EFICÁCIA DE FOSFATOS NATURAIS REATIVOS EM SISTEMAS DE CULTIVO

João Kaminski & Geraldino Peruzzo

Fonte: Núcleo Regional Sul da Soc. Brás. de Ciência do Solo, Santa Maria - RS, 1997 - Boletim Técnico No.3, 31pg.

INTRODUÇÃO

A oferta de fosfatos naturais como fonte de P culturais anuais, a preços inferiores por toneladas aos dos superfosfatos, tornou-se atrativos no mercado de fertilizantes no Sul do Brasil e aumentou consideravelmente o seu consumo, especialmente do Fosfato de Gafsa, oriundo a Tunísia, com nome comercial de Hiperfosfato, e do Fosfato Natural de Arad, originário de Israel. Porém, o emprego desses materiais,na forma comosão comercializados, não se fundamenta ainda em informações da pesquisa agrícola que assegurem ou não a sua eficiência como fontes de P alternativas, substituídas aos superfosfatos para culturas anuais.

Sob o nome de fosfatos naturais são reunidos uma ampla gama de minerias fosfatosos de diferentes origens e composição, o que lhes confere distintas propriedades e grande variação na sua eficiência como fonte de P às culturas. Por isso, no presente Boletim procurou-se (1) apresentar uma classificação dos fosfatos naturais de acordo com a sua origem e (2) reunir dados de trabalhos recentes, muitos deles em andamento, que pudessem espelhar o comportamento desses fosfatos na Região Sul do Brasil.

FOSFATOS NATURAIS

Fosfatos naturais são concentrados apatíticos obtidos a partir de minérios fosfáticos ocorrentes em jazimentos localizados, os quais podem ou não, passar por processos físicos de concentração, como lavagem e/ou flotação, para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados na jazida.

A denominação fosfato natural ou rocha fosfática cobre uma ampla variação nesses tipos de minérios, em composição, em textura e em origem geológica, mas apresentam pelo menos uma característica em comum, pois são constituídos por minerais do grupo das apatitas (Gremillion & McClellam, 1980; Kaminski, 1983).

Gremillion & McClellan (1980) e Lehr (1980) classificam os depósitos de rocha fosfática em três classes, de acordo com a composição mineral: fosfato de ferro-alumínio (Fe-Al-P), fosfato de cálcio-ferro-alumínio (Ca-Fe-Al-P) e fosfatos de cálcio (Ca-P). Estas três classes constituem uma seqüência natural de intemperização dos depósitos de rocha fosfática, na qual as formas estáveis de fosfatos de ferro-alumínio representam o estágio mais avançado de intemperismo e o fosfato de cálcio representa a rocha matriz. A classe de maior importância econômica é a do Ca-P, por causa do uso industrial para os mais variados fins, mas especialmente na indústria de fertilizantes, enquanto que as demais classes tem escassa possibilidade de utilização. No entanto, deve ser destacado que os jazimentos fosfáticos não são constituídos de uma única classe de fosfatos, mas podem ser uma complexa reunião de fosfatos agrupados ou dispersos pela jazida, em que uma das classes predomina sobre as demais. Normalmente as jazidas de minério de fosfato possuem teores de P2O5 inferiores aos necessários para seu processamento industrial. Por isso precisam ser beneficiados, separando-os dos minerais com o quais estão misturados, para obter o concentrado fosfático, dito fosfato natural concentrado, com teor de P adequado ao processo industrial subseqüente, que dará ao fertilizante.

Os fosfatos de cálcio (Ca-P) representam a classe predominante em termos de quantidades e são os fosfatos economicamente mais importantes dos jazimentos de minério fosfático. Os fosfatos minerais comerciais desta classe são aqueles denominados coletivamente de fosfatos naturais ou rocha fosfática, cujos principais componentes são os minerais apatíticos. A apatita, apresenta com a composição química Ca10(PO4)6X2, onde o X pode ser flúor, cloro, oxidrila ou carbonato, é o décimo mineral em abundância na crosta terrestre que, ocasionalmente, ocorre em concentrações massivas de importância econômica. O grupo de minerais apatíticos, a despeito de sua similaridade na estrutura cristalina com a fluorapatita Ca10(PO)4F2

que é comumente aceita como principal componente do fosfato natural, difere em composição desta, por causa das várias substituições isomórficas na rede cristralina, especialmente fosfato por carbonato, as quais ocorreram durante sua gênese e refletem as condições geoquímicas que governaram a sua formação, produzindo minerais da apatita tipo: Ca(10-a)(2-b)NaaMgb(PO4)6-xF2-z(CO3)x,z (Gremillion & McClellan, 1980). Estas apatitas também recebem a denominação de carbonato apatita, francolita ou fosforita.

Os minerais apatíticos formaram-se sob diferentes regimes geológicos – ígneos, metamórficos ou sedimentares – além de terem sofrido transformações por intemperismo, lixiviação, reprecipitação e contaminações várias, quando as condições de formação do jazimento permitiram e os fatores climáticos contribuíram para tal.

Assim, os depósitos de fosfatos de origem ígnea, ou magmática, são geralmente pobres em sílica, possuem textura simples e contém rochas associadas do tipo carbonatitos e ultrabásicas, em que a fluorapatita é o principal mineral fosfático, como Jacupiranga e Catalão no Brasil e Tennessee nos EUA. Estes fosfatos representam, aproximadamente, 17% das reservas mundiais e cerca de 50% das reservas brasileiras (Hammond, 1977; Kaminski, 1990).

Os fosfatos de origem sedimentar possuem história geológica complexa e variada, podendo ser detríticos, precipitados químicos ou conter quantidades significativas de apatita fóssil (orgânica). Sua textura é subdividida em rochas consolidadas, que apresentam cimentação por sílica, carbonatos ou óxido de ferro e/ou de alumínio, rochas não cosolidadas originárias de processos secundários, como reordenação, lixiviação, intemperização e processos de enriquecimento natural; e os minerais predominantes são apatitas com alto grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, e são encontradas em áreas desérticas ou de clima seco. Eles são muitas vezes identificados como francolitas ou fosforitas. São oferecidos no mercado de fertilizantes como fosfatos naturais reativos que permitem sua utilização diretamente na agricultura, como os fosfatos naturais da Carolina do Norte-EUA, de Gafsa- Tunísia, de Sechura- Peru e de Arad-Israel (Hammond, 1977).

Os fosfatos de origem metamórfica representam uma categoria intermediária entre as rochas sedimentares e ígneas, mas são rochas duras e apresentam outros minerais misturados mais intimamente entre si, conservando a estrutura básicas dos sedimentos. São também identificadas como rochas metasedimentares.

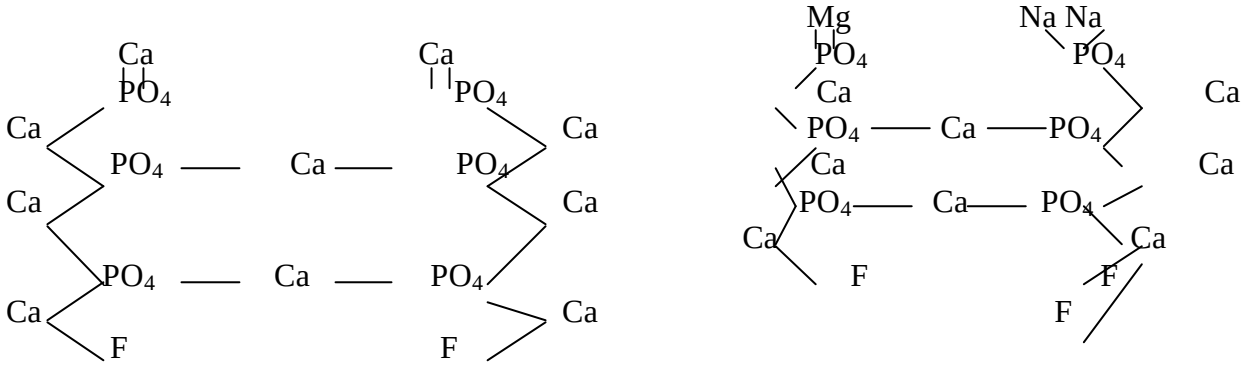
Por fim, também são encontradas jazidas provenientes do acúmulo de material orgânico, guanos, e fosfatos lateríticos ou de enriquecimento surérgeno. Os dois últimos ocorrem devido à interperização de depósitos de fosfatos, sob condições de clima tropical e regime pluviométrico definido por duas estações distintas, seca e úmida, e são minimamente utilizados pela indústria de fertilizantes (Cekinski, 1990; Gremillion & McClellan, 1980). Tais processos genéticos determinam as associações de minerais e as concentrações de P na jazida, resultado na dificuldades ou facilidades de lavra das minas e na possibilidade ou não de concentração industrial dos fosfatos ocorrentes, ou mesmo para seu uso direto na agricultura.

COMPOSIÇÃO E REATIVIDADE DOS FOSFATOS NATURAIS

Embora os fosfatos naturais sejam reconhecidos como matéria prima para a fabricação direta de fertilizantes (ataque sulfúrico para produção de superfosfato simples), ou indireta (ataque sulfúrico para obtenção de ácido fosfórico e posterior produção de superfosfato triplo ou fosfatos de amônio), muitas vezes a origem e a natureza da rocha fostática, ou mesmo o tipo e o grau das contaminações presentes nos concentrados, invibializa o seu uso industrial para obtenção de fertilizantes convencionais e, por isso, há necessidade de proporcionar outros usos para as rochas de menor qualidade. A recomendação de sua utilização para aplicação direta na agricultura é a que tem recebido maior número de adeptos. Porém, a reatividade desses fosfatos naturais é bastante distinta entre eles. Muitos são praticamente inertes quando usados como fonte de P para as plantas, como a maioria dos fosfatos de origem geológica ígnea e metamórfica, mas outros tem mostrado resultados animadores, como o caso da maioria dos fosfatos de origem sedimentar (Goedert & Souza, 1984; Kaminski, 1983; Kochhann et al., 1982). Esta diferença na reatividade dos distintos fosfatos naturais está intimamente ligada ao regime geológico em que é formada a apatita e à quantidade de substituições isomórficas do fosfato por carbonato na rede cristalina.

Vários trabalhos sobre a cinética de solubilização do fosfatos naturais tem mostrado que o grau de substituições isomórficas de fosfato por carbonato, que afeta a estrutura do cristal de apatita, tem alta correlação com a sua reatividade no solo (lehr, 1980). Assim, os fosfatos naturais podem ser divididos em

duas categorias: os fosfatos naturais “duros”, em que as apatitas não têm, ou têm muito poucas substituições isomórficas, como são a maioria dos fosfatos naturais brasileiros por causa das severas condições geológicas em que se formaram; e os fosfatos naturais “moles”, de origem sedimentar, com alto grau de substituições isomórficas do fosfato por carbonato na apatita, resultando num cristal imperfeito, poroso e com baixa energia entrópica, podendo ser facilmente hidrolizado, por isso também reconhecidos como fosfatos naturais “reativos”, ambos representados na Figura 1, onde se observa que o primeiro tem uma estrutura molecular compacta e o segundo apresenta falha na ligação onde houve a substituição. Porém, deve ser salientado que entre os fosfatos “duros” e os fosfatos “moles” há vários materiais de características intermediárias, tanto mais próximos dos primeiros, quanto menor o grau de substituições isomórficas na rede cristalina da apatita.



APATITA **FRANCOLITA**

EFICIÊNCIA AGRONÔMICA DE UM FOSFATO NATURAIS

A eficiência agronômica de um fertilizante é a sua capacidade de fornecer ao sistema solo-planta os nutrientes de que é portador, refletindo na produtividade do sistema, ou em outras palavras, a relação entre o rendimento da cultura e a quantidade de unidades do nutriente. Por isso, é necessário que essa eficiência seja estabelecida por pesquisas à nível de campo, com observações de vários ciclos de cultivo.

Para fertilizantes fosfatados, a estimativa da eficiência agronômica é relacionada com a sua solubilidade em laboratório, que é determinada em função da quantidade de P extraída por uma solução durante um determinado tempo. A legislação brasileira preconiza a utilização de ácido cítrico a 2% como extrator para os fosfatos naturais e outros fertilizantes não acidulados, e a água e o citrato neutro de amônio somados como extratores para os fosfatos solúveis. Deve-se destacar que, esses índices obtidos em laboratório, são válidos quando apoiados, na sua interpretação, por pesquisas a nível de campo (Goedert & Lobato, 1980). Os resultados experimentais tem mostrado que este procedimento é válido para avaliar a eficiência de fertilizantes para a cultura imediata à aplicação (Goedert & Sousa, 1984).

Quando um fertilizante fosfatado de qualquer origem é adicionado ao solo, ocorre uma seqüência de eventos físico-químicos que transformam esse fosfato em substância fosfatadas complexas, as quais passam governar a disponibilidade desse nutriente no solo. Assim, se forem adicionados fosfatos solúveis em água, a reação no solo é rápida e os novos produtos formados conseguem manter uma solução saturada em P em torno da região de dissolução do grânulo. Isso cria um gradiente osmótico que provoca o deslocamento da água em sua direção, e ao mesmo tempo há a difusão da solução da região mais concentrada para regiões de menor concentração, próximas, garantido soluções com P suficiente para atender a demanda de plantas quando o sistema radicular atinge essas regiões. O evento prossegue até que haja diluição da solução com P, ou se completem as reações com os constituintes do solo e extinga o potencial osmótico. Com resultado, o pH do sítio onde ocorreu a reação será menor que o original.

Se o fertilizante for de baixa solubilidade haverá um tipo de reação similar, mas nesse caso, a solução será mais diluída e o potencial osmótico será menor, ambos ditados pela solubilidade do produto utilizado. Por isso, o movimento de água na direção do fertilizante será menor e esta solução influenciará volumes muito menores de solo ao redor do grânulo de fertilizantes, de modo que as rotas do movimento de P, serão a difusão na solução e o fluxo de massa e, por isso, sua disponibilidade dependerá da quantidade de água no solo, o que facilitará o acesso da raiz ao nutriente (Sample et al., 1980). O pH do sítio da reação praticamente não se alterará.

Como os fosfatos solúveis reagem com maior intensidade no solo e, normalmente, fornecem Ps ao sistema em taxas maiores, são fontes mais eficientes do que os fosfatos naturais a curto prazo. Por isso, a eficiência agronômica dos fosfatos em geral está diretamente correlacionada com a sua solubilidade (Goedert et al., 19+86; Goedert & Souza, 1984). Porém os fosfatos naturais "moles", que reagem no solo mais lentamente, podem apresentar um efeito residual compensatório, e o somatório da sua eficiência, quando estimada por períodos longos, pode se igualar aos fosfatos solúveis, devido à perda do poder fertilizante destes. Nesta situação, deixa de existir a correlação entre a sua eficiência e a solubilidade (Goepfert, 1975). Já com os fosfatos naturais "duros" isso não ocorre porque a fração não solúvel também é importante na composição do fosfato como um todo, e ela está vinculado efeito residual. Na tabela 1 são apresentadas as caraterísticas de alguns fosfatos.

O maior teor de P_20_5 total entre os fosfatos naturais não é indício de menor grau de substituições isomórficas, ou mesmo de menor solubilidade, mas resultado do processo de concentração ao qual foi submetido.

Fosfato	Total	HCi-[1]	C.N.A.[2]	Água
Superfosfato simples	19	18	18	17
Superfosfato triplo	45	40	44	38
Diamônio fosfato (DAP)	45	42	44	40
Monoamônio fosfato (MAP)	52	50	52	50
Fosfato natural Araxá	36	5	2	0
Fosfato natural de Patos	32	4	2	0
Fosfato natural de Jacupiranga	33	2	0	0
Termofosfato Mg	19	16	13	0
Escória siderurgica-Thomas	19	15	12	0
Multifosfato magnesiano	20	n.d.	19	6
Fosfato natural Gafsa	27	13	6	0
Fosfato natural Arad	33	9	n.d.	0

Os fosfatos naturais oferecidos no mercado do Extremo Sul do Brasil, como Gafsa ou Hiperfosfato e Arad, são de origem sedimentar e pertencem à classe dos fosfatos "moles" ou "reativos". A possibilidade de sua utilização diretamente na agricultura, principalmente do primeiro, tem sido estudada desde a década de 70, quando foi avaliada sua viabilidade (Goedert et al., 1976; Goepfert & Moura, 1981; Macedo, 1985; Ruedell, 1995).

Naquele período, o fosfato natural era oferecido em pó, onde 80% passava em peneira 0,074mm, e sua principal dificuldade estava no manuseio e aplicação. Por isso era utilizado à lanço e incorporado. A sua eficiência era inferior a dos superfosfatos no cultivo imediato à aplicação, mas se igualava, ou até superava-os, quando o período de avaliação era superior a dois cultivos (Goepfert, 1975; Goepfert et al., 1976; Macedo, 1985). Porém, o aumento de sua granulometria implicava em acentuada redução na eficiência. Assim, o aumento da granulometria de 0,074mm para 0,30mm representou uma redução de 50% na eficiência do fosfato natural de Gafsa (Volkweiss & Stammel, 1976 – dados não publicados). Resultados similares foram observados quando da granulação desse fosfato (Kochhann et al., 1982). Já Rein et al. (1994) fez observações similares para o fosfato natural "mole" Carolina do Norte quando usado farelado, no primeiro cultivo. Prém o somatório da produção de grãos de soja nos três cultivos muito similar, qualquer que seja a fonte considerada, tabela 2.

	Rendimento			Soma
Fosfatos	1992	1992/93	1993	
	t ha^{-1}	t ha^{-1}	t ha^{-1}	t ha^{-1}
Superfosfato triplo	2,02 a	1,72 b	0,63 b	4,37
Fosf.Carolina Norte	1,33 b	2,29 a	1,00 a	4,62
Farelado	1.95 a	1,90 b	0,71 b	4,56
Testemunha	0,15 c	0,22 c	0,08 c	0,45

USO DE FOSFATOS NATURAIS COMO FONTE DE FÓSFORO

Na década de 90 reiniciou a oferta de fosfatos naturais de origem sedimentar no Sul do Brasil, como o Gafsa e o Arad, com granulometria mais grosseira, na forma farelada, e fez com que as instituições de pesquisa retomessem os estudos sobre a viabilidade de sua utilização como alternativa aos superfosfatos. Assim reuniu-se alguns resultados de pesquisa realizados na FUNDACEP-FECOTRIGO, em Cruz Alta, no CNPT/EMBRAPA, em Passo Fundo, e no Departamento de Solos – CCR da UFSM em Santa Maria, no Rio Grande do Sul, que refletissem situações de diferentes classes de disponibilidades de P no solo, comparados ao superfosfato triplo, tomado como fonte padrão.

Na tabela 3 são apresentados resultados de produção de massa seca de aveia e de grãos de soja e trigo, em solo com acidez corrigida e adubados com superfosfato triplo e fosfato natural Arad em diferentes doses, formas de aplicação, e combinação de doses e fontes. Estes dados mostram que o superfosfato foi muito mais eficiente que o fosfato natural como fonte de P, em qualquer dose ou forma de aplicação. Quando foram adicionadas doses suplementares de superfosfato sobre as duas fontes, para as culturas de soja e trigo, os incrementos na produção de grãos foram maiores no Arad que no superfosfato. Porém, quando se agregou o fosfato Arad sobre o superfosfato o incremento foi pequeno. Isto ocorreu porque o superfosfato, usado nas mesmas doses do Arad, proporcionou incrementos maiores no P lábil do solo que o fosfato natural, elevando a classe de disponibilidade ao nível médio ou próximo do suficiente. Tais resultados confirmam não só a maior eficiência do fosfato solúvel como fonte de P, mas também a sua maior eficácia na construção da fertilidade de solos com baixo P inicial.

Dose de P_2O_5	Fontes de P	Forma de aplicação	Rendimento				
			aveia	soja	soja	trigo	trigo
kg ha^{-1}		-					
0	Test.	lanço	1125 e2	1642 e	1642 e	924 d	924 e2
50	SFT	lanço	4050 c	2490 d	3004 c	1150 c	1616 bcd
50	Arad	lanço	1720 d	1614 e	2441 d	970 cd	1618 bcd
100	SFT	lanço	4560 b	2898 bc	3315 a	1562 ab	1772 ab
100	Arad	lanço	1740 d	1726 e	2424 d	859 d	1476 cd
150	SFT	lanço	5007 a	3164 a	3258 ab	1630 a	1903 a
150	Arad	lan+lin	1765 d	1867 e	2862 c	869 d	1434 d
100+50	ST+Arad	lan+lin	4170 c	2557 d	3034 bc	1390 b	1719 abc
100+100	ST_Arad	lan+lin	4572 b	2734 cd	3277 ab	1673 a	1852 ab
100+150	ST+Arad		4300 bc	3127 ab	3227 a	1623 a	1796 ab

Nas tabelas 4 e 5 são apresentados resultados do efeito de fontes de P e formas de aplicação dos fosfatos, em dois cultivos sucessivos de soja, em campo natural de solo ácido, com baixa disponibilidade de P e com aplicação superficial de doses de calcário. No cultivo imediato à aplicação dos fosfatos e do calcário (Tabela 4), a produção de grãos foi mais alta em todos os tratamentos onde foram usados fosfatos solúveis, solteiros ou em misturas, e a aplicação de calcário superficial só respondeu positivamente em produção de grãos quando houve resposta a aplicação de P. Isto deve ter ocorrido por se tratar de solo muito ácido e com disponibilidade limitante de P. No segundo cultivo, sem reaplicação de P ou calcário (tabela 5), permaneceu a mesma tendência, porém, o fosfato natural de Arad, aplicado a lanço e sem calagem, melhorou a sua eficiência, do mesmo modo que o observado por Rein et al. (1994), mas mesmo assim foi inferior ao superfosfato.

Fosfatos e formas de adubação	**Dose de calcário - t ha^{-1}**				**Médias**
	0	**2,0**	**4,0**	**6,0**	

	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}	kg ha^{-1}
Testemunha (PD)	446	679	725	615	616 e1
Arad lanço (PD)2	776	765	832	735	777 d
Arad linha (PD)3	1330	1305	1538	1402	1394 c
Arad lanço+formulado linha (PD)4	1778	2102	1802	2039	1930 ab
Superfosfato triplo (PD)5	1576	1670	1910	2105	1816 b
Formulado linnha +SFT inc. (PC)6	1864	2037	2201	2232	2083 a

Fosfatos e formas de adubação	**Dose de Calcário - t ha^{-1}**				**Média**
	0	**2,0**	**4,0**	**6,0**	
	----------kg ha^{-1} ----------				
Testemunha (PD)	421	521	613	678	558 f1
Arad lanço (PD)	1439	990	785	953	1042e
Arad linha (PD)	1721	1489	1508	1554	1568 d
Arad lanço+form lin (PD)2	1646	1861	2103	1876	1872 d
Superfosfato triplo (PD)	2305	2253	2424	2402	2346 a
Form lin+STF inc. (PD)3	2110	2143	2094	2220	2142 b

Na tabela 6 é mostrado o efeito de calcário e de fontes de P, aplicados a lanço na superfície de campo natural de solo ácido, sobre o rendimento de massa seca de azevém e trevo branco. Destaque-se que os fosfatos naturais de Gafsa e Arad foram tão eficientes quanto o superfosfato nas áreas onde não foi aplicado calcário, mas foram inferiores ao superfosfato triplo quando houve aplicação superficial de calcário. Tais resultados permitem inferir que os fosfatos naturais "moles" ou reativos, são fontes adequadas de P, em solos ácidos com baixa fertilidade natural, quando o efeito deletério da acidez do solo é compensado pela aplicação de P. Embora houvesse resposta positiva à aplicação superficial do calcário, os maiores rendimentos de massa seca foram alcançados quando se associou fosfato solúvel e calcário.

FONTES DE FÓSFORO 150 kg ha^{-1} de P_20_5	**CALCÁRIO**			
	0	**2,0**	**8,5**	**17**
	----------kg ha^{-1} matéria seca----------			
Testemunha	545 Bb1	802Cb	1008Cab	1422Bb
Fosfato natural Arad	2752 Aa	950Cb	1530Bb	1331Bb
Fosfato natural Gafsa	2602 Aa	1168Bb	1380Bb	1170Bb
Superfosfato triplo	2954 Aab	2440Ab	2621Aab	3438Aa

Na tabela 7 são apresentados dados da produção de milho adubado com doses crescentes de P de diferentes fosfatos, em solo de classe 3 de disponibilidade média de P e pH em torno de 5,5. Estes resultados mostram que o aumento da dose de P_20_5 incrementa a produção de grãos do milho e que os mais altos rendimentos forma alcançados nos tratamentos adubados com fosfato solúvel aplicado no plantio. Já no segundo e terceiro cultivos, sem reaplicação de fosfatos, ainda houve resposta significativa para as doses de P, mas os fosfatos se equivaleram no fornecimento de P para as plantas. Isto indica que em solos com acidez moderada e disponibilidade média de P, os fosfatos solúveis aplicados no plantio ainda são fontes mais adequadas de P, mas em períodos mais longos há um efeito compensatório natural reativo, como destacado por Rein et al. (1994).

FONTES	DOSES DE P_2O_5			Médias
	0	50	100	
ARAD	4365	4294	4517	4315b[1]
GAFSA	4499	4319	4604	4377b
SFT	4913	4643	5139	4695a
Média	**4084C**	**4592B**	**4418B**	**4753A**
	---------- Residual de um cultivo ----------			
ARAD	4030	4036	4291	4042ns[2]
GAFSA	3918	4002	4214	3985ns
SFT	3844	4165	4475	4073ns
Média	**3809C**	**3931BC**	**4068B**	**4325A**
	---------- Residual de dois cultivos ----------			
ARAD	4102	4340	4600	4167ns
GAFSA	4203	4386	4510	4181ns
SFT	4188	4145	4161	4030ns
Média	**3625C**	**4164B**	**4291AB**	**4424A**

Em solo com alta disponibilidade de P, todos os fosfatos eqüivaleram-se à testemunha sem P (tabela 8), quer fossem eles solúveis como os superfosfatos simples e triplo, "moles" como os fosfatos naturais Arad e Gafsa, ou "duro" como fosfato Araxá, o que significa que o solo já se encontrava bem suprido para atender a demanda das plantas, e a adubação fosfatada poderia ser reduzida, ou suprimida, sem perda de produtividade.

FONTES DE FÓSFORO	Milho		Trigo		Soja	
	Linha	Lanço	Linha	Lanço	Linha	Lanço
	---------- kg ha^{-1} ----------					
Fosfato Natural Arad	7039	6445	1355	1405	3018	3019
Superfosfato simples	6084	6232	1352	1398	2855	3299
Superfosfato triplo	7882	6892	1459	1360	2725	3079
Fosfato de Araxá	6440	6525	1350	1514	2965	3172
Multifosfato Mg	7416	6671	1469	1377	3124	2960
Fosfato de Gafsa	6993	6958	1325	1407	2855	2986
Testemunha	6609	7178	1384	1306	2765	3257

A Comissão de Fertilidade do Solo, RS/SC (1994), na classe de disponibilidade alta, ainda recomenda uma dose de reposição, e alguns técnicos utilizam esta recomendação para propor o emprego de fosfatos naturais "moles" como a fonte de P para o sistema de plantio direto, sob o argumento de que para um sistema de manejo de solo alternativo deveria se adotar fontes de P diferentes das tradicionais. Porém, deve ser destacado que os solos do Sul do Brasil, por causa de suas caraterísticas genéticas, somente atingem as categorias de disponibilidade de P média à alta se tiveram a sua fertilidade construída a partir de adubações realizadas ao longo do tempo. Isto aconteceu por causa do aumento das reservas de P lábil no solo, aumentando a capacidade de suprimento para as plantas cultivadas, e as adubações fosfatadas tem a finalidade de manter no solo a mesma classe de disponibilidade, o que pode ser atingido com pequenas adições de P_20_5, quer seja ele proveniente de fontes solúveis ou fosfatos naturais "moles" ou reativos.

Apesar da recomendação da Comissão de Fertilizantes do Solo, RS/SC, nem sempre o uso de adubação de reposição implica necessariamente no aumento de rendimento dos cultivos, ocorrendo situações, como relata Redell (1995), em que foi possível dispensar a adubação fosfatada quando o solo apresentava alta disponibilidade de P (50 mg kg-1 –Mehlich), sem perda de produtividade da cultura de soja, e sem a diminuição da disponibilidade do P estimada pela análise de solo, pelo menos durante três safras que foi o período da avaliação. Já Sá (1995), cita casos em que os altos rendimentos se mantiveram por até seis safras sucessivas sem adubação fosfatada. Por isso, o uso de fosfatos naturais, como alternativa de adubação

fosfatada em sistema de plantio direto e em solo com disponibilidade alta de P, pode representar somente um dispêndio financeiro. O mesmo raciocínio é válido para o sistema convencional em lavouras sem erosão, bem como no caso de fonte de P, para os superfosfatos.

Deve se tomar cuidado na escolha do fertilizante para a dose de reposição, pois a opção por fosfatos menos solúveis em nome de uma suposta economia financeira, pode não se a melhor alternativa, já que essa escolha deve ser referenciada no CUSTO DA UNIDADE de P2O5 (CUP) do fertilizante. E, este custo é calculado tomando o preço de tonelada de fertilizante posto na lavoura e dividindo-o pelo teor de P_2O_5 solúvel vezes 10. Este tero solúvel será em ácido cítrico a 2% para fosfatos naturais, ou em citrato neutro de amônio mais água, se for acidulado (solúvel), mesmo quando se admita o dobro de eficiência em relação à solubilidade para os fosfatos naturais "moles", como se fazia para o Hiperfosfato usado em pó, na década de 70.

No sistema de plantio direto as condições físicas, químicas e biológicas do solo diferem das do sistema convencional, pois neste último o revolvimento do solo provoca maior superfície de contato entre os insumos adicionais e os constituintes do solo, a oxidação de compostos orgânicos é mais intensa e há descontinuidade porosa. Por isso, é de se esperar que no sistema de plantio direto o equilíbrio bio-físico-químico produza diferentes intensidades de reações entre os solos e os insumos, mas dificilmente esta condição intensificaria a reação de fosfatos no solo, quer incrementando a solubilidade dos fosfatos naturais, ou apressando a retenção dos fosfatos solúveis. No plantio direto, com adoção de rotação de culturas com espécies de diferentes habilidades quanto à absorção e à acumulação de P e a manutenção de seus resíduos na superfície do solo, pode produzir uma série de reações entre as frações orgânicas e inorgânicas de ordem biológica, química ou física, que poderiam retardar sensivelmente a passagem das formas lábeis a não-lábeis do P (Sá, 1995). Há, no caso, um aumento da disponibilidade por causa da competição com compostos orgânicos intermediários do processo de transformação biológica daqueles resíduos, pelas superfícies de retenção, favorável a liberação de P. Ou ainda, o aumento da oferta de P, por causa da decomposição desses resíduos de plantas que o acumularam durante o seu desenvolvimento (Silva et al., 1985). Isso favorecia ainda mais a manutenção da disponibilidade do P, originada dos fosfatos solúveis e, em tese é uma situação desfavorável para solubilização de fosfatos menos solúveis (Novais et al., 1985; Novelino et al., 1995). Mas, de qualquer modo, o produto daquelas reações implicaria na possibilidade de redução das doses de reposição de P. Assim, a adição ou não de P apresentaria resultados similares.

OBSERVAÇÕES FINAIS

Na avaliação experimental da eficiência agronômica de fosfatos sempre haverá riscos da ocorrência de resultados contraditórios, pois como aponta Hammond (1977), a escolha de um fosfato natural para aplicação direta com base na sua solubilidade, pode mostrar respostas erráticas e de difícil previsão, a não ser que sejam aplicados em altas doses. Por outro lado, como a eficiência agronômica de curto prazo das fontes de P está proporcionalmente relacionada com a sua solubilidade, determinada em laboratório de acordo com a atual legislação brasileira, a opção por qualquer um dos fosfatos, deve se basear no CUSTO DA UNIDADE de P_20_5 solúvel.

Pelas informações disponíveis se constata que, observações em períodos de mais de dois ciclos de cultivo, o somatório da produção das culturas proporcionado pelos fosfatos naturais de Arad e de Gafsa, e dos superfosfatos, praticamente se iguala, principalmente em solos que já foram adubados com P e apresentem acidez intermediária. Por isso, considerando-se os teores de P_20_5 totais dos fosfatos, pode-se sugerir que, se o preço dos fosfatos naturais "moles" forem inferiores a 2/3 do valor do superfosfatos triplo, eles poderão se tornar viáveis financeiramente como fontes de P para culturas anuais. Porém, nos solos pobres em P, os fosfatos solúveis são mais eficientes nas primeiras safras.

AGRADECIMENTOS

Aos pesquisadores do Setor de Fertilidade do Solo da FUNDACEP-FECOTRIGO, Cruz Alta, RS, Eng. Agron. Jackson Ernani Fiorin, Ciro Petrere e Ines Natalina Canal, e aos pesquisadores da CNPT/EMBRAPA, Passo Fundo, RS, Eng. Agron. Geraldino Peruzzo e Sírio Wiethölter, por permitirem utilizar os seus resultados de pesquisa, não publicados. Aos Professores Passo Roberto Ernani do CAV/UDESC, Lages e Ibanor Anghinoni do DS/Faculdade de Agronomia/UFRGS, Porto Alegre, pelas sugestões apresentadas na elaboração do manuscrito.

LITERATURA CITADA

CEKINSKI, E. Fertilizantes Fosfatosos. In: CEKINSKI, E. (coord.).Tecnologia de Produção de Fertilizantes. IPT, São Paulo, cap. 3, p. 35-130 (Publicações IPT, 1816). 1990.

COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO, RS;SC. Recomendações de adubação e calagem para os estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, SBCS-Núcleo Regional Sul, 1994. 224p.

GOEDERT, W.J. &LOBATO, E. Avaliação agronômica de fosfatos em solo de cerrado. Pesq. Agropec bras., Brasília, 18:499-506, 1980.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. Eficiência agronômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais. EMBRAPA-CPAC, Planaltina, DF. 21p. (Documentos, 24). 1986.

GOEDERT, W.J. & SOUSA, D.M.G., Uso de Fertilizantes Fosfatados. In: ESPINOZA, W.; OLIVEIRA, A.J. de. (ed.) Simpósio sobre fetilizantes na agricultura brasileira. Brasília, DF, 06-10 agosto 1984. EMBRAPA-DID, Brasília, , p.255-290. (Documentos, 14), 1984.

GOEPFERT, C.F. A eficiência de diversos fertilizantes fosfatados na cultura da soja. Rio Grande do Sul, 38p. Revisão de Literatura (Mimeografado), 1975.

GOEPFERT, C.F.; HILGERT, E.; GONÇALVES, H. MOURA, R.L. de; TEDESCO, A. & SALIM, O. Avaliação de eficiência de cinco adubos fosfatados em três solos ácidos do Rio Grande do Sul. Agron. Sulriograndense, Porto Alegre, 12:179-188, 1976.

GOEFERT, C.F. & MOURA, R.L. de. Resposta da cultura de soja (Glycine max (L.) Merrill) a doses de P. Agron. Sulriograndense, 17:85-93, 1981.

GREMILLION, L.R. & McCLELLAN, G.H. Evaluation of Phosphatic Raw Materiais. In.: Khasawneh, F.E.; SAMPLE, E.C. & Kamprath, E.J. (eds) The of Phosphorus in Agriculture.

HAMMOND. L.L. Research on direct application of phosphate rock in the Agro-Economic Division. IFDC, Florence, Alabama. 15p. (Memorandum), 1977.

KAMINSKI, J. Efeito de cinco fosfatos pré-, co- e pós-aplicados ao Calcário no Suprimento de Fósforo ao Sorgo em três Solos Ácidos. ESALQ/USP. Piracicaba, 126p. (Tese Doutorado), 1983.

KAMINSKI, J. Avaliação agronômica em função da granulometria de termofosfato magnsiano fundido. UFSM/CCR/Dep. Solos, Sanata Maria, 44p. (Trabalho apresentado no Concurso para Professor Titular), 1990.

KOCHHANN, R.; ANGHINONI, I.; MIELNICZUCK, J. A Adubação Fosfatada no Rio Grande do Sul e Santa Catarina. In: OLIVEIRA, A.J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. (ed) Adubação fosfatada no Brasil. EMBRAPA-DID, Brasília, 1982. P.29-60. (Documentos, 21).

LEHR, J.R. Phophate Raw Materials and Fertiluzers. In: KHASAWNEH, F.C.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J. (eds). The Role of Phosphorus in Agriculture. Madison, Amer. Sco. Agron. Inc. cap.4, p.81 120. 1980.

MACEDO, W. Efeito de fontes e níveis de fósforo e calcário na adubação de forrageiras em solos do Rio Grande do Sul. Pesq. Agropec. Bras., Brasília, 20:643-657, 1985.

MALAVOLTA, E.; ALCARDE, J.C. Adequação do legislação sobre fosfatos às tecnologia em desenvolvimento. In: III Encontro Nacional de Rocha Fosfática, 16-18 de junho de 1986, Brasília. (Anais...). IBRAFOS/MME, São Paulo. p.177-204. 1986.

NOVAIS, R.F.; BAHIA Fº A.F.C.; RIBEIRO. A.C.; VASCONCELOS, C.A. Solubilização de fosfatos incubados com amostras de latossolo submetidas a diferentes números de revolvimentos. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.9, n.1, p.23-26, 1995.

NOVELINO, J.º; NOVAIS, R.F.; NEVES, J.C.I.; COSTA. L.M.; BARROS, N.F. Solubilização do fosfato-da-araxá, em diferentes tempos de incubação, com amostras de cinco latossolos, na presença de ausência de calagem. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.9, n.1, p.13-22, 1995.

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Eficiência agronômica do fosfato natural Carolina do Norte em solo de cerrado. Reunião Brasileira de Fertilidade do Solo e Nutrição de Plantas, 21. 1994, Petrolina, PE; SBCS/EMPRAPA-CPATSA. 1994. P.38-40.

RUEDELL, J. Plantio direto na região de Cruz Alta. FUNDACEP FECOTRIGO, Cruz ALTA, rs, 1995. P.96-102.

SÁ, J.C.de M. Fósforo: respostas das culturas de milho, de trigo e de soja no sistema plantio dereto. In: SÁ, J.C.de M. (coord.) Curso sobre manejo do solo no sistema plantio direto. 48 dezembro de 1995, Castro-PR. (Anais...), Fundação ABC, Castro-PR. 1985, p.259-267.

SUKVAM E.M.R.da; ALMEIDA, D.L.de; FRANCO, A.A.; DOBEREINER, J. adubação verde no aproveitamento de fosfato em solo ácido. R. bras. Ci. Solo, Campinas, v.9, n.1, p.85-88, 1995

SAMPLE, E.C.; SOPER, R.J.; RACZ, G.J. Reactions of Phosphate in Soils. In.: KHASAWNEH, F E.; SAMPLE, E.C. & KAMPRATH, E.J. (eds) The role of Phosphorus in Agriculture, Madison, Amer. Soc. Agron. Inc., cap. 11, p.263-310, 1980.