

03483
CPAC
1986
ex. 2
FL-03483

DOCUMENTOS

Agosto, 1986



EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NÃO TRADICIONAIS



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA
Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA
Estação Experimental de Cerrados - CPAC

Eficiência agronômica de

1986

FL-03483



29287-2

REPÚBLICA FEDERATIVA DO BRASIL

Presidente: José Sarney

Ministro da Agricultura: Iris Rezende Machado

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Presidente: Ormuz Freitas Rivaldo

Diretores: Ali Aldersi Saab

Derli Chaves Machado da Silva

Severino de Melo Araújo



MINISTÉRIO DA AGRICULTURA - MA

Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA

Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados - CPAC



EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES
FOSFATADOS NÃO TRADICIONAIS



Wenceslau J. Goedert

Thomaz A. Rein

Djalma M.G. de Sousa

Planaltina, DF

1986

Exemplares desta publicação podem ser solicitadas ao:

CENTRO DE PESQUISA AGROPECUÁRIA DOS CERRADOS

BR 020 - km 18 - Rodovia Brasília-Fortaleza

Caixa Postal, 70-0023

Telex: (061)1621

Telefone: (061)596-1171

73.300 - Planaltina, DF

Tiragem: 1.000 exemplares

Editor: Comitê de Publicações

João Pereira

José Carlos Sousa Silva

José Luiz Fernandes Zoby

Luiz Carlos B. Nasser - Presidente

Raul Colvara Rosinha - Secretário

Editoração: Dilermando Lúcio de Oliveira

Leocadia M.R. Mecnas

Normalização bibliográfica: Leocadia M.R. Mecnas

Composição: Adonias Pereira de Oliveira

Luis Gerônimo dos Santos

Montagem: Nilda Maria da Cunha Sette

Distribuição: Daniel Venâncio Bezerra

Goedert, Wenceslau J.

Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais, por Wenceslau J. Goedert, Thomaz A. Rein e Djalma M.G. de Sousa. Planaltina, EMBRAPA-CPAC, 1986.

21p. (EMBRAPA-CPAC. Documentos, 24).

1. Solos - Fertilizantes - Uso. I. Rein, Thomaz A., colab. II. Sousa, Djalma M.G., colab. III Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. IV. Título. V. Série.

CDD 631.8

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
INTRODUÇÃO.....	5
FOSFATOS SOLÚVEIS E TRADICIONAIS.....	6
FOSFATOS PARCIALMENTE ACIDULADOS COM ÁCIDO SULFÚRICO	8
FOSFATOS SOLUBILIZADOS POR OUTROS PROCESSOS QUÍMICOS.....	13
FOSFATOS TÉRMICOS.....	15
CONCLUSÕES.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE FERTILIZANTES FOSFATADOS NÃO TRADICIONAIS¹

Wenceslau J. Goedert²
Thomaz A. Rein³
Djalma M.G. de Sousa⁴

RESUMO

A solubilização dos fosfatos naturais brasileiros é uma necessidade, em face da baixa eficiência agronômica dos mesmos. No Brasil, os produtos de transformação mais comuns são os superfosfatos e fosfatos de amônio, os quais se constituem em fontes de comprovada eficiência agronômica. Contudo, há necessidade de se obter produtos com tecnologia mais simples e que melhor aproveitem as matérias-primas disponíveis no País. Uma das opções exercitadas no momento é a produção de fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico. A eficiência agronômica dessas fontes, para culturas anuais, tem sido proporcional à fração da apatita solubilizada. Trata-se, assim, de um produto viável, se o preço de mercado for estabelecido em função do teor de P_2O_5 solúvel. Outras alternativas de solubilização química atualmente em teste agronômico são: ácido nítrico, ácido fosfórico, fosfato e nitrato de uréia e bissulfato de amônio. Finalmente, deve-se destacar a alta eficiência dos produtos resultantes da rota térmica, indicando serem de grande potencial para solos tropicais ácidos.

INTRODUÇÃO

Os fosfatos naturais brasileiros são de baixa solubilidade e de uso limitado para aplicação direta na agricultura. A indústria brasileira de transformação tem-se concentrado na produção de superfosfatos e fosfatos de amônio. São essas as melhores fontes para o nosso País? A resposta para essa questão é complexa, pois envolve vários aspe

¹ Trabalho de revisão apresentado no III Encontro Nacional de Rocha Fosfática. Brasília, 1986.

² Eng.-Agr., Ph.D.

³ Eng.-Agr.

⁴ Eng.-Agr., M.Sc.

pectos nas áreas da indústria, da agricultura, enfim, da política de desenvolvimento nacional.

De modo resumido, um fertilizante fosfatado ideal para o Brasil deve ter as seguintes características:

- a) ter tecnologia de produção simples e baixo custo;
- b) utilizar ao máximo matérias-primas nacionais;
- c) ser de fácil armazenamento e com possibilidade de uso em fórmulas;
- d) ter alta eficiência agronômica (alta produção por unidade de P_2O_5 total aplicado ao solo);
- e) ter bom efeito residual e efeitos secundários benéficos ao solo e à cultura;
- f) ser de fácil manuseio, transporte e aplicação no solo;
- g) propiciar alta relação benefício/custo para o produtor rural, ou seja, maior lucro por Cruzado investido em fósforo.

O objetivo deste trabalho é revisar o conhecimento atual sobre a eficiência agronômica de fontes de fósforo produzidas ou estudadas no Brasil, à luz das características citadas acima. Foram incluídos também alguns dados dos autores, ainda não publicados.

Tendo em vista o grande número de fontes potenciais, o trabalho será organizado em quatro linhas ou tópicos:

- 1) Fosfatos solúveis e tradicionais.
- 2) Fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico.
- 3) Fosfatos solubilizados por outros processos químicos.
- 4) Fosfatos térmicos.

FOSFATOS SOLÚVEIS E TRADICIONAIS

As fontes solúveis em água mais produzidas no Brasil são os superfosfatos (simples e triplo) e os fosfatos de amônio (MAP e DAP).

A composição aproximada desses fosfatos, com relação aos teores de N, P, S e Ca, é mostrada na Tabela 1. Trata-se de produtos solúveis quando incorporados ao solo, com alta capacidade de liberar P para as plantas e, portanto, com alta eficiência agronômica como fertilizantes fosfatados.

Conforme será discutido adiante, os superfosfatos vêm sendo utilizados como fontes de referência para avaliar fontes alternativas e sua eficiência; a curto e a longo prazo têm sido iguais ou superiores

TABELA 1. Características de fertilizantes fosfatados tradicionais e em teste.

Fonte	P_2O_5				N	CaO	MgO	S
	Total	HCl	$CaNH_4$	H_2O				
A. Tradicionais solúveis								
Superfosfato simples	20	18	18	17	0	28	0	12
Superfosfato triplo	45	40	44	38	0	20	0	1
MAP	52	50	52	50	10	0	0	0
DAP	45	42	44	40	17	0	0	0
B. Parcialmente acidulados com ácido sulfúrico (~50% acidulação)								
Anitápolis (SC)	30	15	15	14	0	-	-	7
Araxá (MG)	26	11	13	10	0	-	-	7
Catalão (GO)	29	15	16	14	0	-	-	7
Olinda (PE)	27	11	10	9	0	-	-	6
Patos de Minas (MG)	19	12	10	9	0	-	-	6
Tapira (MG)	25	12	12	10	0	-	-	8
C. Outros fosfatos								
Parc.acid.fosfórico (R = 0,5)	43	19	-	-	0	-	-	-
Parc.acid.nítrico (120 kg/t de rocha)	26	9	-	-	3	-	-	1
RNC-I	15	12	12	8	2	-	-	10
RNC-II	17	10	-	6	2	-	-	7
Fosfonitrossulfocálcio	21	-	20	10	7	-	-	11
Fosfato de Uréia	41	-	-	-	17	-	-	0
Nitrato de Uréia + Catalão (R = 0,88)	23	8	-	5	14	-	-	0
Fosfato de Uréia + Catalão (R = 0,56)	40	-	17	-	6	-	-	0
D. Termofosfatos								
Termo magnesiano	19	16	13	0	0	28	16	0
Termo IPT	29	14	-	-	-	-	-	-
Termo Patos CETEC (Fundido)	15	12	-	0	-	-	-	-
Termo Patos (sinterizado)	19	14	-	0	-	-	-	-
Fosfato do Maranhão calcinado	30	1	15	-	-	-	-	-

às demais fontes. Desse modo, são fontes eficientes do ponto de vista agrônomo.

Os dois superfosfatos têm mostrado eficiência similar no que concerne ao fornecimento de P para as plantas. Contudo, o superfosfato simples contém menor teor de P total, fazendo com que seu preço por unidade de P seja maior para o produtor rural, em função do custo do transporte. Essa desvantagem pode ser compensada por seus efeitos se-

cundários (maior conteúdo de Ca e S), fato já comprovado em solos com deficiência desses nutrientes e em solos em que as plantas apresentam crescimento radicular limitado devido ao baixo teor de Ca no perfil (Ritchey et al. 1980).

Os fosfatos de amônio são igualmente fontes eficientes de fósforo, mas também necessitam de enxofre para sua fabricação. Adicionalmente, não possuem Ca e S em sua composição e podem apresentar relação N/P_2O_5 desfavorável para utilização direta em algumas culturas. Estas fontes são mais utilizadas em formulações de adubos.

Em conclusão, os superfosfatos e fosfatos de amônio são excelentes fontes do ponto de vista agrônomo, tendo algumas limitações no âmbito industrial: tecnologia relativamente complexa, necessidade de enxofre e de concentrados fosfáticos com poucas impurezas (R_2O_3).

FOSFATOS PARCIALMENTE ACIDULADOS COM ÁCIDO SULFÚRICO

A produção de fosfatos parcialmente acidulados em escala industrial é muito recente no Brasil (final da década de 70) e resultou da necessidade de economizar enxofre e aproveitar fosfatos de rocha com alto grau de impurezas, principalmente óxidos de ferro e de alumínio (Cekinski & Bettiol 1983). A tecnologia de produção industrial é mais simples do que a de superfosfatos. Enfim, considerando-se os aspectos industriais, representa uma boa opção para o Brasil.

A composição química e dados de solubilidade de materiais tratados com diversas quantidades de ácido sulfúrico (AS) mostraram que a quantidade de P extraída pelas soluções tradicionalmente usadas (água, ácido cítrico e citrato de amônio) está diretamente relacionada à quantidade de AS utilizada por tonelada de rocha (Goedert & Sousa 1986).

As pesquisas que visam avaliar a eficiência agrônoma dessas fontes de P são também muito recentes. Um resumo dos trabalhos publicados na literatura brasileira é apresentado na Tabela 2, procurando-se expressar a eficiência agrônoma das fontes em termos de produção relativa ou índice de eficiência agrônoma (IEA). Esse índice expressa a relação percentual entre o aumento de produção obtido com a fonte em estudo e o obtido com o superfosfato triplo, para a mesma dose de fósforo total aplicada.

A comparação de dados obtidos por diferentes autores tem suas limitações, tendo em vista as condições diferentes de trabalho. Contu

TABELA 2. Eficiência agrônômica de fosfatos parcialmente acidulados com ácido sulfúrico, testados em alguns locais, com diferentes culturas, em solos que apresentaram resposta a adubação fosfatada.

Local	Solo	Cultura	Fosfato	kg de Acidulação de ácido/t de rocha	Eficiência relativa(%)	IEA %	Ambiente ¹	Referência
Goiânia-GO	LE	Arroz	Araxá	350	-	72	Campo(1) ²	Barbosa Filho et al. 1983
"	"	"	"	"	-	66	" (2) ²	"
"	"	"	Patos	250	-	62	" (1) ²	"
"	"	"	"	"	-	30	" (2) ²	"
Planaltina-DF	LE	Arroz	Araxá	350	72	-	Campo(1)	EMBRAPA 1981
Ituiutaba-MG	LV	Sorgo	Patos	50	41	-	Vaso (1) ³	Franco 1977
"	"	"	"	150	70	-	"	"
"	"	"	"	250	91	-	"	"
"	"	"	Araxá	50	24	-	"	"
"	"	"	"	150	46	-	"	"
"	"	"	"	250	58	-	"	"
Uberaba-MG	LV	Sorgo	Araxá	350	-	42	Vaso (1) ³	Freire et al.1983
V.do Rio Branco-MG	"	"	"	350	-	67	"	"
São Gabriel do Oeste-MS	LE	Soja	Araxá	350	-	39	Campo(1) ⁴	Lins et al.1982
"	"	"	"	350	-	56	" (2) ⁴	Lins & Sousa(dados não publicados)
"	"	"	"	350	-	48	" (3) ⁴	"
"	"	"	"	350	-	52	" (4) ⁴	"
Jaboticabal-SP	LE	Milho	Araxá	350	-	84	Campo(1) ⁵	Malavolta et al.1981
"	"	Soja	"	350	-	88	"	"
"	LR	Arroz	"	350	-	107	"	"
"	"	Milho	"	350	-	86	"	"
Piracicaba-SP	LE	Cana	"	350	-	114	" (1) ⁶	Malavolta et al.1982
Anhembi-SP	LV	Feijão	"	350	-	80	Vaso (1) ⁷	Nakayama & Malavolta 1983a
Anhembi-SP	"	Sorgo	"	350	-	108	"	Nakayama & Malavolta 1983b
Botucatu-SP	LE	"	"	350	-	94	"	Nakayama & Malavolta 1983c
Botucatu-SP	"	Feijão	"	350	-	83	"	Nakayama & Malavolta 1983d

1 - Valor entre parênteses refere-se ao número de cultivos.

2 - Eficiência calculada para a dose de 80 kg de P₂O₅/ha/ano.

3 - Eficiência calculada para produção média em função de doses de fósforo aplicado.

4 - Eficiência calculada para a dose de 50 kg de P₂O₅/ha/ano

5 - Eficiência calculada através de interpolação, para a dose de 90 kg de P₂O₅/ha.

6 - Eficiência calculada através de interpolação, para a dose de 120 kg de P₂O₅/ha.

7 - Eficiência calculada para média de níveis de calagem e granulometrias de fosfato parcialmente acidulado.

do, os dados da Tabela 2 mostram que a eficiência agronômica dos parcialmente acidulados é inferior à dos fosfatos solúveis. Em termos médios, essa eficiência varia em torno de 60%, em relação ao superfosfato triplo.

Alguns índices elevados registrados na Tabela 2 podem ser explicados pelas condições experimentais, onde os parcialmente acidulados foram avaliados em solos com baixa resposta relativa à adubação fosfatada ou com doses muito elevadas do fertilizante, não refletindo a sua real eficiência agronômica.

Um trabalho mais amplo para avaliação agronômica de fosfatos parcialmente acidulados foi iniciado em 1983, como consequência do programa do Convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL. Várias instituições têm participado desse trabalho, mas os resultados obtidos ainda não foram formalmente publicados. Por essa razão, apenas os resultados obtidos pelos autores, no Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados (CPAC), serão discutidos a seguir.

Foram produzidos pela PETROFÉRTIL materiais com cinco níveis de acidulação, a partir de rochas originárias dos seguintes locais: A nitápolis (SC), Araxá (MG), Catalão (GO), Olinda (PE), Patos de Minas (MG) e Tapira (MG). Inicialmente, esses trinta materiais foram testados em casa de vegetação, usando o milho como planta teste. A principal conclusão obtida foi a de que a eficiência agronômica das fontes se relaciona estreitamente com a percentagem de P solúvel em água, ácido cítrico ou citrato de amônio. A Fig. 1 mostra a relação obtida entre o IEA e proporção de P extraído por solução de ácido cítrico. Nota-se, pela equação de regressão, que a relação é linear e o gradiente é próximo à unidade, ou seja, o índice de eficiência agronômica tem magnitude similar à proporção de P extraído por ácido cítrico.

Parte desses materiais foram avaliados em experimentos de campo, com a cultura da soja, durante dois anos. Os resultados, em fase de publicação, confirmam os obtidos em casa de vegetação, isto é, a eficiência agronômica encontrada foi proporcional ao nível de acidulação do fosfato natural e diretamente relacionada à percentagem do P total solúvel em solução de ácido cítrico.

A Fig. 2 resume os resultados desses experimentos de campo, com soja, comparando a eficiência agronômica do Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado (FAPS) com o superfosfato triplo, durante dois anos. Observa-se que o IEA médio para o FAPS, dentro das doses utilizadas, foi de 59% para o 1º cultivo e de 42% para o 2º cultivo. O menor índice obtido para o 2º cultivo sugere que a fração da apatita não at

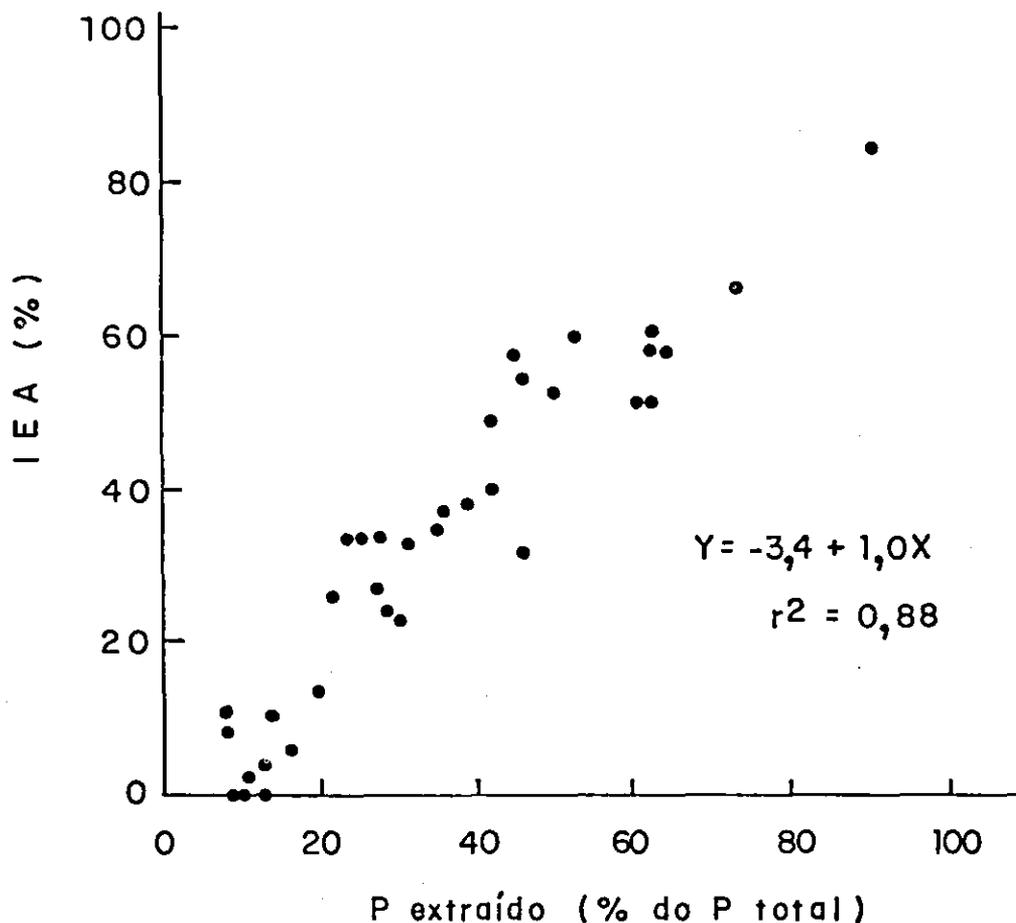


FIG. 1. Correlação entre a eficiência agrônômica de fosfatos com diferentes graus de acidulação, calculada para um cultivo de milho em vaso, e a taxa de extração de fósforo por solução de ácido cítrico.

cada pelo ácido sulfúrico tem eficiência agrônômica muito baixa, similar à do fosfato natural de origem.

O conhecimento de curvas de resposta, como as apresentadas na Fig. 2, obtidas em vários solos e culturas, permitirá calcular a relação benefício/custo para cada fonte e, portanto, definir as condições de viabilidade econômica dos fosfatos parcialmente acidulados.

Se a situação apresentada na Fig. 2 for válida para todos os solos e culturas anuais, pode-se inferir que, para se obter uma mesma produção, é necessário aplicar ao solo aproximadamente o dobro de P_2O_5 total na forma de parcialmente acidulado do que de superfosfato triplo. Desse modo, para ser viável economicamente, o preço de um quilograma de P_2O_5 total na forma de parcialmente acidulado deve ser aproximadamente igual à metade do preço do quilograma de P_2O_5 total na forma de superfosfato triplo. Outra forma de expressar os resultados de pesquisa seria a de que o preço dos parcialmente acidulados deve ser estabelecido

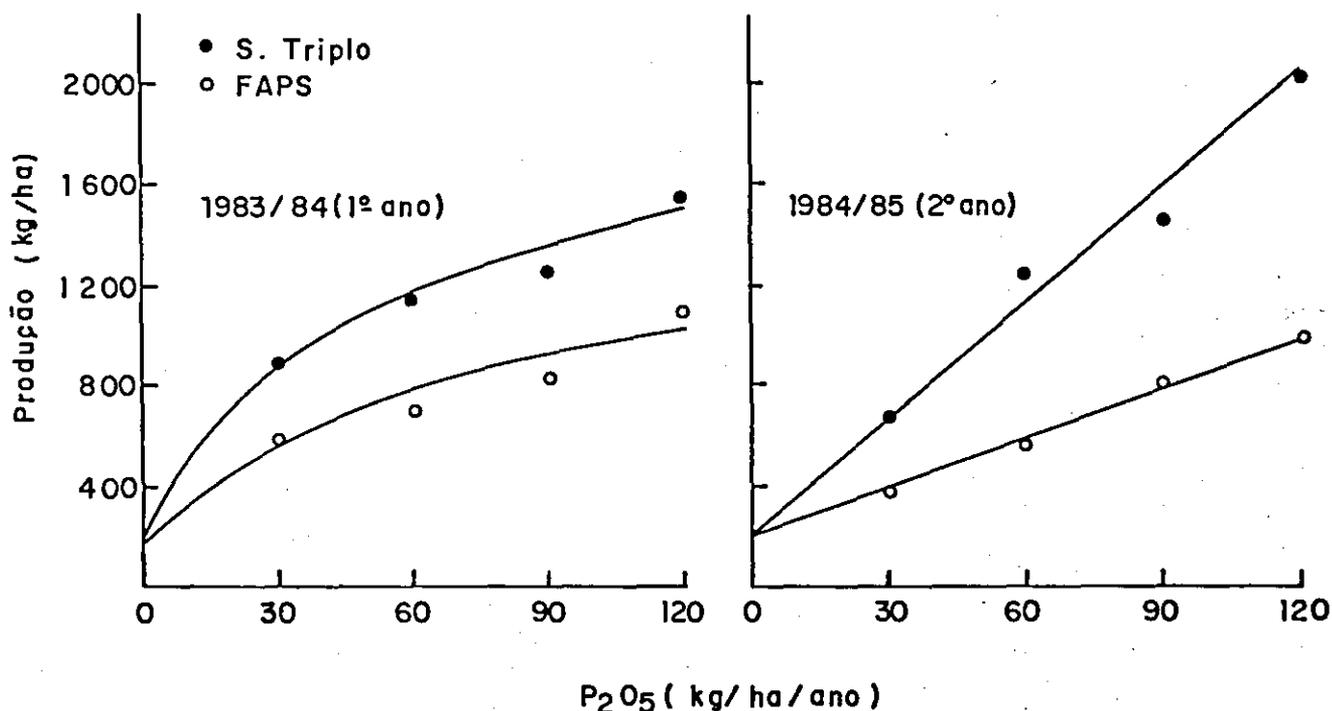


FIG. 2. Produção de soja em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso de Cerrado, em resposta a doses de fósforo aplicadas anualmente no sulco de semeadura, na forma de Superfosfato Triplo e Fosfato de Araxá Parcialmente Solubilizado.

em função do teor de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e/ou citrato neutro de amônio.

Deve-se ressaltar, finalmente, que as pesquisas têm-se concentrado em culturas anuais, exigentes em fósforo e de crescimento rápido. Não resta dúvida que a situação para pastagem e culturas perenes seria diferente, ou seja, para essas plantas, a eficiência agrônômica dos fosfatos parcialmente acidulados deverá ser mais próxima à dos fosfatos solúveis.

Em resumo, o conhecimento atual sobre os fosfatos parcialmente acidulados com AS permite concluir:

- a) eles apresentam uma boa opção do ponto de vista industrial, considerando a tecnologia simples, o aproveitamento de rochas de qualidade inferior e a economia de enxofre;
- b) sua eficiência agrônômica, para culturas anuais, é proporcional à fração solúvel de P, e a parte não atacada pelo

AS parece ter eficiência similar à do fosfato natural de origem;

- c) do ponto de vista econômico, a viabilidade dessas fontes depende do preço praticado no mercado. Em síntese, para culturas anuais, o preço deve ser dado em função de **P** solúvel e não do teor de **P** total.

FOSFATOS SOLUBILIZADOS POR OUTROS PROCESSOS QUÍMICOS

Além do ácido sulfúrico, outras substâncias têm sido testadas para solubilização dos fosfatos brasileiros. Essas alternativas se justificam na medida em que representam opções de melhor aproveitamento de algumas rochas e utilização de produtos da indústria nacional como agentes solubilizantes. Atualmente, dentro do Convênio EMBRAPA/PETROFÉRTIL, estão sendo testados os seguintes agentes: ácido fosfórico (AF), ácido nítrico (AN), nitrato de uréia (NU), fosfato de uréia (FU) e bissulfato de amônio (BA). A composição de alguns desses produtos é mostrada na Tabela 1.

Pesquisas com fosfatos parcialmente acidulados com AF, a partir de rochas de Araxá, Catalão e Patos de Minas foram relatadas por Barreto (1977), Franco (1977) e Ferreira & Kaminski (1979), indicando que a eficiência desses parcialmente acidulados também foi proporcional à quantidade de **P** solubilizado pela acidulação. Desse modo, apesar de não diminuir a necessidade de enxofre, deve-se dar mais ênfase ao teste agrônômico dessa alternativa, visando-se avaliar sua viabilidade econômica.

A produção de nitrofosfatos é interessante para países com limitação de enxofre. Trata-se, contudo, de produtos com problemas de higroscopicidade e instabilidade. Segundo Malavolta (1981), os nitrofosfatos não oferecem vantagens com respeito ao valor agrícola, quando comparados aos fosfatos de amônio. Goedert & Sousa (1986) testaram um parcialmente acidulado com ácido nítrico, a partir do fosfato de Patos. Concluíram que a eficiência agrônômica foi similar à dos produtos tratados com ácido sulfúrico, para o mesmo nível de acidulação (relação H^+/P_2O_5).

A mistura de fosfato natural com nitrato de uréia ou com fosfato de uréia tem sido pouco eficaz na solubilização dos fosfatos. Conforme mostra a Fig. 3, o IEA dessas misturas se situa em torno de 45%, sendo proporcional à fração solúvel do produto (Tabela 1). A opção de

uso desses adutos de uréia (sais obtidos através da reação equimolar entre ácido e uréia) foi testada tecnologicamente por Ballio (1981) e Martins & Cekinski (1981), os quais relataram algumas vantagens no que se refere ao transporte do acidulante na forma sólida. Do ponto de vista agrônomo, contudo, essas misturas não se mostraram eficientes. Já o fosfato de uréia puro tem-se revelado como excelente fonte de fósforo, com eficiência comparável à do superfosfato triplo (Fig. 3).

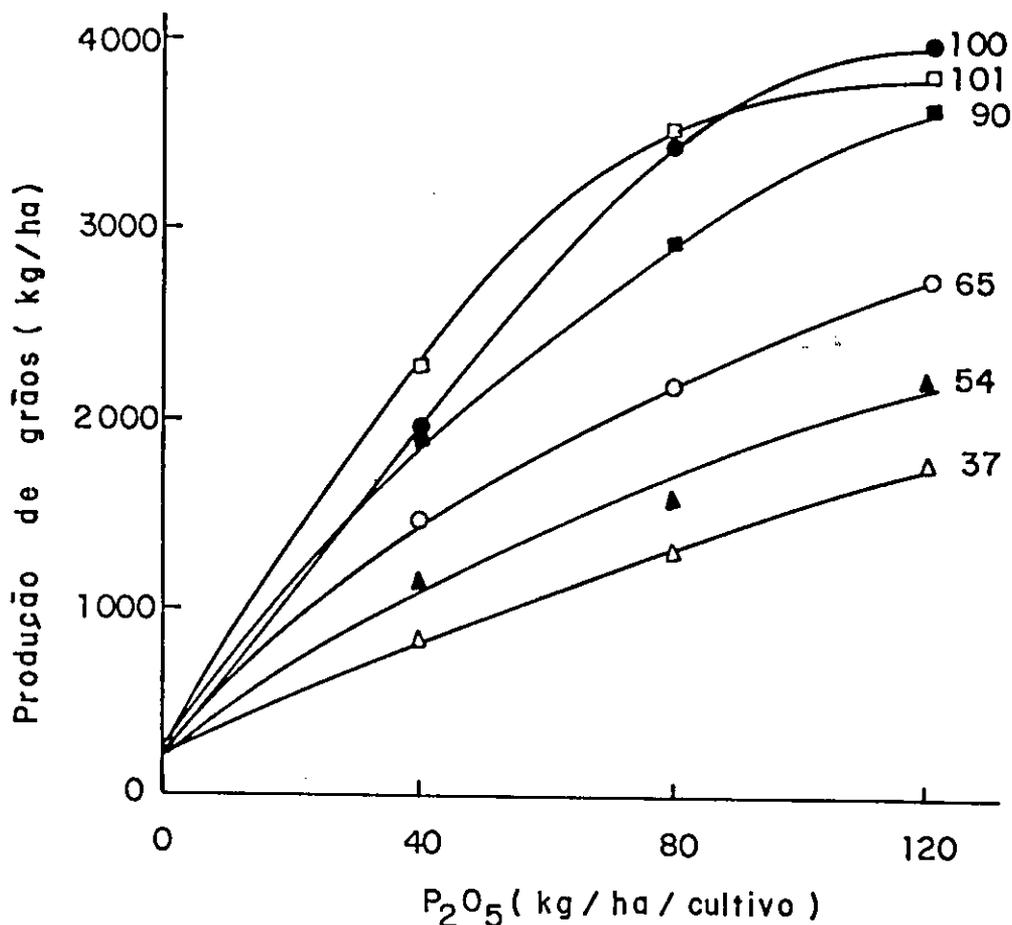


FIG. 3. Índice de Eficiência Agrônômica e produção de milho do segundo cultivo de um experimento em Latossolo Vermelho-Escuro argiloso de Cerrado, em resposta a doses e fontes de fósforo. Superfosfato triplo = ●; Fosfato de uréia = □; Fosfonitrossulfocálcio = ■; RNC-II = ○; Fosfato de uréia + Fosf. Catalão = ▲; Nitratato de uréia + Fosf. Catalão = △.

Outro produto que vem sendo testado é o denominado RNC (Rota Não Convencional). Nessa linha, o concentrado fosfático Patos de Minas é tratado com misturas de ácido sulfúrico (AS) e sulfato de amônio (SA).

Nessa rota, vários produtos foram testados visando avaliar, principalmente, o efeito das relações molares H^+/P_2O_5 e SA/AS. Os re

sultados desses experimentos ainda não estão publicados; contudo, indicam que essa rota tem potencial para solubilização de rochas que contêm alto grau de impurezas (óxidos de Fe e de Al), como a de Patos de Minas. Dois desses produtos vêm sendo testados em experimentos de campo, identificados como RNC-I e RNC-II, cujas composições químicas estão registradas na Tabela 1.

O primeiro foi obtido a partir das relações molares $SA/AS = 0,3$ e $H^+/P_2O_5 = 4,6$, esta última muito próxima de 4,8, que corresponde à taxa de acidulação necessária para fabricação de superfosfato simples, a partir de outros concentrados fosfáticos. Os testes agrônômicos de dois anos, com a cultura da soja, mostraram que a eficiência agrônômica do RNC-I é semelhante à dos superfosfatos (IEA por volta de 100%).

Já o RNC-II, avaliado com a cultura do milho, apresentou eficiência agrônômica inferior ao superfosfato triplo, situando-se em torno de 65% (Fig. 3). Esse produto foi obtido a partir das relações $SA/AS = 0,5$ e $H^+/P_2O_5 = 2,3$. A sua menor taxa de acidulação, em relação ao RNC-I, justifica a sua menor eficiência agrônômica. Além do fósforo, esse produto contém outros nutrientes que podem ser interessantes no preparo de fórmulas de adubação. Enfim, essa rota parece ser uma alternativa interessante em termos agrônômicos.

O fosfonitrossulfocálcio (conhecido também pela denominação "Dapinho") é um produto alternativo na rota de produção de fosfatos de amônio, com a mesma relação N/P_2O_5 do DAP. Sua solubilidade em água é inferior à dos fosfatos de amônio (Tabela 1). Como fonte de P tem-se revelado um produto de alta eficiência, comparável ao supertriplo (Fig. 3). Apesar do relativo baixo teor de P total, as pesquisas iniciais indicam ser um composto que merece mais atenção no futuro.

As pesquisas agrônômicas com esses produtos alternativos estão em fase inicial, não permitindo conclusões. Até o momento têm-se destacado, contudo, os seguintes materiais: fosfonitrossulfocálcio, fosfato de uréia puro, parcialmente acidulado com ácido fosfórico e alguns produtos da rota RNC.

POSFATOS TÉRMICOS

O tratamento térmico de concentrados fosfáticos visa diminuir a rigidez estrutural da apatita e a transformação mineralógica, permitindo a liberação de fósforo. No processo, o concentrado fosfático é

misturado com outros materiais, tais como: carbonato de sódio, sulfato e silicato de magnésio, escórias industriais, etc. Diferentes misturas caracterizam os diversos processos e produtos. Assim, de modo geral, os termofosfatos apresentam reação alcalina e contêm quantidades apreciáveis de magnésio e silício (Tabela 1).

As pesquisas agrônômicas com termofosfatos no Brasil tiveram início há cerca de 20 anos, principalmente com a cultura da cana-de-açúcar (Alvarez et al. 1965). Apesar de serem insolúveis em água, sua

TABELA 3. Eficiência agrônômica de termofosfatos testados com várias culturas em diferentes solos.

Local	Solo	Cultura	Termofosfato	IEA %	Ambiente ¹	Referência
Araras-SP	LR	Cana-de-açúcar	Japonês	99	Campo(1) ²	Alvarez et al. 1965 a
Ribeirão Preto-SP	LR	"	"	68	"	"
Tapiratiba-SP	PV	"	"	174	"	"
Sertãozinho-SP	LR	"	"	197	"	Alvarez et al. 1965 b
Sertãozinho-SP	"	"	"	124	"	"
Tapiratiba-SP	LV	"	"	112	"	"
Penápolis-SP	LE	"	"	129	"	"
Mogi Mirim-SP	LR	"	"	128	"	"
Orlândia-SP	LE	Soja	Yoorin	105	Campo(1) ³	Braga et al. 1980
Campinas-SP	LV	Trigo	"	87	Vaso (1)	Feitosa et al. 1978
"	"	"	IPT	27	"	"
Planaltina-DF	LE	Culturas anuais	Yoorin	101	Campo(5) ⁴	Goedert & Lobato 1984
"	"	"	IPT	66	"	"
"	"	Capim-andropogon	Yoorin	130	Campo(3) ⁴	"
"	"	"	IPT	91	"	"
Ponta Grossa-PR	"	Soja	Yoorin	129	Campo(3) ⁵	Ramos 1982
"	"	"	Renania	99	"	"
"	"	Trigo	Yoorin	102	"	"
"	"	"	Renania	82	"	"
Planaltina-DF	"	Braquiária	Yoorin	99	Campo(9) ⁶	Sanzonowicz & Goedert 1985
Jaú-SP	TRE	Algodão	"	130	Campo(1)	Silva et al. 1977
"	"	"	Fertiminas	68	"	"
"	"	"	Yoorin	121	Campo(6) ⁷	"
"	"	"	Fertiminas	81	"	"
Planaltina-DF	LE	Braquiária	Yoorin	99	Campo(3) ⁶	Yost et al. 1982

1 - Valor entre parênteses refere-se ao número de cultivos.

2 - Eficiência calculada para produção média em função de doses de fósforo aplicado.

3 - Eficiência calculada para produção média de matéria seca (grãos + palha) em função de doses de fósforo aplicado.

4 - Eficiência calculada para fósforo extraído acumulado durante uma seqüência de culturas anuais e, posteriormente, capim andropogon. Média de duas doses de fósforo aplicado apenas no primeiro cultivo.

5 - Eficiência calculada para produção média de três cultivos sob dois níveis de calagem, com reaplicação anual de fósforo.

6 - Eficiência calculada para produção acumulada média, em função de níveis de calagem e doses de fósforo aplicado no primeiro ano.

7 - Eficiência calculada para produção média em função de anos e doses de fósforo aplicado anualmente.

eficiência tem sido igual ou mesmo superior à dos superfosfatos, conforme resumo apresentado na Tabela 3.

Outro aspecto importante de alguns termofosfatos diz respeito ao seu efeito na elevação do pH de solos ácidos, face ao seu alto teor de silicato de Ca e Mg (Goedert & Lobato 1984). Dependendo da quantidade do material aplicado, esse efeito pode ser importante para a agricultura, considerando-se adicionalmente o efeito nutritivo do Mg e outros nutrientes que compõem essas fontes. Estes efeitos secundários podem ser responsáveis por valores de IEA superiores a 100%, obtidos em algumas pesquisas (Tabela 3).

Além dos termofosfatos magnesianos, outros têm sido testados, podendo-se destacar o termo IPT e o fosfato calcinado do Maranhão. O primeiro, produzido a partir de mistura com carvão vegetal e fundentes, não mostrou eficiência agrônômica muito alta (Tabela 3). O segundo foi obtido através da calcinação de bauxita fosforosa, extraída na Ilha de Trauíra e Morro do Pirocaua, no Maranhão. Este fertilizante foi avaliado em casa de vegetação (Feitosa et al. 1978 e Korndörfer 1978) e em campo (Braga et al. 1980 e Goedert & Lobato 1980, 1984), mostrando uma eficiência agrônômica relativamente elevada (IEA em torno de 70%). Tendo em vista que a temperatura de calcinação é inferior à dos termofosfatos magnesianos e que o teor de fósforo é de 30% P_2O_5 total, pode ser considerado como um produto promissor, dentro da rota térmica.

Do ponto de vista de eficiência agrônômica, os termofosfatos são excelentes fontes de fósforo para solos tropicais. As principais limitações atuais dessas fontes são: elevado preço no mercado, baixo teor de P total e apresentação na forma de pó, dificultando sua aplicação ao solo.

CONCLUSÕES

No início do trabalho foram enumeradas algumas características básicas de um bom fertilizante para a nossa agricultura. A principal exigência é que a fonte seja eficiente, que forneça fósforo às plantas, em resumo, que propicie altas produções por unidade de P total aplicado ao solo, considerando-se os efeitos inicial e residual.

Apesar do estágio inicial das pesquisas no Brasil, procurou-se resumir o conhecimento atual com fontes de fósforo, para culturas anuais, através da Fig. 4. Deve-se ressaltar que esse panorama seria diferente para plantas menos exigentes, tais como algumas espécies de pastagens e de reflorestamento (culturas perenes).

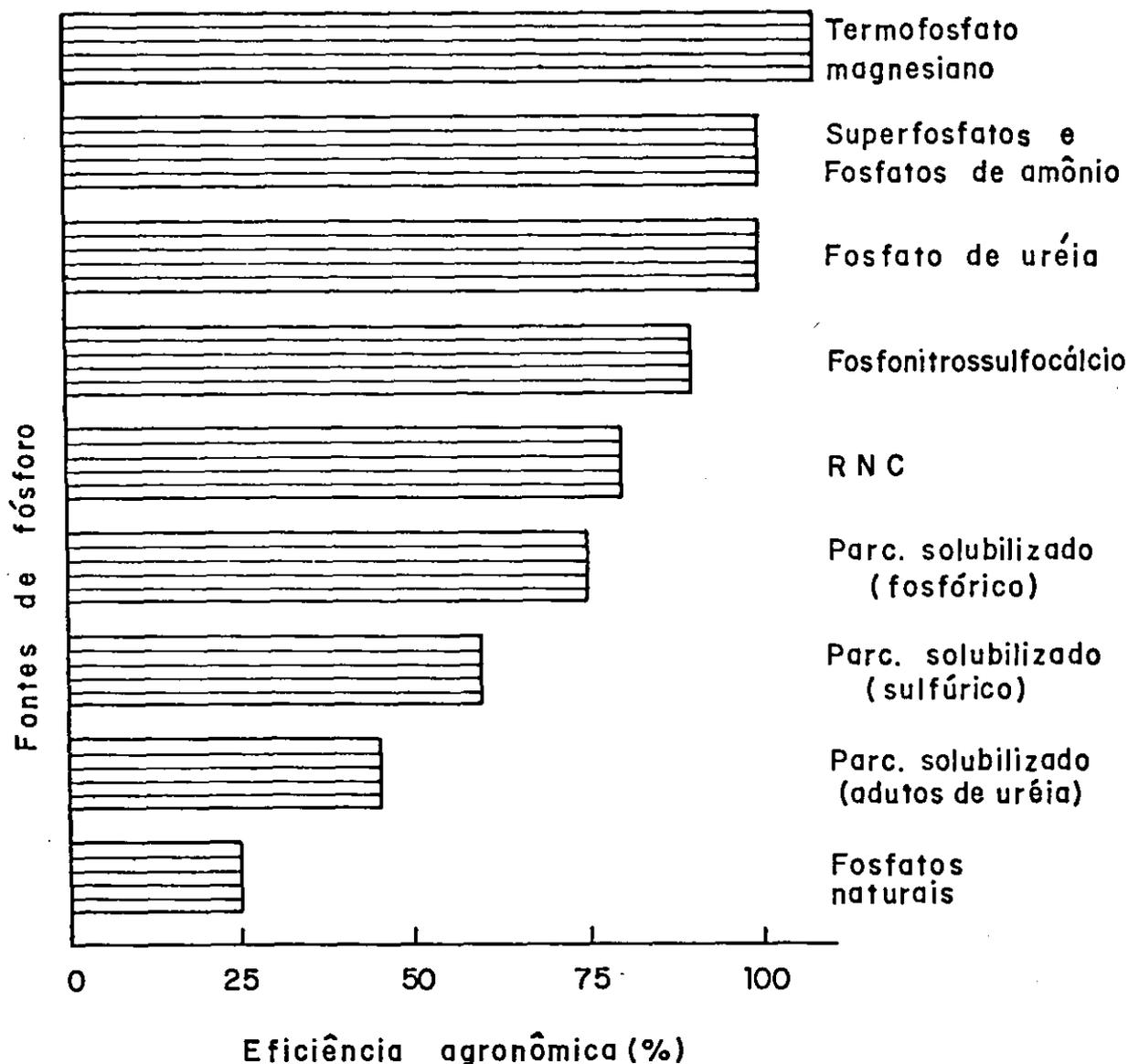


FIG. 4. Resumo aproximado da eficiência agrônômica de fontes de fósforo para culturas anuais.

Com base nesse conhecimento, podem ser inferidas as seguintes mensagens, considerando exclusivamente os aspectos agrônômicos e culturas anuais:

MENSAGEM 1 - As fontes solúveis e tradicionais (superfosfatos e fosfatos de amônio) são eficientes.

MENSAGEM 2 - A eficiência agrônômica das fontes não tradicionais está direta e proporcionalmente relacionada com a sua solubilidade, determinada de acordo com a atual legislação brasileira.

MENSAGEM 3 - Mesmo considerando-se os aspectos positivos no âmbito industrial (aproveitamento de fosfatos com impurezas

e menor uso de S), os fosfatos parcialmente acidulados somente serão viáveis se o custo para o produtor for estabelecido em função do conteúdo de P_2O_5 solúvel em ácido cítrico e/ou citrato neutro de amônio.

MENSAGEM 4 - Pesquisas com outros agentes solubilizadores são muito importantes e já têm mostrado resultados gratificantes. Entre os produtos mencionados, merecem estudos mais detalhados: parcialmente acidulados com ácido fosfórico, rota RNC e fosfonitrossulfocálcio.

MENSAGEM 5 - Os fermofosfatos representam uma excelente opção para solos tropicais ácidos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVAREZ, R.; ARRUDA, H.V. de & WÜTKE, A.P.C. Adubação da cana-de-açúcar. X - Experiências com diversos fosfatos (1959-60). Bragantia, Campinas, 24:1-8, 1965 a.
- ALVAREZ, R.; OMETTO, J.C.; WÜTKE, L.P.; ARRUDA, H.V. de & FREIRE, E. S. Adubação da cana-de-açúcar. XI - Experiências com diversos fosfatos (1961 a 1963). Bragantia, Campinas, 24:97-108, 1965 b.
- BALLIO, L.A. Processo de solubilização da rocha fosfática através da implementação do uso da uréia. In: ENCONTRO NACIONAL DE ROCHA FOSFÁTICA, 2. Brasília, Instituto Brasileiro do Fosfato, 1981. p.141-64.
- BARBOSA FILHO, M.P.; FAGERIA, N.K. & DALL'ACQUA, F.M. Avaliação agrônômica de fontes alternativas de fósforo em solo de cerrado. Goiânia, EMBRAPA-CNPAP, 1983. 12 p. (EMBRAPA-CNPAP. Documentos, 7).
- BARRETO, A.C. Efeitos da acidulação parcial, de misturas com superfosfato triplo e enxofre e da granulação na eficiência de fosfatos naturais. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia UFRGS, 1977. 63 p. Tese Mestrado.
- BRAGA, N.R.; MASCARENHAS, H.A.A.; FEITOSA, C.T.; HIROCE, R. & RAIJ, B. van. Efeito de fosfatos sobre o crescimento e produção de soja. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 4:36-9, 1980.
- CEKINSKI, E. & BETTIOL, W. Fosfato parcialmente acidulado: um produto promissor. Fertilizantes, São Paulo, 5:8-12, 1983.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados, Planaltina, DF. Relatório técnico anual 1979-1980. Planaltina, 1981. 190 p.

- FEITOSA, C.T.; RAIJ, B. van; DECHEN, A.R. & ALCARDE, J.C. Determinação preliminar da eficiência relativa de fosfatos para trigo, em casa de vegetação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 2: 193-5, 1978.
- FERREIRA, T.N. & KAMINSKI, J. Eficiência agrônômica dos fosfatos naturais de Patos de Minas e Gafsa, puros e modificados por acidulação e calcinação. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 3:158-62, 1979.
- FRANCO, M. Fosfatos parcialmente acidulados com H_3PO_4 , HCl e H_2SO_4 na cultura do sorgo granífero (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em um solo de cerrado de Ituiutaba-MG. Viçosa, Faculdade de Agronomia UFV, 1977.
- FREIRE, F.M.; BRAGA, J.M. & MARTINS FILHO, C.A.S. Valor fertilizante de fosfatos solúveis, Araxá e parcialmente acidulado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 7:65-8, 1983.
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 8: 97-102, 1984.
- GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G. de. Avaliação preliminar da eficiência de fosfatos com acidulação parcial. Revista Brasileira de Ciência do solo, Campinas, 10, 1986 (no prelo).
- GOEDERT, W.J. & LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de cerrado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, 15:311-8, 1980.
- KORNDRFER, G.H. Capacidade de fosfatos naturais e artificiais fornecem fósforo para plantas de trigo. Porto Alegre, Faculdade de Agronomia UFRGS, 1978. 62 p. Tese Mestrado.
- LINS, I.D.G.; SOUSA, D.M.G. de. & ARRUDA, Z.J. de. Efeito de calagem, doses e métodos de aplicação de um fosfato parcialmente acidulado na produção de soja (*Glycine max* L. Merrill) em um solo de cerrado. Campo Grande, EMPAER, 1982. 13 p. (EMPAER. Pesquisa em Andamento, 1).
- MALAVOLTA, E. Adubos e adubação fosfatada. In: Manual de química agrícola-adubos e adubação. 3.ed. São Paulo, Ceres, 1981. p.97-166.
- MALAVOLTA, E.; PEIXE, C.A.; RUIVO, F.P.; CARVALHO, J.G. de; GUIMARÃES, P.G. & VITTI, G.C. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pela cultura da cana-de-açúcar. I-Cana-planta. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 39: 563-77, 1982.

- MALAVOLTA, E.; VITTI, G.C.; ALCARDE, J.C.; ROSOLEM, C.A. & FORNASIERI FILHO, D. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pelas culturas de arroz, milho e soja I. Resultados preliminares. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 38:801-18, 1981.
- MARTINS, W. & CEKINSKI, E. Solubilização do concentrado fosfático por aduto de uréia. Fertilizantes, São Paulo, 4:5-7, 1982.
- NAKAYAMA, L.J.I & MALAVOLTA, E. Aproveitamento pelo feijoeiro de um fosfato natural parcialmente solubilizado. I. Estudos em casa de vegetação com um Latossolo Vermelho Amarelo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 40: 745-62, 1983 a.
- NAKAYAMA, L.H.I. & MALAVOLTA, E. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pelo sorgo sacarino em condições de casa de vegetação. I. Latossolo Vermelho Amarelo. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 40: 781-805, 1983 b.
- NAKAYAMA, L.H.I. & MALAVOLTA, E. Aproveitamento de um fosfato natural parcialmente solubilizado pelo sorgo sacarino em condições de casa de vegetação. II. Latossolo Vermelho Escuro. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 40:807-24, 1983 c.
- NAKAYAMA, L.H.I. & MALAVOLTA, E. Aproveitamento pelo feijoeiro de um fosfato natural parcialmente solubilizado. II. Estudos em casa de vegetação com um Latossolo Vermelho Escuro. Anais da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 40: 763-79, 1983 d.
- RAMOS, M.G. Avaliação da eficiência de oito fosfatos para as culturas de trigo e soja em um Latossolo Vermelho-Escuro argiloso. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 6:38-42, 1982.
- RITCHEY, K.D.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. & CORREA, O. Calcium leaching to increase rooting depth in a Brazilian savannah Oxisols. Agronomy Journal, Madison, 72: 40-4, 1980.
- SANZONOWICZ, C. & GOEDERT, W.J. Uso de fosfatos naturais em pastagens. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C. de & FARIA, V.P. de, eds. Anais do 7º Simpósio sobre manejo de pastagem. Piracicaba, Fundação de Estudos dos Agrários "Luiz de Queiroz", 1985. p.235-67.
- SILVA, N.M.; FERRAZ, C.A.M. & CAMPANA, M.P. Competição entre superfosfato simples e termofosfatos, em ensaio permanente com o algodoeiro. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Campinas, 1: 34-8, 1977.
- YOST, R.S.; NADERMAN, G.C.; KAMPRATH, E.J. & LOBATO, E. Availability of rock phosphate as measured by an acid tolerant pasture grass and extractable phosphorus. Agronomy Journal, Madison, 74: 462-8, 1982.