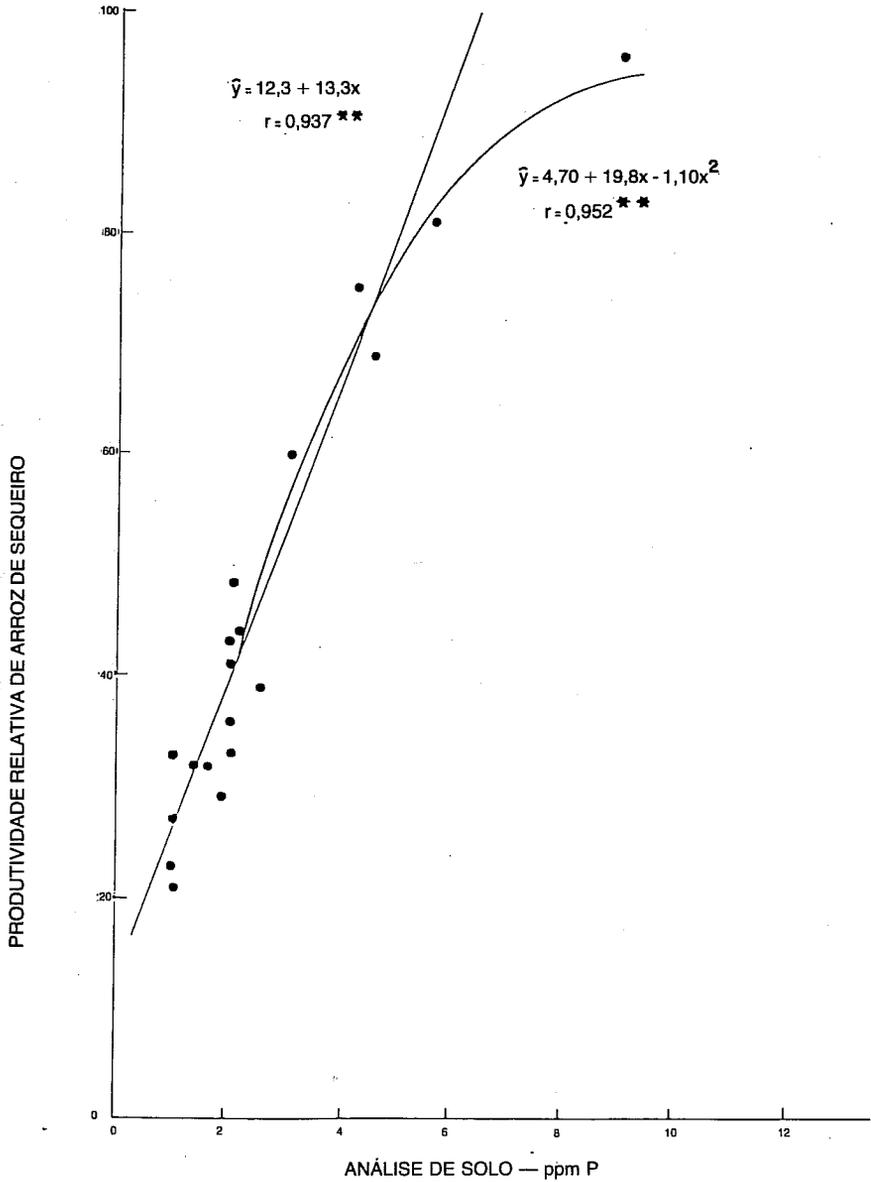
Para explicar melhor, pode-se supor que, num ensaio, a produtividade máxima do arroz tenha sido de 2.150 kg/ha, mediante aplicações máximas de 40 kg/ha de N, 80 kg/ha de P_2O_5 e 30 kg/ha de K_2O e que, na presença das mesmas dosagens de N e K, mas sem P, a produtividade foi de 960 kg/ha. Então, a produtividade relativa para P, neste caso, seria $960 \text{ kg/ha} \div 2.150 \text{ kg/ha}$, ou seja, 0,45. Para evitar o uso de décimos, esses valores são normalmente multiplicados por 100. Por isso, as produtividades relativas são chamadas, também, de produtividades relativas percentuais. Esse procedimento foi adotado para todos os ensaios que satisfaziam os critérios descritos. Desta breve exposição, torna-se evidente o por que, nesta interpretação, são rejeitados os resultados de todos os ensaios em que não foram definidas as dosagens máximas de N, P e K.

Nitrogênio. Não é possível preparar uma curva de calibração para o nitrogênio porque ainda não existe um método de análise de N, que tenha todas as características desejadas para a análise de rotina do solo. Entretanto, isto não dispensa a necessidade de analisar as respostas ao nitrogênio e de procurar uma base, ainda que empírica, para recomendações do uso de adubo nitrogenado. Por conveniência, essa análise vai ser apresentada mais tarde, na secção com o título "Recomendações de Adubação".

Fósforo. Utilizando-se as produtividades relativas calculadas para os diferentes ensaios, a curva de calibração de fósforo foi elaborada (Fig. 3). Examinando-se a curva, um problema é imediatamente evidente. Esse problema é a relativa falta de resultados de ensaios instalados em solos que contêm mais de 4 ppm de P. Por falta destes dados, a análise de solo associada com a produtividade máxima está em dúvida. Esquecendo-se o ponto que corresponde a 9 ppm de P no solo, poder-se-ia trabalhar com a linha reta e concluir que a análise de P, que dá a produtividade relativa de 100, está em torno de 6,5 ppm. Por outro lado, considerando-se todos os pontos no gráfico, a curva de calibração realmente é curvilínea e são necessários de 9,0 a 10,0 ppm de P no solo, para conseguir a produtividade máxima de arroz de sequeiro.

A única maneira de determinar de forma definitiva a análise de P, associada com a produtividade máxima de arroz de sequeiro, seria executar mais ensaios de adubação,

FIG. 3 - CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA O FÓSFORO EM ARROZ DE SEQUEIRO NO SUL DE GOIÁS.



escolhendo-se locais em que o solo contenha de 4 a 12 ou mais ppm de P^5 . No caso de não existirem solos com essas análises, seria necessário estabelecê-los, através da aplicação de várias dosagens de fósforo a lanço, num ano, e de várias dosagens de P no sulco no próximo ano; essas, em cima de cada nível de P aplicado no primeiro ano. Evidentemente, vão-se levar três anos ou mais, para preencher as lacunas na curva de calibração de P. Mas isto não significa que se tenha de esperar todo esse tempo, para formular, numa primeira aproximação, as recomendações de adubação pois, como se verá, isso pode ser feito com os dados disponíveis. Nesse ponto, é conveniente ressaltar que nenhuma recomendação de adubação deve ser divulgada sem a verificação da sua economicidade, o que significa dizer que se deve determinar qual a dosagem do nutriente para determinada análise do nutriente no solo, que resulta na maior vantagem econômica para o produtor.

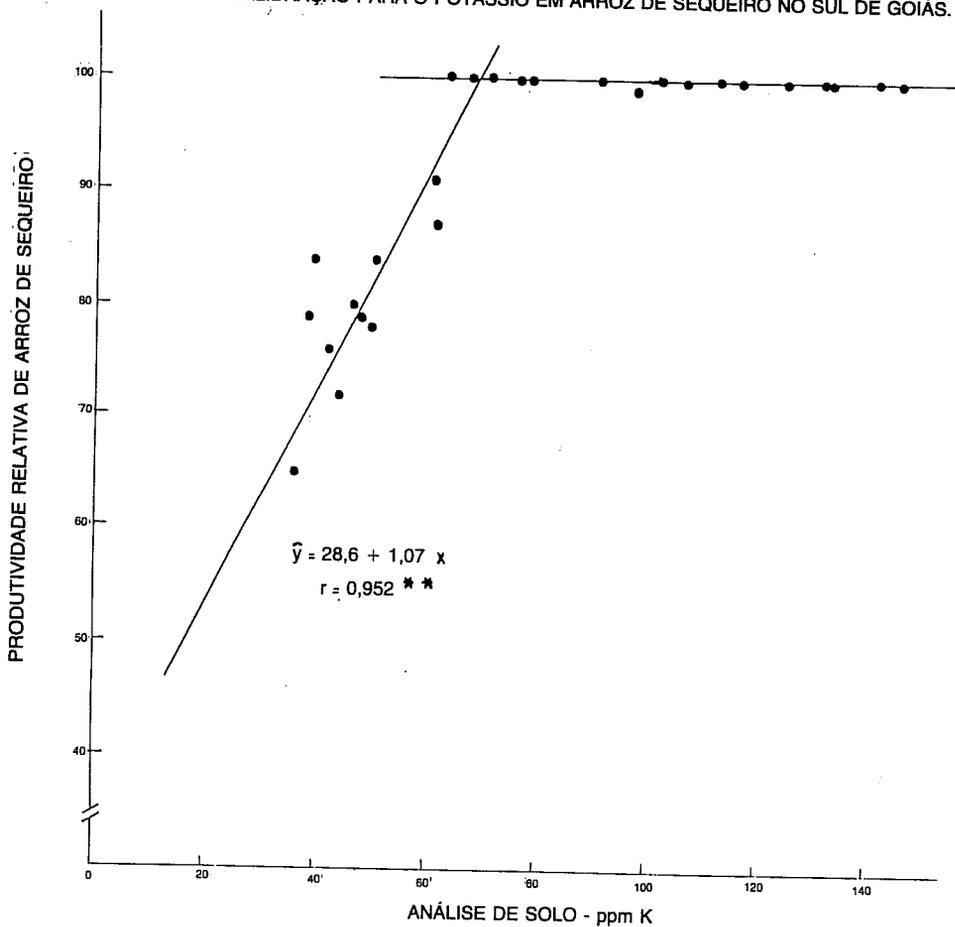
Potássio. A curva de calibração de potássio construída pelo processo descrito anteriormente é apresentada na Fig. 4. Na verdade não é uma curva, mas duas linhas retas que se cruzam na análise de K, associada com a produtividade máxima de arroz de sequeiro, e que, como mostra a Fig. 4, está em torno de 67 ppm de K. É interessante salientar o fato de que essa análise ótima de K é quase a mesma encontrada para muitas culturas no estado do Rio Grande do Sul.

Assim, embora na curva de calibração de K não existam muitas análises nas faixas de 0 a 40 ppm e de 50 a 60 ppm, as coincidências das análises ótimas de K em Goiás e Rio Grande do Sul importam num alto grau de confiança na validade deste teor de 67 ppm de K.

Uma vez que as curvas de calibração estejam prontas, pode-se passar à próxima etapa de interpretação, que é o cálculo das quantidades de P_2O_5 e K_2O (kg/ha), que equivalem, em termos de produtividade relativa da cultura, a uma unidade (ppm) na análise do solo.

⁵ Quanto a isso é interessante lembrar que, dos 129 ensaios interpretados, em apenas 16% as dosagens ótimas de N, P e K foram definidas. Assim, para se reduzir tal desgaste de recursos humanos e financeiros, é conveniente escolher-se um delineamento experimental em que sejam aplicados 5 ou mais dosagens dos nutrientes de interesse.

FIG. 4 - CURVA DE CALIBRAÇÃO PARA O POTÁSSIO EM ARROZ DE SEQUEIRO NO SUL DE GOIÁS.



O Relacionamento de Adubação com as Análises de Solo

Neste ponto, através da curva de calibração, tem-se conhecimento da relação entre a análise de solo e a produtividade relativa da cultura. Portanto, para que se possam estimar as dosagens necessárias de adubo, para alcançar a produtividade relativa desejada, só falta conhecer as quantidades de P_2O_5 e K_2O que devem ser aplicadas no solo, para conseguir um aumento na produtividade relativa, que corresponda a um aumento de 1 ppm do elemento na análise do solo. Isso pode ser obtido a partir da construção das curvas de resposta para cada elemento⁶ e das curvas de calibração elaboradas.

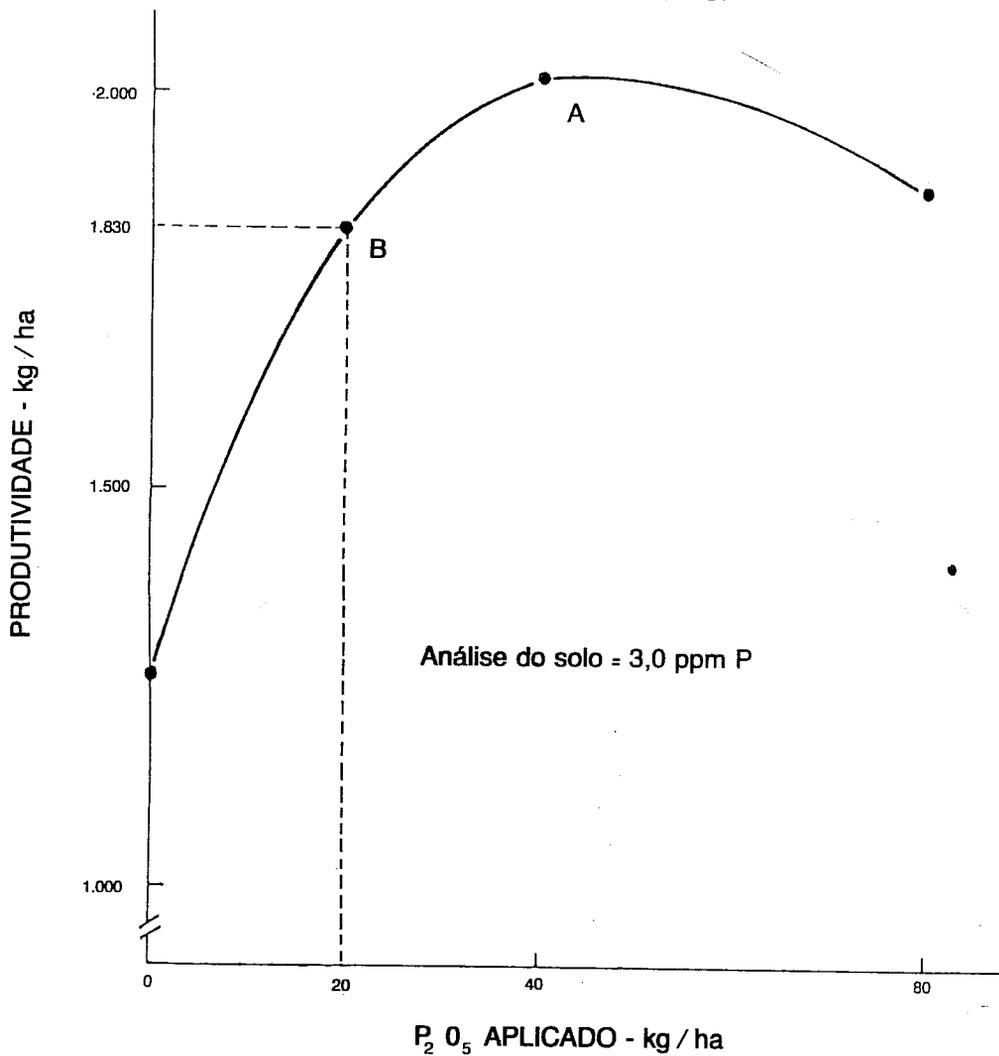
O procedimento, para fazer o cálculo da relação unidades de nutriente aplicado: unidade de nutriente determinada na análise do solo é o mesmo para o P e o K; daí, demonstrar-se apenas para o P.

Para exemplificar, pode-se tomar a curva de resposta na Fig. 5, onde se têm as seguintes informações:

1. A produtividade máxima (ponto A) foi de 2.040 kg/ha.
2. Uma aplicação de 20 kg de P_2O_5 /ha foi capaz de render 1.830 kg/ha de arroz (ponto B). Assim, a produtividade relativa estimada para uma aplicação de 20 kg de P_2O_5 /ha é $(1.830 \text{ kg/ha} \div 2.040 \text{ kg/ha}) \times 100 = 90$ ou 90%. Deve ser notado também que a análise do solo neste ensaio deu 3,0 ppm de P. Agora, entra de novo a curva de calibração (Fig. 3). Nesta curva, observa-se que uma produtividade relativa de 90% corresponde a uma análise de 5,8 ppm de P, (utilizando linha reta).

⁶As curvas de respostas para cada elemento são elaboradas de maneira simples pelo método gráfico, tal como, por exemplo, foi feita a que aparece na Fig. 5.

FIG. 5 - EXEMPLO DE UMA CURVA DE RESPOSTA DE ARROZ DE SEQUEIRO A APLICAÇÕES DE FÓSFORO NO SUL DE GOIÁS.



Daí, pode-se deduzir que uma aplicação de 20kg de P_2O_5 /ha é equivalente a um aumento do nutriente no solo $(5,8 - 3,0) = 2,8$ ppm de P. Conseqüentemente, dividindo-se os 20 kg de P_2O_5 por 2,8 ppm, tem-se a relação de 7,1 kg de P_2O_5 para 1 ppm de P no solo.

Desta maneira é que foram calculadas, para o arroz de sequeiro no sul de Goiás, as relações de P e K, que aparecem na Tabela 1.⁷

Agora, são os valores médios (Tabela 1) que interessam porque eles permitem estimar as dosagens de P_2O_5 e K_2O necessárias, para conseguir a produtividade relativa de arroz de sequeiro desejada. Primeiro, é bom saber se os valores médios são razoáveis ou não. Para isso, é necessário somente calcular os valores inversos (dividir 1 por cada valor). No primeiro caso, P, o valor inverso é 0,13, o que indica que na média, aproximadamente 13% de P_2O_5 aplicado foi utilizado pela cultura. Da literatura, sabemos que esta é uma taxa razoável. No caso do K, o valor inverso é 0,59, o que é razoável para esse nutriente. Portanto, pode-se admitir um certo grau de confiança nos valores, o que permite continuar a interpretação dos dados destes ensaios de adubação.

⁷Pode-se notar que os valores das relações variam de um ensaio para outro. Isto é normal, dadas as variações nas texturas e composições minerais dos solos da região, que influem na disponibilidade às plantas dos nutrientes aplicados no solo. De fato, a influência da textura do solo é tão grande que é necessário fazerem-se curvas de calibração individuais para cada classe textural de solo ou para as classes de maior importância. Esse, por exemplo, é o caso na calibração das análises de fósforo nos solos do estado do Rio Grande do Sul. Para os ensaios de Goiás, ora em análise, as texturas do solo não foram observadas; assim, não foi possível examinarem-se os valores da Tabela 1, em relação a essa variável.

TABELA 1. Dosagens de P_2O_5 e K_2O necessárias para aumentar a produtividade relativa de arroz de sequeiro, tanto como o aumento de uma unidade de P ou K, respectivamente, nos solos do sul de Goiás.

ENSAIO	kg P_2O_5 / ha para 1 ppm P, no solo		kg K_2O / ha para
	1 ^a	2 ^b	1 ppm K no solo
01	6,7	5,9	0,9
02	5,4	5,1	1,4
03	6,7	5,9	1,0
04	6,4	3,3	1,2
05	8,7	8,7	1,4
06	7,7	7,1	0,7
07	6,4	6,1	1,7
08	11,8	5,0	3,3
09	8,3	8,0	1,0
10	6,4	5,6	4,0
11	6,2	6,1	— ^c
12	5,3	5,0	—
13	8,3	6,7	—
14	5,1	4,8	—
15	5,0	4,5	—
16	5,7	4,6	—
17	15,4	8,0	—
18	9,1	8,3	—
MÉDIAS	7,5	6,0	1,7

^a Supondo uma relação linear entre P no solo e a produtividade relativa (Fig. 3).

^b Supondo uma relação curvilínea entre P no solo e a produtividade relativa (Fig. 3).

^c Análise de K maior que o nível ótimo de 67ppm (Fig. 4).

Antes de calcular as primeiras recomendações de adubação, é conveniente mencionar outra deficiência dos ensaios fatoriais $N^3 \times P^3 \times K^3$ para o fim de calibração de análise de solo. É lógico que, quando as dosagens de nutrientes definem bem a curva de resposta e são usados somente três níveis (0,1 e 2), a produtividade máxima fica associada com o nível 1 e não existem dados intermediários entre essa dosagem e a dosagem zero. Assim, para o cálculo da relação kg de nutriente por unidade de análise de solo, é necessário fazer uma suposição a respeito da forma da curva de resposta, de tal maneira que se possam estimar as produtividades da cultura referentes às dosagens intermediárias do nutriente entre os níveis. Assim, futuramente, é aconselhável aplicar dosagens intermediárias do nutriente. Em outras palavras, devem-se aplicar 4 ou 5 níveis diferentes, procurando fazer com que o nível 3 ou 4 seja aquele que dê a produtividade máxima da cultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

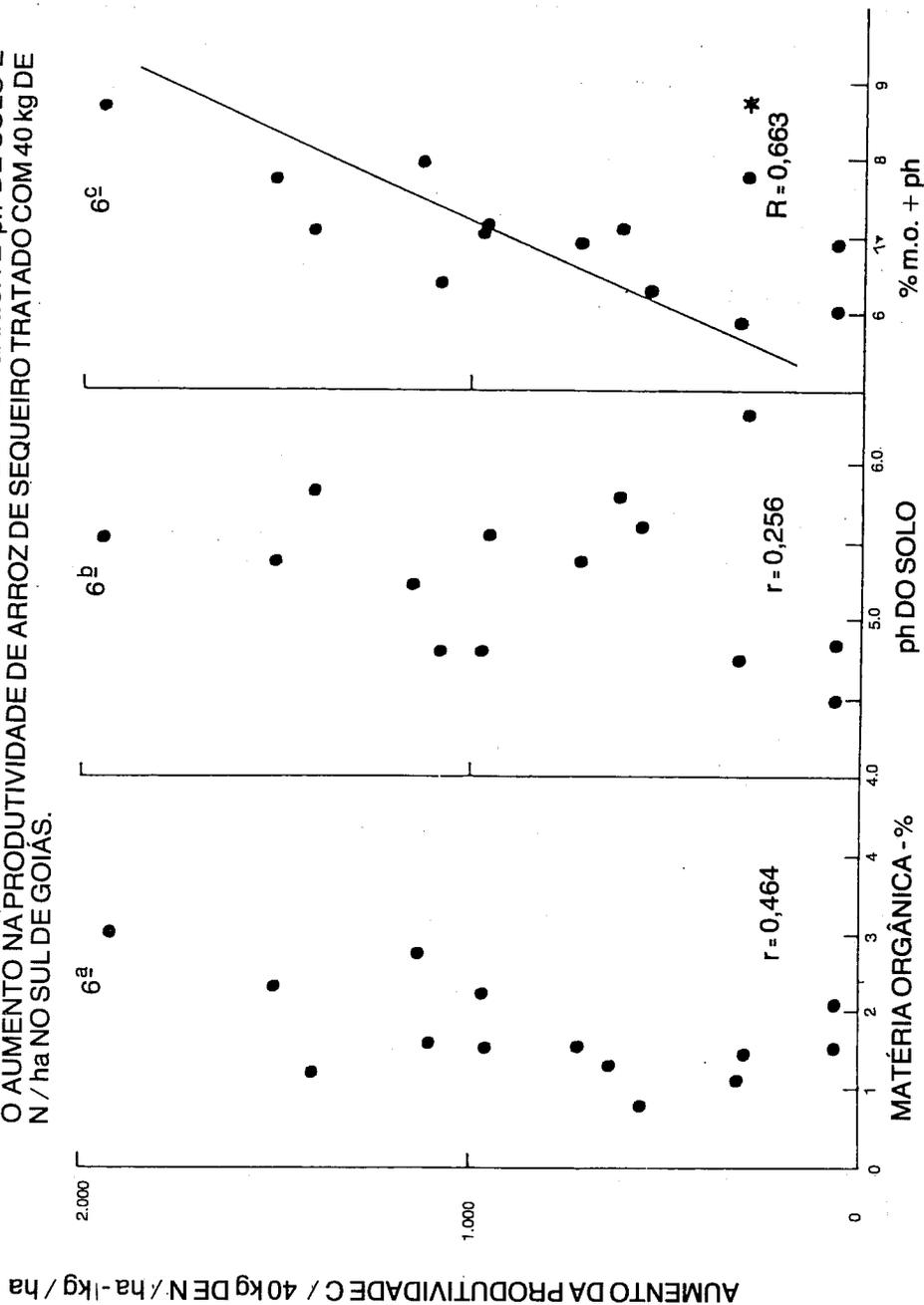
Neste ponto, é relativamente fácil formular recomendações para fósforo e potássio, o mesmo não ocorrendo, porém, para o caso de nitrogênio.

Como foi salientado antes, não existe um método de análise de solo para o N que funcione bem, ou que possa ser facilmente adotado para análise de rotina. O problema é que a maior porção de N no solo está em formas orgânicas que devem ser mineralizadas, para liberá-lo e torná-lo aproveitável pelas plantas.

A mineralização é um processo biológico influenciado por uma multiplicidade de fatores tais como, a forma orgânica em que o N está, características químicas do solo e as condições meio-ambientais do solo (temperatura, umidade, aeração, etc.). Daí, decorrem todos os problemas que o pesquisador enfrenta, quando tenta criar um método de análise para o N no solo, que será liberado da matéria orgânica durante o ciclo da cultura. Isso porque, embora a matéria orgânica no solo seja a principal fonte de N, a atividade biológica varia tanto de um solo para outro, que a relação entre as respostas das culturas ao adubo nitrogenado e a percentagem da matéria orgânica no solo é geralmente muito fraca. Como mostra a Fig. 6a, esse é o caso para o arroz de sequeiro no sul de Goiás. A correlação entre a resposta do arroz ao nitrogênio e a percentagem da matéria orgânica no solo é tão baixa que não é possível, a partir dessa relação, analisar a economicidade da aplicação do adubo nitrogenado e, conseqüentemente, a dosagem mais econômica para o produtor.

Na análise das respostas do arroz de sequeiro ao nitrogênio, foi observado que tanto o pH como a percentagem de matéria orgânica no solo indicaram resposta da cultura ao nitrogênio (Fig. 6b). Pelo menos até um certo ponto, isto é lógico porque os

FIG. 6 - AS RELAÇÕES ENTRE A PERCENTAGEM DE MATÉRIA ORGÂNICA E pH DE SOLO E O AUMENTO NA PRODUTIVIDADE DE ARROZ DE SEQUEIRO TRATADO COM 40 kg DE N/ha NO SUL DE GOIÁS.



micro-organismos responsáveis pela mineralização de nitrogênio orgânico têm preferência por um pH mais ou menos neutro. Porém, essa relação em si é fraca (Fig. 6b) e não serve como base para recomendações de adubo nitrogenado. Entretanto, desta observação surgiu a idéia de que, talvez a resposta do arroz ao nitrogênio possa ser resultante da interação de ambas, matéria orgânica no solo e seu pH. Esta relação aparece na Fig. 6c. Como pode ser observado, a relação é boa, quando comparada com as relações individuais de matéria orgânica e pH, com a resposta do arroz ao nitrogênio (Fig. 6a e 6b, respectivamente). Mas, a relação na Fig. 6c, tem duas limitações sérias. Primeiramente, a declividade da curva é muito alta, de tal maneira que pequenos erros nas determinações do pH ou da matéria orgânica no solo influem muito nas respostas produzidas pela relação. A segunda limitação é que a variação na produção para determinados níveis de matéria orgânica e pH do solo é muito grande. Por exemplo, quando o valor de pH + M.O. é aproximadamente 7,0, a resposta do arroz a uma aplicação de 40 kg/ha de N pode variar de 70 kg/ha (anti-econômica), a 1.400 kg/ha (altamente econômica). Assim, o uso desta relação na formulação de recomendações de nitrogênio é também muito arriscada, sendo aconselhável procurar-se outra maneira de determinar quando e que quantidade de nitrogênio o produtor deve aplicar, para conseguir uma produtividade razoável, do ponto de vista agrônomo e econômico.

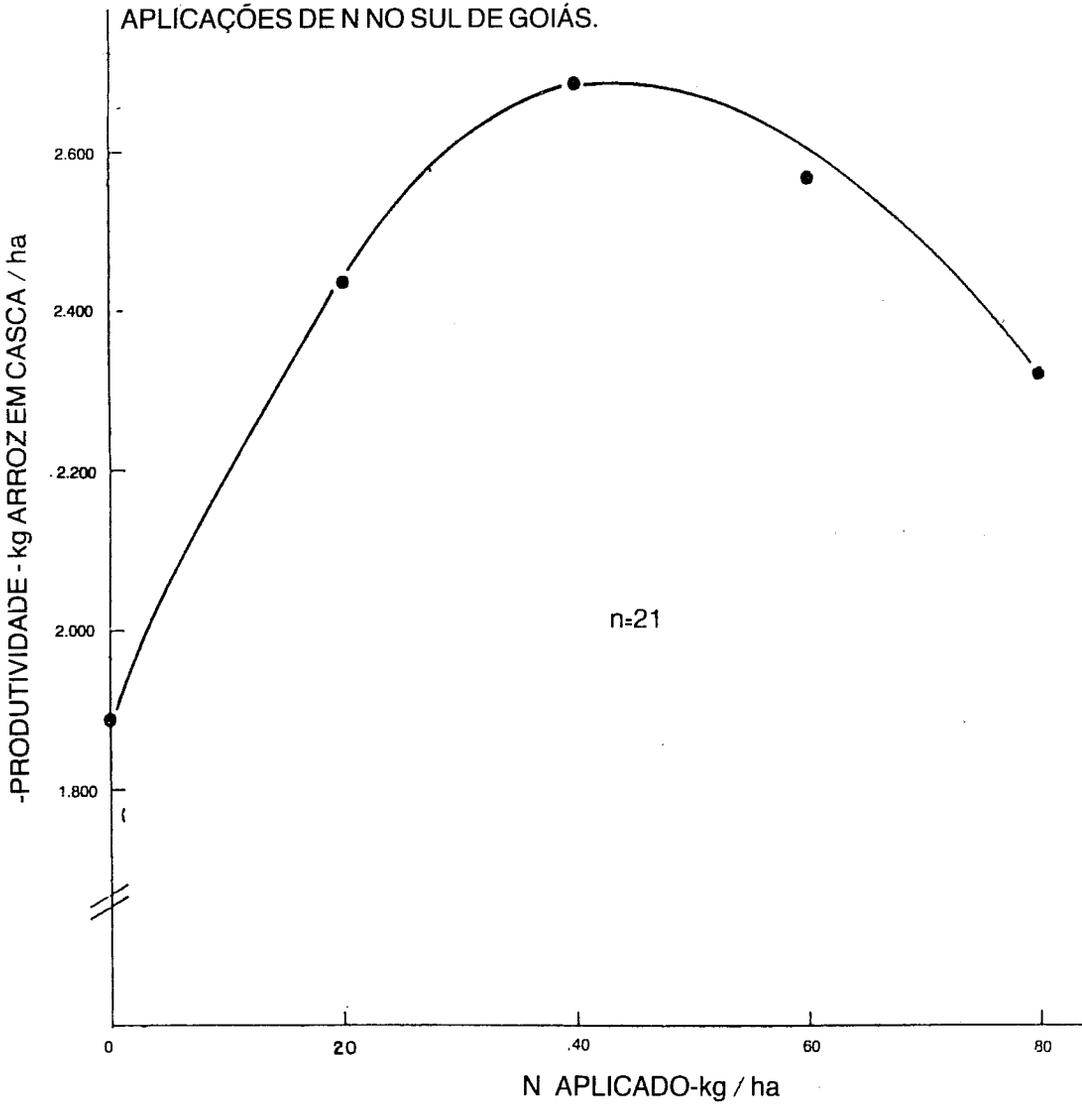
Não foi encontrada qualquer outra relação entre as análises de solo e as respostas do arroz às aplicações de N, que servissem de base para indicar quando compensa ao produtor aplicar adubo nitrogenado. Assim, a única alternativa foi calcular as produtividades médias, traçar a curva de resposta e, a partir desta, calcular os aumentos de produtividade conseguidos com várias dosagens de N.

A influência de aplicações de N na produtividade de arroz aparece na Fig. 7. A curva indica que a dosagem máxima de N está entre 40 e 50 kg/ha, mais isto não significa que são estas as dosagens que devem ser recomendadas ao produtor. Pois há necessidade de se analisar a economicidade do uso de N e, de acordo com os resultados desta análise, ajustar a recomendação para o N, o que se verá na próxima parte deste trabalho.

Para começar a definir as tabelas de recomendações para o fósforo e o potássio, o primeiro passo é repartir as curvas de respostas em faixas de análise do solo. Teoricamente, as divisões devem ser baseadas na probabilidade de que as dosagens de nutriente recomendadas para cada faixa de análise de solo aumentarão a produtividade da cultura ao nível desejado. Na prática, as faixas de análise de solo são geralmente escolhidas de maneira arbitrária. Isto é feito porque são necessários os resultados de muitos ensaios, para calcular as probabilidades das respostas à adubação.

A maneira mais fácil de se escolherem as faixas de análise dos solos para os quais vão ser calculadas as diferentes dosagens de P e K é simplesmente tomar a faixa entre zero

FIG. 7 - AS PRODUTIVIDADES MÉDIAS DE ARROZ DE SEQUEIRO COM APLICAÇÕES DE N NO SUL DE GOIÁS.



e a análise ótima, e reparti-la em duas ou mais faixas de larguras iguais. O número de divisões escolhido também é arbitrário, mas tem seu lado humano. Significa pouca coisa para o produtor se o seu solo contém tantos ppm de fósforo e potássio. Para ele, é muito mais informativo quando os resultados das análises estão classificados como, por exemplo, "baixo", "médio" ou "alto"; daí a razão de se dividirem as curvas de calibração em três faixas de análise de solo.

No caso da curva de calibração de P, a forma da curva não está bem definida. Portanto, é bom formularem-se recomendações para as duas "curvas" e, depois, fazer-se a análise econômica, para ver qual delas servirá melhor. Tomando primeiro a linha reta, pode-se notar que a análise ótima de P está bem perto de 6,6 ppm.

Normalmente, o objetivo da adubação não é tentar chegar à produtividade relativa de 100, mas sim, por baixo, na faixa de 90 a 95, onde o lucro da adubação geralmente atinge o máximo.

Neste caso, é justificável designar 6,0 ppm de P (produtividade relativa de 92), como o limite máximo à recomendação de aplicação de P.

Agora é necessário dividir a faixa de 0 a 6 ppm em 2 partes ou mais. Aqui, achou-se conveniente fazer as seguintes divisões: 0 a 2,0 ppm; 2,1 a 4,0 e 4,1 a 6,0 ppm e mais de 6 ppm.

Para calcular as dosagens de P a serem recomendadas, só é necessário tomar os valores médios de P, em cada faixa (1, 3 e 5 ppm), calcular a diferença entre esses valores e a análise ótima de 6 ppm, e multiplicar as diferenças pelo valor médio da relação $\text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}$ por 1 ppm no solo (Tabela 1).

Desta maneira, são formuladas as recomendações de P que aparecem na Tabela 2.

TABELA 2. Recomendações de adubação de fósforo para o arroz de sequeiro no sul de Goiás (linha reta)

Análise de solo ppm P	Interpretação	Recomendações $\text{kg P}_2\text{O}_5/\text{ha}^a$
0—2,0	Baixo	40
2,1—4,0	Médio	20
4,1—6,0	Bom	10
6+	Ótimo	0

^aValores aproximados, considerando o fato, impraticável do ponto de vista do produtor, recomendar, por exemplo, 37,5 kg/ha ao invés de 40 kg/ha.

Aplicando o mesmo processo para a segunda curva de calibração de P (linha curvilínea, Fig. 3), onde se tem que a análise ótima de P é 9,0 ppm, obtêm-se as recomendações apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3. Recomendações de adubação de fósforo para o arroz de sequeiro no sul de Goiás – (linha curvilínea)

Análise de solo ppm P	Interpretação	Recomendação kg P ₂ O ₅ /ha ^a
0–3,0	Baixo	50
3,1–6,0	Médio	30
6,1–9,0	Bom	10
9+	Ótimo	0

^aValores aproximados.

Ainda que essas recomendações não sejam muito diferentes das citadas anteriormente, deve-se optar por uma delas. Para se decidir sobre qual tabela de recomendação deve ser utilizada, é necessário fazer a análise econômica delas, o que será apresentado na próxima parte deste trabalho.

Para formular as recomendações para o potássio, o processo é o mesmo utilizado para o fósforo. Na curva de calibração de K (Fig. 4) estão estabelecidos 67 ppm de K como a análise ótima. Mas, devido ao fato de a produtividade cair, quando o potássio é aplicado num solo que contém mais de 60 ppm K (Fig. 8), é aconselhável não se aplicar o potássio em solos que contenham mais de 60 ppm de K. Assim, é conveniente que se estabeleçam as faixas de análise de K, de 0 a 20 ppm, de 21 a 40 ppm, de 41 a 60 ppm, com valores médios de 10, 30 e 50 ppm de K, respectivamente. Agora, para formular as recomendações para o K, é necessário apenas subtrair esses valores médios do valor ótimo e multiplicar as diferenças pela quantidade de K₂O, equivalente a 1 ppm de K no solo, (Tabela 1). Sendo esta relação 1,7 kg K₂O/ha por 1 ppm de K no solo, podem-se calcular as recomendações para o K, como aparecem na Tabela 4.

FIG. 8 - RELAÇÃO ENTRE A ANÁLISE DE SOLO PARA "K" E A RESPOSTA PRODUTIVA DE ARROZ DE SEQUEIRO POR QUILOGRAMA K O APLICADO POR HECTARE.

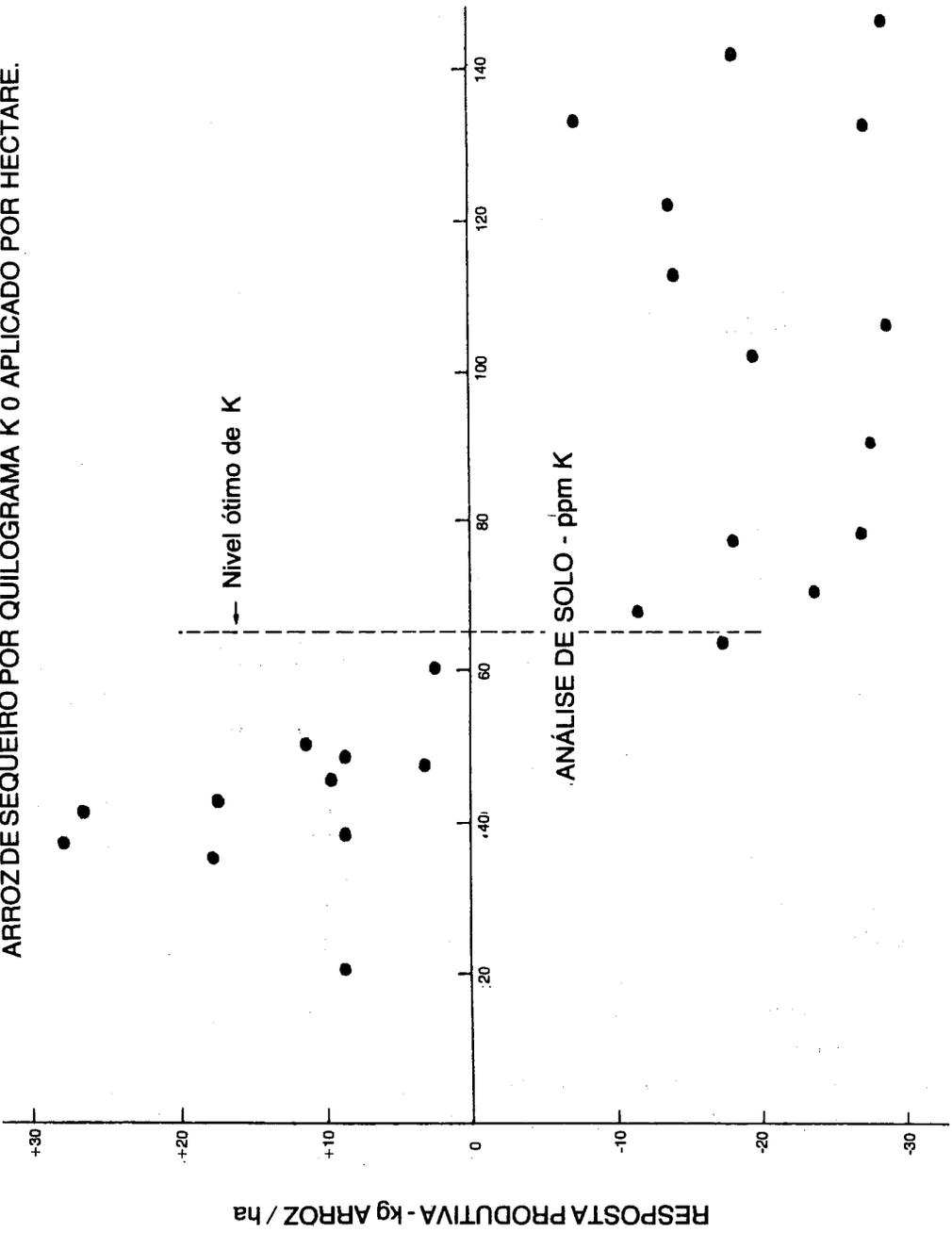


TABELA 4. Recomendações de adubação de Potássio para o arroz de sequeiro no sul de Goiás

Análise de solo ppm K	Interpretação	Recomendação kgK ₂ O/ha
0-20	Baixo	95
21-40	Médio	60
41-60	Bom	30
60+	Ótimo	0

Como no caso de P, essas recomendações ainda estão sujeitas a modificações, dependendo dos resultados da análise econômica.

INTERPRETAÇÃO ECONÔMICA

Nessa parte tem-se como objetivo, por um lado, explicar como fazer a análise econômica de ensaios de adubação e, por outro, analisar as recomendações de adubação propostas na parte anterior deste trabalho.

Existem várias maneiras de se fazer uma análise econômica de ensaios de adubação. Aqui, apresentar-se-ão dois métodos:

- Análise de custo-retorno
- Análise econométrica

Análise de custo-retorno

Materiais e Métodos. A análise de custo-retorno feita, aqui, é baseada nos seguintes preços:

Arroz em casca - Cr\$ 85,00/saco 60kg

Sulfato de amônio (20-0-0) - Cr\$ 2.030,00/tonelada

Super fosfato simples (0-18-0) - Cr\$ 1.340,00/tonelada

Cloreto de potássio (0-0-60) - Cr\$ 1.700,00/tonelada

Estes foram os preços na praça de Goiânia, em outubro de 1975.

Na análise, utilizou-se a produtividade média dos 21 ensaios de adubação de arroz de sequeiro no sul de Goiás, analisados agronomicamente na primeira parte deste trabalho.

A análise de custo-retorno é relativamente simples. Para fazê-la, é necessário estimar graficamente as curvas de resposta de cada nutriente, para cada ensaio, conhecer o preço do produto e o custo do nutriente. Com estas informações, de posse de uma calculadora simples, pode-se estimar a economicidade das recomendações de adubação.

O procedimento é o seguinte:

- Das curvas de resposta, estimam-se os aumentos de produção que podem ser conseguidos com uma certa dosagem de nutriente;
- Multiplicam-se os aumentos da produção pelo valor unitário do produto, obtendo-se, assim, o retorno bruto;
- Subtrai-se do retorno bruto o custo da quantidade do nutriente aplicado, obtendo-se, assim, o retorno líquido;
- Divide-se o retorno líquido pelo custo total do nutriente, obtendo-se, assim, a taxa de retorno.

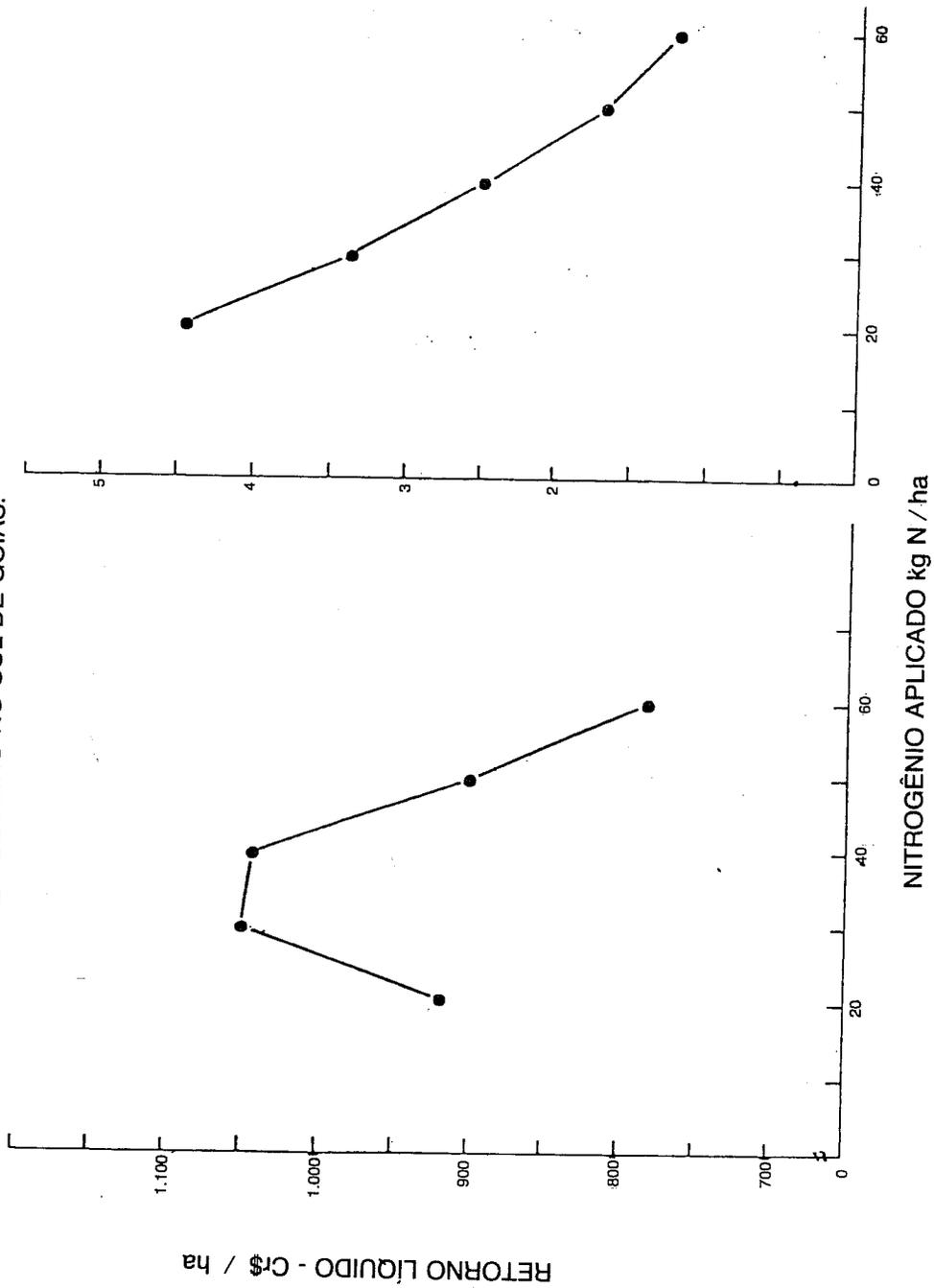
Fazendo estes cálculos para várias dosagens do nutriente, pode-se estimar qual dosagem dará o maior retorno líquido e se a taxa de retorno é satisfatória ou não. É muito debatido o valor de uma taxa de retorno "satisfatória". Geralmente, é recomendado pelos economistas que, no caso de produtores com poucos recursos ou de arrendatários, não se procure o retorno líquido máximo, mas sim, a dosagem de adubo que dê uma taxa de retorno relativamente alta. Em qualquer caso, é recomendado não aplicar dosagens que darão taxas abaixo de 3,0; a idéia é que, com valores menores, o produtor corre maior risco de perder seu investimento em adubo.

A análise de custo-retorno, descrita acima, tem várias limitações. Uma é sua inexatidão. Ela baseia-se em curvas de respostas estimadas graficamente e, além disso, a curva para um dito nutriente A, só se aplica bem no caso em que todos os outros nutrientes estejam presentes em dosagens máximas. Na realidade, as dosagens recomendadas para os nutrientes B, C, D, etc., geralmente não são as máximas. Por isso, os retornos líquidos e as taxas de retorno são, normalmente, sobre-estimadas. Entretanto, a análise de custo-retorno, como descrita aqui, serve bem para ordenar as economicidades dos vários nutrientes e de suas diferentes dosagens.

A análise custo-retorno, em sua forma simples como a que está sendo aplicada aqui, não leva em consideração todos os custos de produção. Supõe-se que todos os outros custos, além do adubo, são cobertos pela produtividade conseguida na ausência da aplicação do nutriente. Por isso, a análise custo-retorno, nesta forma simples, não fornece a renda líquida da cultura em si.

Deve ficar claro também que qualquer mudança na relação entre o preço de arroz e os preços das unidades de N, P_2O_5 e K_2O modificará os resultados da análise custo-retorno.

FIG. 9 - RETORNOS LÍQUIDOS E TAXA DE RETORNO PARA APLICAÇÕES DE NITROGÊNIO EM ARROZ DE SEQUEIRO NO SUL DE GOIÁS.



Análise, Resultados e Discussão. Os resultados da análise de custo-retorno para o nitrogênio, utilizando-se a produtividade média de todos ensaios de adubação de arroz de sequeiro considerados no presente estudo, são apresentados na Fig. 9. Ali, pode-se notar que a recomendação de 50 kg de N/ha ultrapassa a dosagem de maior retorno líquido, que está entre 30 e 40 kg de N/ha. Também, pode-se notar que uma dosagem maior que 35 kg N/ha tem uma taxa de retorno menor que 3,0. Assim, parece que a maior recomendação para o N deve estar em torno de 35 kg/ha.⁸

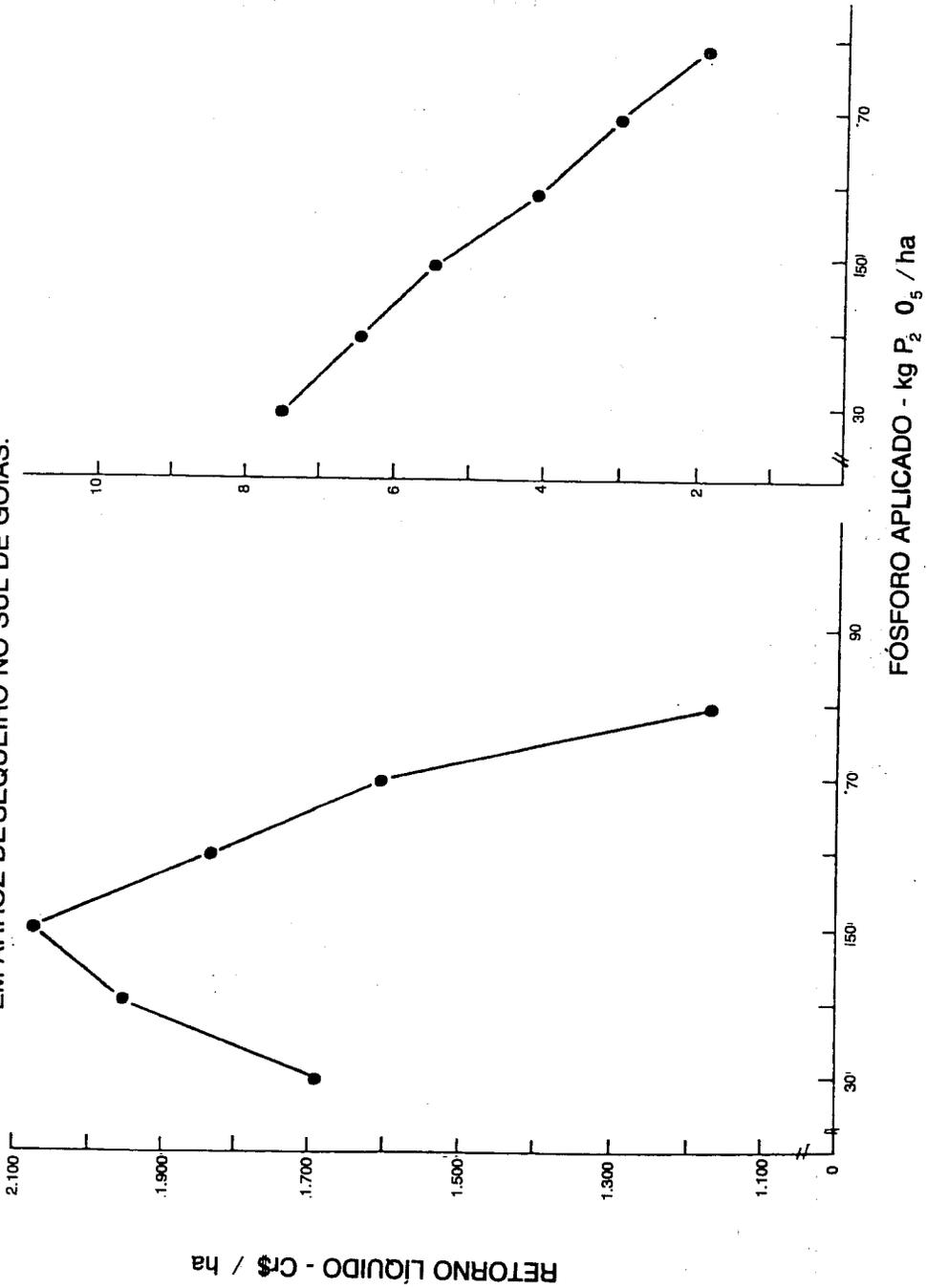
Antes de apresentar o resultado da análise de custo-retorno para o P, é importante salientar o fato de que, em todos os ensaios interpretados, o cultivar de arroz plantado foi o IAC 1246. Assim, é possível que a recomendação de 35 kg de N/ha não se aplique bem, no caso de cultivares de porte, ciclo, resistência à brusone e ao acamamento bem diferentes do IAC 1246.

No caso do P, só havia três ensaios de adubação com análise de P, no solo, em cada uma das faixas de 2,1 a 4,0 ppm e de 4,1 a 6,0 ppm. Sendo esse número pequeno demais para se obter uma boa estimativa das médias dos retornos econômicos, a análise de custo-retorno baseou-se nas curvas de resposta calculadas apenas para os ensaios cujos solos tinham análises de P, na faixa de 0 a 2,0 ppm. Essa restrição é parcialmente justificada pelo fato de esta faixa abranger a maioria dos solos no sul de Goiás.

Os resultados da análise de custo-retorno para o P aparecem na Fig. 10. O retorno líquido máximo foi obtido com 50 kg de P_2O_5 /ha, mostrando as vantagens econômicas em adotar-se a recomendação determinada a partir da curva de calibração de P (Fig. 3) curvilínea e não da linear. Porém, deve-se observar (Fig. 10) que uma aplicação de 40 kg de P_2O_5 /ha, que seria a recomendação indicada pela curva de calibração linear, deu um retorno líquido não muito diferente do retorno máximo (Fig. 10). Assim, essa é, também, uma recomendação razoável. Entretanto, a dosagem de 50 kg de P_2O_5 /ha, a par de proporcionar o retorno líquido máximo, tem uma taxa de retorno muito satisfatória (aproximadamente 8) e, além disso, em contraste com o caso de N, o fósforo não utilizado pela cultura no ano de aplicação tem valor residual no ano seguinte. Por essas razões, é aconselhável utilizar as recomendações de P que se baseiam na suposição de que a curva de calibração é curvilínea.

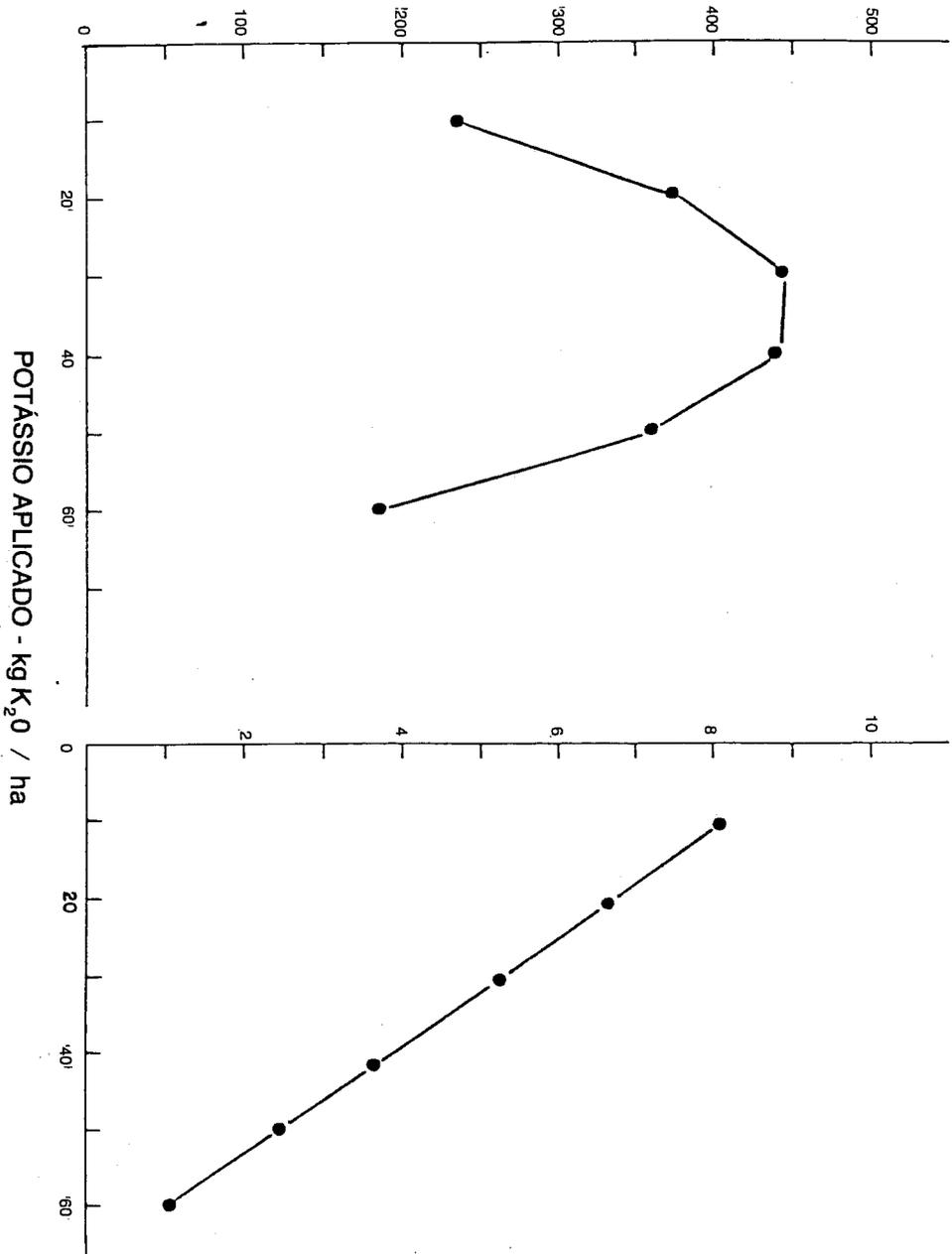
⁸ A melhor maneira de aplicar esses 35 kg de N/ha ainda não foi pesquisada no sul de Goiás e merece a atenção imediata dos pesquisadores da região. A literatura mundial, neste assunto, indica geralmente, que, em arroz de sequeiro, a dosagem de N deve ser dividida em duas ou três partes. Na ausência de informações locais, sugere-se a aplicação de 5 a 10 kg de N, no plantio e o resto em cobertura, na época de perfilhamento máximo. Caso o produtor queira aplicar os 35 kg de N em três dosagens, a sugestão é de 5 kg no plantio, 15 kg na época de perfilhamento máximo e 15 kg no início da época de floração.

FIG. 10 - RETORNOS LÍQUIDOS E TAXA DE RETORNO PARA APLICAÇÕES DE FÓSFORO EM ARROZ DE SEQUEIRO NO SUL DE GOIÁS.



RETORNO LÍQUIDO - Cr\$ / ha

FIG. 11 - RETORNOS LÍQUIDOS E TAXAS DE RETORNO PARA APLICAÇÕES DE POTÁSSIO EM ARROZ DE SEQUEIRO NO SUL DE GOIÁS.



No caso do potássio, o retorno líquido máximo, para os ensaios com 41 a 60 ppm de K no solo, foi atingido com, aproximadamente, 35 kg de K_2O /ha (Fig. 11), portanto, 5 kg a mais do que a recomendação de 30 kg de K_2O /ha para os solos que contêm de 41 a 60 ppm de K. Isto porque existe o risco de reduzir sensivelmente a produtividade do arroz de sequeiro com dosagens excessivas ou desnecessárias de K (Fig. 11). Essa observação é particularmente importante para a região estudada, já que as análises de solo que acompanham os resultados analisados aqui indicam que mais ou menos 70% dos solos do sul de Goiás contêm mais de 67 ppm de K, o que significa dizer que, aplicando-se K, corre-se o risco de reduzir a produtividade do arroz.

Neste ponto, é possível juntar, numa forma definida, as recomendações de adubação para o arroz de sequeiro no sul de Goiás. Mas, antes disso, deve-se dizer que já existem recomendações para a cultura nesta região, proposta pela Comissão Estadual de Fertilidade de Solos.

TABELA 5. Recomendação de adubação para arroz de sequeiro (Comissão de Solos do Estado de Goiás) kg/ha

N	= 50
P_2O_5	= 80 (P no solo entre 0 – 5 ppm)
	= 60 (P no solo acima de 5 ppm)
K_2O	= 40 (K no solo entre 0 – 60 ppm)
	= 20 (K no solo acima de 60 ppm)

Portanto, não devem ser sugeridas novas recomendações, a não ser que essas tenham para o produtor maior valor do que as já existentes. Por isso, é necessário comparar as economicidades das duas. Essa comparação, a partir da análise custo/retorno, é apresentada na Tabela 6, onde se pode observar que as vantagens econômicas das novas recomendações para o N e o P são óbvias. No caso de K, as duas recomendações resultaram em retornos e taxas de retorno muito semelhantes; daí, qualquer uma é adequada, do ponto de vista econômico.

Nesse ponto, deve ser levantado o fato de que, nas recomendações existentes (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1973) não são pré-conhecidas análises ótimas de P e K no solo, ou seja, aquelas acima das quais a aplicação destes nutrientes não deve ser recomendada. Para o P, a recomendação é de se aplicarem 60 kg de P_2O_5 /ha, para

qualquer análise de solo maior que 5,0 ppm de P (Comissão Estadual de Fertilidade do Solo, 1973). Aceitando-se essa recomendação para os três ensaios em que as análises dos solos eram de 9, 12 e 33 ppm de P, encontra-se um retorno líquido médio negativo de Cr\$ 365,20/ha.

A recomendação que existe para o potássio é de se aplicarem 20 kg de K_2O /ha nos solos que contenham mais de 60 ppm de K.

Nem é necessário calcular os retornos líquidos desta recomendação para os ensaios em que os solos tenham mais de 60 ppm de P. Basta consultar a Fig. 8, que mostra as respostas do arroz de sequeiro a uma aplicação de 40 kg de K_2O /ha. É bem provável que, com uma aplicação de somente 20 kg de K_2O /ha, a análise de K, acima do qual as respostas se tornam negativas, seja maior do que 67 ppm; mas isto não justifica a recomendação de K, quando o solo contém mais do que o nível ótimo (Fig. 4).

Comparando as novas recomendações com as já existentes, há boas indicações de que elas sejam capazes de aumentar o retorno líquido da adubação ao produtor e de evitar

TABELA 6. Retornos líquidos e taxas de retorno para as dosagens de N, P e K, recomendadas pela Comissão Estadual de Fertilidade de Solos e pelo presente trabalho, para o arroz de sequeiro no sul de Goiás.

NUTRIENTE	DOSAGEM RECOMENDADA	RETORNO LÍQUIDO	TAXA DE RETORNO
		Cr\$/ha	Cr\$
Nitrogênio	50kg N/ha ^a	1.175,39	2,31
	35kg N/ha	1.277,48	3,15
Fósforo	80kg P_2O_5 /ha ^a	1.990,91	3,34
	50kg P_2O_5 /ha	3.207,49	8,62
Potássio	40kg K_2O /ha ^a	724,74	6,40
	30kg K_2O /ha	693,61	7,12

^aRecomendação da Comissão Estadual de Fertilidade de Solos, 1973; Goiânia, Goiás

aplicações anti-econômicas de adubo, em solos que contenham quantidades ótimas de P e/ou K.⁹ As novas recomendações, que constituem o resultado deste tipo de interpretação, são apresentadas na Tabela 7.

Quando o produtor tem acesso fácil à assistência técnica, é suficiente dar as recomendações em termos de kg/ha de N, P_2O_5 e K_2O . Caso contrário, é melhor expressar as recomendações em termos de kg/ha de adubo. Por exemplo, ao invés de recomendar, como adubação básica, a aplicação de 10 kg de N/ha, 50 kg de P_2O_5 /ha e 30 kg de K_2O /ha, a recomendação poderia ser de 200 kg/ha do adubo 5-25-15. No caso de não existir essa fórmula de adubo no mercado, basta recomendar a fórmula mais próxima como, por exemplo, 4-24-16 ou 6-24-14. Também, pode-se recomendar um adubo menos concentrado, mas em maior dosagem. Por exemplo, para fins práticos, a recomendação de 300 kg/ha de 3-16-10, equivalente a 200 kg/ha de 5-25-15.

Como foi salientado anteriormente, a análise de custo-retorno é inexata por falta de uma maneira simples de se estimarem as produtividades quando os três nutrientes (N, P e K) são aplicados simultaneamente nas dosagens recomendadas. Esse problema pode ser resolvido com uma análise um pouco mais sofisticada, que é facilitada pelo uso de um computador eletrônico.

⁹No próximo tópico, utilizando-se uma função de produtividade, essas duas recomendações serão novamente comparadas em termos econômicos.

TABELA 7. — Recomendações de adubação para o arroz de sequeiro no sul de Goiás.

ANÁLISE DE FÓSFORO (P) ppm	ANÁLISE DE POTÁSSIO (K) — ppm										ADUBAÇÃO DE NITROGÊNIO kg N/ha	
	INTERPRETAÇÃO	0 a 20		21 a 40		41 a 60		+ 60		No Plantio	Em Cober. ^a	
		Baixo		Médio		Bom		Ótimo				
		P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha	P ₂ O ₅ kg/ha	K ₂ O kg/ha			
0 a 3,0	Baixo	50	95	50	60	50	30	50	0	5	30	
3,1 a 6,0	Médio	30	95	30	60	30	30	30	0	5	30	
6,1 a 9,0	Bom	10	95	10	60	10	30	10	0	5	30	
+ 9,0	Ótimo	0	95	0	60	0	30	0	0	5	30	

^a Na época de perfilhamento máximo

ANÁLISE ECONOMÉTRICA

Neste tópico, para se atingirem os objetivos propostos, selecionaram-se dos 21 ensaios disponíveis os resultados de seis (Paraúna, Buriti Alegre, Morrinhos, Silvânia, Jaraguá e Cabeceiras).

A análise econométrica de experimentos de adubação baseia-se em relações econômicas estabelecidas pelo conceito de função de produção (CRUZ 1975).

É denominado função de produção o modelo matemático que expressa a produção como um processo através do qual os fatores produtivos são transformados em produto. De um modo geral, a função de produção pode ser expressa simbolicamente da seguinte forma:

$$Y = f(X_1, X_2 \dots X_u)$$

onde Y = quantidade produzida

$$X_1 \dots X_u = \text{quantidade empregada dos fatores produtivos.}$$

No caso particular de ensaios de adubação, a produção é vista como um processo através do qual os nutrientes (no caso presente NPK) são transformados em produto. Naturalmente, outros fatores influem na produção, porém, procura-se, a nível de campo, fixá-los a níveis constantes, eliminando-se, assim, seus efeitos.

Para o ajustamento de funções de produção em ensaios de adubação, o maior problema está na determinação do modelo matemático a ser utilizado, já que diferentes culturas, em solos e climas diversos, não obedecem a uma função de forma algébrica específica (Hoffman 1971).

Neste estudo, o modelo estatístico escolhido foi a função quadrática¹⁰. Em essência, esse modelo consiste em ajustarem-se os dados observados a uma expressão de forma:

$$Y = B_0 + B_1 X_1 + B_2 X_2 + B_3 X_3 + B_4 X_1^2 + B_5 X_2^2 + B_6 X_3^2 + B_7 X_1 X_2 + B_8 X_1 X_3 + B_9 X_2 X_3$$

Onde

Y = produção de arroz em kg/ha

X₁ = doses de Nitrogênio (N) em kg/ha

X₂ = doses de Fósforo (P) em kg/ha

X₃ = doses de Potássio (K) em kg/ha

B₀ = constante

B₁ ... B₉ = coeficiente de regressão

¹⁰ Realça-se, porém, que poderiam ser tentados outros modelos (raiz quadrada, Mitscherlich ...) já que não existe nenhuma teoria que determine, "a priori", a escolha a ser feita.

A partir das funções de produção, podem-se calcular as doses economicamente ótimas dos nutrientes. Em ensaios de adubação, os níveis economicamente ótimos dos nutrientes são aqueles que conduzem à receita líquida máxima. Para esses casos, a expressão de receita líquida é:

$$R L = Y \cdot P_y - (X_1 P_{X_1} + X_2 P_{X_2} + X_3 P_{X_3} + C)$$

Onde

R L = receita líquida

Y = produção física de arroz

P_y = preço do arroz

X_1, X_2, X_3 = quantidade de nutrientes (NPK)

$P_{X_1}, P_{X_2}, P_{X_3}$ = preços dos nutrientes (NPK)

C = custos fixos

A receita líquida será maximizada quando as derivadas parciais, em relação a X_1, X_2, X_3 , forem nulas.

$$\frac{dRL}{dX_1} = 0 \quad e \quad \frac{dRL}{dX_2} = 0 \quad e \quad \frac{dRL}{dX_3} = 0$$

de que resulta:

$$\frac{dY}{dX_1} = \frac{PX_1}{Py} \quad e \quad \frac{dY}{dX_2} = \frac{PX_2}{Py} \quad e \quad \frac{dY}{dX_3} = \frac{PX_3}{Py}$$

ou seja, no nível economicamente ótimo, os produtos marginais dos nutrientes são iguais à relação inversa dos preços, produto-insumos.¹²

¹¹Nota-se que os custos fixos não influem no cálculo das quantidades economicamente ótimas de nutrientes, ou seja, aquelas que maximizam a receita líquida.

¹²Para assegurar que se está obtendo a maximização da receita líquida, tem-se de observar, também, se verificam as seguintes condições de 2a. ordem, o que será exemplificado mais à frente.

Análise, Resultados e Discussão

Escolhido o modelo matemático a ser adotado e utilizando-se da computação eletrônica, ajustou-se, na primeira fase da análise, a equação de regressão quadrática para os dados observados em cada um dos seis ensaios considerados.

As funções de espota estimadas, além dos valores de R^2 e t , para os coeficientes parciais de regressão, são mostrados na Tabela 8:

A fim de se escolher uma equação de regressão que melhor se ajustasse à lógica do processo produtivo analisado, o processo de estimação foi repetido. Nesta segunda fase, para a seleção das equações de regressão a serem estimadas, utilizou-se uma composição dos seguintes critérios:

a) que os coeficientes parciais de regressão fossem significativamente diferentes de zero, a um nível de probabilidade superior a 10%.

b) que houvesse coerência dos sinais dos coeficientes parciais de regressão com os princípios econômicos.

c) o conhecimento prévio do processo biológico estudado.

d) que o valor do coeficiente de regressão múltipla (R^2) fosse relativamente alto.

As funções de resposta, nesta segunda fase, com os valores de R^2 e t , aparecem na Tabela 9.

A análise dos resultados das Tabelas 8 e 9 mostra, entre outros pontos, que:

a) Em todos os ensaios considerados, a aplicação de Potássio não deu resposta significativa na produção de arroz. Daí, terem sido eliminados, na segunda fase do processo de estimação, os seus coeficientes parciais de regressão.

b) A rigor, apenas o ensaio 1 (PARAÚNA) apresentou um bom ajustamento ($R^2 = 0,88$), ou seja, a variação na produção é bem explicada pela variação dos nutrientes aplicados. Porém, em concordância com os objetivos do presente trabalho, para efeito demonstrativo, à exceção do ensaio 3 (MORRINHOS) — ($R^2 = 0,1$), todos os outros ensaios foram considerados.

A possível razão para os baixos R^2 apresentados pelos ensaios podem ser o mau controle de fatores que afetam o nível de produção, tais como doenças, pragas, invasoras etc., em todos os seus tratamentos, obscurecendo-se, assim, a influência de NPK sobre a variação na produção.

TABELA 8
RESPOSTA DE ARROZ DE SEQUEIRO (KG/HA) AOS NÍVEIS DE N, P, K (KG/HA)

$$Y = B_0 + B_1N + B_2P + B_3K + B_4N^2 + B_5P^2 + B_6K^2 + B_7NP + B_8NK + B_9PK$$

COEFICIENTES ESTIMADOS E VALORES DE "t" PARA:

LOCAL E ANO	CONSTANTE	N	P	K	N ²	P ²	K ²	NP	NK	PK	R ²
1. Paraúna 68/69	1417 (7.66)	53.26 (8.71)	12.90 (2.11)	-3.808 (-0.62)	-0.4555 (-6.88)	-0.08698 (-1.31)	0.07396 (1.11)	-0.03666 (-0.78)	-0.02479 (-0.53)	0.004375 (0.094)	0.90
2. Buriti 68/69	2418 (9.65)	35.59 (4.30)	22.87 (2.76)	4.590 (0.55)	-0.3203 (-3.58)	-0.1107 (-1.24)	-0.07448 (-0.83)	-0.2204 (-3.48)	0.02188 (0.35)	0.1014 (1.60)	0.76
3. Morrinhos 70/71	-56 (-0.58)	5.76 (1.81)	4.800 (1.50)	2.836 (0.89)	-0.05646 (-1.63)	-0.01510 (-0.44)	0.02104 (-0.61)	-0.02161 (-0.88)	0.008698 (0.36)	-0.006198 (-0.25)	0.50
4. Silvânia 69/70	1566 (4.90)	24.96 (2.36)	27.30 (2.58)	7.543 (0.71)	-0.2631 (-2.30)	-0.2075 (-1.81)	0.1356 (-1.19)	-0.09234 (-1.14)	0.08005 (0.99)	0.03483 (0.43)	0.59
5. Jaraquá 69/70	1442 (6.19)	36.66 (4.76)	29.93 (3.89)	13.10 (1.73)	-0.2813 (-3.37)	-0.2152 (-2.58)	-0.09388 (-1.12)	-0.06073 (-1.03)	-0.07458 (-1.27)	-0.04859 (-0.82)	0.79
6. Cabeceiras 71/72	310 (1.23)	-0.1847 (-0.022)	31.50 (3.79)	-0.8882 (-0.11)	0.005660 (0.063)	-0.2001 (-2.22)	0.004097 (0.046)	0.04099 (-0.64)	0.06974 (1.10)	-0.06719 (-1.06)	0.69

Valores críticos para "t" são: 2.898, 2.110 e 1.740 para níveis de confiança de 99%, 95% e 90% respectivamente

TABELA 9
RESPOSTA DE ARROZ DE SEQUEIRO (KG / HA) AOS NÍVEIS DE NPK

Local e Ano	COEFICIENTES ESTIMADOS E VALORES DE t PARA:										
	CONSTANTE	N	P	K	N ²	P ²	K ²	NP	NK	PK	R ²
1. Paraúna 68/69	1520 (14,34)	50,81 (9,71)	11,61 (2,22)	-	-0,46 (-7,24)	-0,087 (-1,38)	-	-	-	-	0,88
2. Buriti Alegre	2403 (12,53)	36,46 (4,39)	26,92 (3,24)	-	-0,32 (-3,39)	-0,11 (-1,17)	-	-0,22 (-3,3)	-	-	0,67
3. Morrinhos 70/71	143 (2,80)	5,24 (1,61)	-	-	-0,056 (-1,45)	-	-	-	-	-	0,10
4. Silvânia 69/70	1654 (8,75)	24,47 (2,62)	25,00 (2,68)	-	-0,26 (-2,35)	-0,21 (-1,85)	-	-	-	-	0,49
5. Jaraguá 69/70	1822 (13,01)	31,25 (4,52)	25,55 (3,70)	-	-0,28 (-3,39)	-0,22 (-2,59)	-	-	-	-	0,72
6. Cabeceiras 71/72	404 (3,74)	-	27,17 (3,95)	-	-	-0,20 (-2,42)	-	-	-	-	0,63

Valores críticos de "t" são: 2,898, 2,110 e 1,740 para os níveis de confiança de 99%, 95%, 90% respectivamente.

Para os ensaios 1 (PARAÚNA) e 2 (BURITI), o coeficiente parcial de regressão, B_5 , não diferiu significativamente de zero, no nível considerado (Tabela 8). Entretanto, foram incluídos na 2ª fase do processo de estimação, considerando que os resultados observados atendem aos critérios de seleção b) e c).

Os cálculos das doses, economicamente ótimas dos nutrientes, foram realizados utilizando-se as funções de resposta estimadas na Tabela 9 (à excessão do ensaio 3) e os seguintes preços:

— Cr\$ 1,65 por kg de arroz, ou seja, preço de suporte pago pelo **PROGRAMA NACIONAL DE COMPRA DE ARROZ, safra 75/76**

— Cr\$ 10,15 por kg de nitrogênio.

— Cr\$ 7,44 por kg de pentóxido de fósforo.

— Cr\$ 2,83 por kg de óxido de potássio.¹³

Esses foram os preços dos nutrientes, na época de plantio de arroz (outubro), no ano agrícola 75/76, no Estado de Goiás.

Para exemplificar o método de determinação das doses economicamente ótimas de N, P, K, escolheram-se os resultados do ensaio PARAÚNA.

A função de produção estimada para esse ensaio foi:

$$Y = 1520 + 50,81 N + 11,61 P - 0,46 N^2 - 0,087 P^2$$

As doses economicamente ótimas foram obtidas utilizando-se as regras de otimização:

$$\frac{dY}{dN} = \frac{P_n}{P_y} \quad \text{e} \quad \frac{dY}{dP} = \frac{P_p}{P_y}$$

como:

$$P_n = \text{Cr\$ } 10,15$$

$$P_p = \text{Cr\$ } 7,44$$

$$P_y = \text{Cr\$ } 1,65$$

¹³Valores aproximados.

tem-se:

$$\frac{dY}{dN} = 50,81 - 0,92 N = \frac{10,65}{1,65} N = 49\text{kg}$$

$$\frac{dY}{dP} = 11,61 - 0,174 P = \frac{7,44}{1,65} P = 41 \text{ kg}$$

Pode-se certificar que realmente se tem o ponto máximo, quando $N = 49$ e $P = 41$, verificam-se as condições de 2ª. ordem:

$$\frac{d^2 Y}{dN^2} < 0; \frac{d^2 Y}{dN^2} = - 0,92$$

$$\frac{d^2 Y}{dP^2} < 0; \frac{d^2 Y}{dP^2} = - 0,174^{14}$$

Repetindo o mesmo processo de cálculo para os outros quatro ensaios, encontram-se as seguintes doses economicamente ótimas:

Ensaios doses economicamente ótimas

	(Kg/ha)		
	N	P	K
1. Paraúna	49	41	0
2. Buriti Alegre	19	83	0
3. Silvânia	35	49	0
4. Jaraguá	45	48	0
5. Cabeceiras	0	57	0

¹⁴No caso de haver interações significativas (ensaio 2), o processo de cálculo é o mesmo, chegando-se, porém, a um sistema de equações lineares a duas incógnitas. A solução desse sistema dará as doses economicamente ótimas de N e P

Para certificar-se de que se está realmente obtendo o ponto máximo, deve-se verificar também a 3ª condição, de 2ª ordem que, para o caso de 2 variáveis será:

$$\frac{d^2 Y}{dX_1^2} \cdot \frac{d^2 Y}{dX_2^2} > \left(\frac{d^2 (Y)}{dX_1 X_2} \right)^2$$

Calculadas as doses economicamente ótimas, os resultados, em termos de receita líquida, foram comparados com as recomendações de adubação obtidas pelo método "curva de calibração" e as da "comissão de solos".

O procedimento adotado foi o seguinte:

Utilizando-se a função de resposta estimada, calculou-se a produção esperada de arroz por hectare, resultante da aplicação dos níveis ótimos de N PK, para cada ensaio.¹⁵ A seguir, calculou-se o valor esperado da produção, o custo de produção¹⁶ e, por subtração, o lucro esperado por hectare. Esses resultados são mostrados na Tabela 10, nas linhas designadas "ot esp" (ótimo esperado).

O mesmo procedimento foi adotado para as recomendações propostas pelo método "curvas de calibração" e que aparecem na Tabela 7. Os resultados dessa segunda série de cálculos aparecem na Tabela 10, nas linhas designadas "C. cal" (curvas de calibração).

Para o terceiro grupo de recomendações, propostas pela comissão de solos de Goiás (veja Tabela 5), os resultados da produção e rentabilidade esperada aparecem na Tabela 10, nas linhas designadas "com solos".

Finalmente, calcularam-se a produção e a rentabilidade esperada, supondo a não utilização de fertilizantes. Essas estimativas aparecem na Tabela 10, nas linhas designadas "NPK—O".

¹⁵ Isso é feito pela simples substituição das doses economicamente ótimas de nutrientes na função de resposta.

¹⁶ Custo dos fertilizantes aplicados, mais Cr\$ 850,00 referente a uma estimativa para outros custos de produção (baseada em Produção e Abastecimento — Perspectiva e proposição 1975/76, SUPPLAN, MINISTÉRIO DA AGRICULTURA — Junho)

A comparação dos resultados de produção e rentabilidade esperada para os quatro tipos de recomendações analisadas, revela, entre outros pontos, que:

a) As recomendações "ot esp" mostram o maior lucro esperado em todos os ensaios considerados. Isso não é surpresa, pois, embora os tratamentos "ot esp" sejam apenas estimativas, elas foram obtidas a partir do ajustamento de uma função de resposta aos dados observados nos ensaios. Já as alternativas "C.cal" e "Com solos" seguem listas de recomendações de fertilizantes que, com se viu anteriormente, são calculadas para determinadas faixas de ppm do elemento no solo. Assim, é pouco provável que gerem recomendações que maximizem a receita líquida esperada, tal como permite a função de resposta.

2) As recomendações obtidas pela "C. cal" resultaram em maiores lucros esperados do que as da "Com. solos", em três dos cinco ensaios. Nos dois restantes, os resultados foram praticamente iguais.

3) Os níveis do lucro esperado variam muito de um ensaio para outro, qualquer que seja o método de recomendação considerado. Ademais, devido aos riscos associados à cultura, não se pode ter certeza de que ocorrerão as produções estimadas para cada ensaio. Essas variações entre locais e anos são um fato importante no processo decisório do agricultor e que precisa ser levado em conta em futuras pesquisas.

TABELA 10
RENTABILIDADE ESPERADA

ENSAIO	FUNÇÃO DE RESPOSTA	Níveis de N.P.K. kg/ha	Produção esperada kg/ha	Valor da Prod. esp. Cr\$/ha	Custo de Produção Cr\$/ha	Lucro esperado Cr\$/ha
1. Paraúna	$1520+50,81N+11,61P-0,46N^2-0,087P^2$	"ot.esp." (49-41-0)	3235	5338	1652	3686
		"C.CAL" (35-0-0)	2735	4513	1205	3308
		"Com. Solos" (30-60-20)	3014	4973	1658	3315
		"NPK= 0" (0-0-0)	1520	2580	850	1658
2. B. Alegre	$2403+36,46N+26,92P-0,32N^2-0,11P^2-0,22NP$	"ot.esp." (19-83-0)	4109	6780	1660	5120
		"C. CAL" (35-50-0)	3973	6555	1577	4978
		"Com. Solos" (30-80-40)	4130	6815	1863	4952
		"NPK= 0" (0-0-0)	2403	3965	850	3115
3. Silvânia	$1654+24,47N+25P-0,26N^2-0,21P^2$	"ot. esp." (35-49-0)	2912	4805	1570	3235
		"C. CAL" (35-50-30)	2916	4811	1662	3149
		"Com. Solos" (30-80-40)	2810	4637	1863	2774
		"NPK= 0" (0-0-0)	1654	2729	850	1879
4. Jaraguá	$1822+31,25N+25,55P-0,28N^2-0,22P^2$	"ot. esp." (45-48-0)	3381	5579	1664	3915
		"C. CAL" (35-30-0)	3141	5183	1428	3755
		"Com. Solos" (30-80-40)	3144	5188	1806	3382
		"NPK=0" (0-0-0)	1822	3006	850	2156
5. Cabeceiras	$404+27,17P-0,2P^2$	"ot. esp." (0-57-0)	1302	2148	1274	874
		"C. CAL" (35-50-0)	1263	2084	1577	507
		"Com. Solos" (30-80-20)	1298	2142	1806	336
		"NPK= 0" (0-0-0)	404	667	850	-183

LITERATURA CITADA

1. CRUZ, Elmar Rodrigues da. **Análise econômica de experimentos, usando funções de produção quadrática**; exemplo simples e didático do uso de fertilizantes na cultura do trigo. Brasília, EMBRAPA, 1975. 31p. mimeo.
2. VIEIRA, Sonia; ARRUDA, Hermano Vaz de; HOFFMANN, Rodolfo. **Estudo comparativo de três funções na análise econométrica de experimentos de adubação**. Piracicaba, ESALO, 1971. 111p.

AGRADECIMENTO

Agradecemos a colaboração de todas as pessoas e entidades que possibilitaram a realização deste trabalho, que ora se publica.

AGRO-ECONOMIC INTERPRETATION OF FERTILITY EXPERIMENTS ABSTRACT

The results of upland rice fertility experiments conducted in southern Goias were interpreted from agronomic and economic perspectives.

In the agronomic interpretation soil analysis were related to phosphorus and potassium responses. The calibration curves so obtained were used to formulate new fertilizer recommendations for southern Goias.

In the economic interpretation the new recommendations were compared with existing recommendations by use of cost-return analysis and an econometric technique which utilized a quadratic yield function. In comparison with existing recommendations the proposed recommendations showed certain economic advantages, principally by defining levels of phosphorus and potassium above which fertilization is not profitable. The interpretations, besides presenting use ful and easily applied techniques, point to the types of research necessary to improve fertilizer recommendations for upland rice in southern Goias.



ERRATA

Na pág. 38, nota 12, do rodapé,
onde se lê: ...se verificam as
seguintes condições...
leia-se: ...se se verificam as
condições...