

ADUBAÇÃO FOSFATADA EM SOLOS DA REGIÃO DO CERRADO¹

*Djalma Martinhão Gomes de Sousa²
Edson Lobato²*

1. INTRODUÇÃO

Um dos indicadores para aferir a importância da região do Cerrado, no contexto da agricultura brasileira, é sua participação na produção de grãos de duas das mais importantes culturas para o Brasil: o milho e a soja. No ano agrícola 2001/2002, a região foi responsável por 52% e 44% da produção de soja e de milho, respectivamente. Tão ou mais relevante que isso é o fato de a produtividade média dessas duas culturas, no Cerrado, ser superior à da média brasileira. Outras culturas, como a do café, respondendo por 59% da produção brasileira, e a de pastagens, de onde sai 55% da carne bovina produzida no Brasil, são outros bons indicadores. Cabe salientar aqui que os solos do Cerrado, com a desvantagem de sua pobreza generalizada em nutrientes, com destaque para o fósforo (P), não teriam proporcionado tal desempenho sem a adição de fertilizantes de forma adequada.

Os Estados que possuem grande parte de sua área com a vegetação de Cerrado foram responsáveis pelo consumo de 47% dos fertilizantes do Brasil no ano de 2001. Esse consumo está compatível com sua participação no país na produção de grãos, carne bovina, frutas, entre outros. Considerando somente o fertilizante fosfatado, na região do Cerrado foram consumidos 51% do P₂O₅ total entregue para o consumidor no Brasil em 2001. Esse é um dos investimentos mais altos para a prática da agricultura comercial nesses solos.

Para que a Região do Cerrado mantenha esse desempenho na agricultura brasileira é necessário que se utilizem recomendações adequadas de adubos fosfatados, visando aumentar ou manter a eficiência do uso do P, as quais dependem de uma série de aspectos abordados nesse trabalho.

2. DINÂMICA DO FÓSFORO NO SOLO

As plantas nutrem-se retirando da solução do solo o P necessário para seu desenvolvimento. O P na solução do solo está em equilíbrio com formas de diferentes graus de solubilidade na fase sólida.

Os teores de P na solução dos solos da região do Cerrado são geralmente muito baixos. Essa característica, associada à alta capacidade que esses solos têm para reter o P na fase sólida, é a principal limitação para o desenvolvimento de qualquer atividade agrícola rentável sem a aplicação de adubos fosfatados.

A quantificação da relação P na solução e P na fase sólida pode ser obtida em laboratório por meio de isotermas de adsorção. Essas relações variam com a quantidade de P adicionado ao solo e com os tipos de solos (Figura 1). Contudo, as relações apresentadas

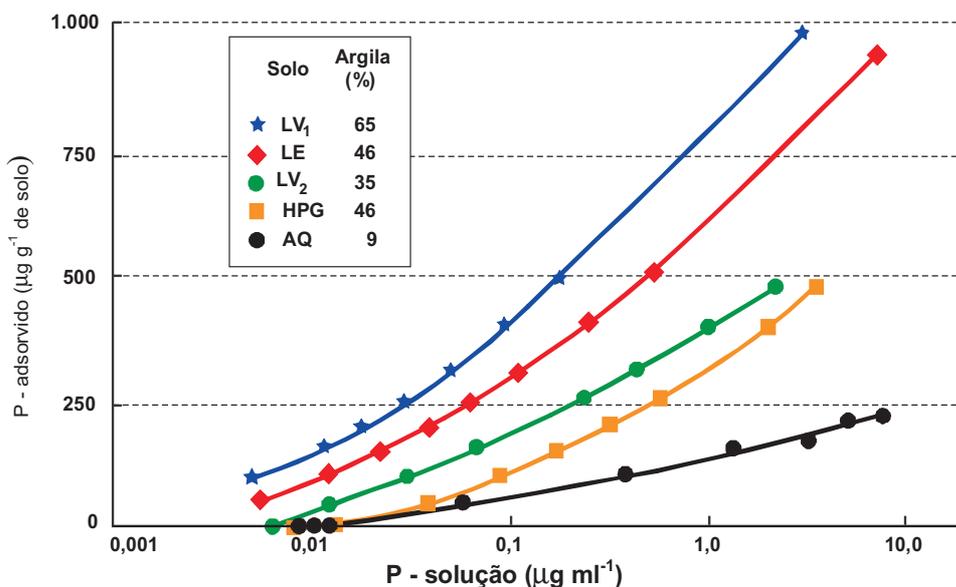


Figura 1. Relação entre o P-adsorvido e P-solução em solos da Região do Cerrado com diferentes teores de argila (SOUSA, 1982).

¹ Palestra apresentada no 1º Simpósio sobre Fósforo na Agricultura Brasileira, promovido pela POTAFOS e ANDA, em Piracicaba, maio/2003.

² Pesquisador da Embrapa Cerrados, BR 020, km 18, Caixa Postal 08223, CEP 73301-970, Planaltina, DF. Telefone: (61) 388-9814, e-mail: dmgsousa@cpac.embrapa.br; lobato@cpac.embrapa.br

por essas isotermas não devem ser interpretadas de forma absoluta, pois são dados de laboratório. Dessas isotermas podem-se inferir certas informações, tais como a porcentagem de argila e a natureza mineralógica dessa argila, que são variáveis para estimar a capacidade de adsorção de P.

Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, após sua dissolução praticamente todo o P é retido na fase sólida, formando compostos menos solúveis. Todavia, grande parte do P retido é aproveitada pelas plantas. A magnitude dessa recuperação, que depende principalmente da espécie cultivada, é afetada por textura, tipos de minerais de argila e acidez do solo. Além disso, dose, fonte, granulometria e forma de aplicação do fertilizante fosfatado, rotação de culturas e sistema de preparo do solo também influem nesse processo.

3. RESPOSTA DAS CULTURAS À ADUBAÇÃO COM FÓSFORO

A resposta à adubação fosfatada depende, dentre outros fatores, da disponibilidade de P no solo, da disponibilidade de outros nutrientes, da espécie e variedade vegetal cultivada e das condições climáticas.

Na Figura 2 são apresentadas curvas de resposta a P para as culturas de soja, trigo, milho, braquiária e mandioca. Essas curvas foram obtidas em latossolos argilosos e se referem à resposta a fosfatos solúveis em água (superfosfatos) aplicados a lanço e incorporados no solo, em condições favoráveis de suprimento dos demais nutrientes. Quando não se adiciona P nesses solos, as produções são muito pequenas ou nulas, principalmente para soja, feijão, milho e trigo. Os maiores incrementos são observados com adubações entre 60 kg ha⁻¹ e 280 kg ha⁻¹ de P₂O₅ para sistemas de sequeiro.

Espécies menos exigentes, como braquiária e mandioca, parecem ser mais eficientes na absorção de P em solo sem adubação fosfatada (Figura 2). Apesar dessa melhor eficiência em utilizar o P nativo, essas espécies apresentam potencial de resposta à adubação com este nutriente.

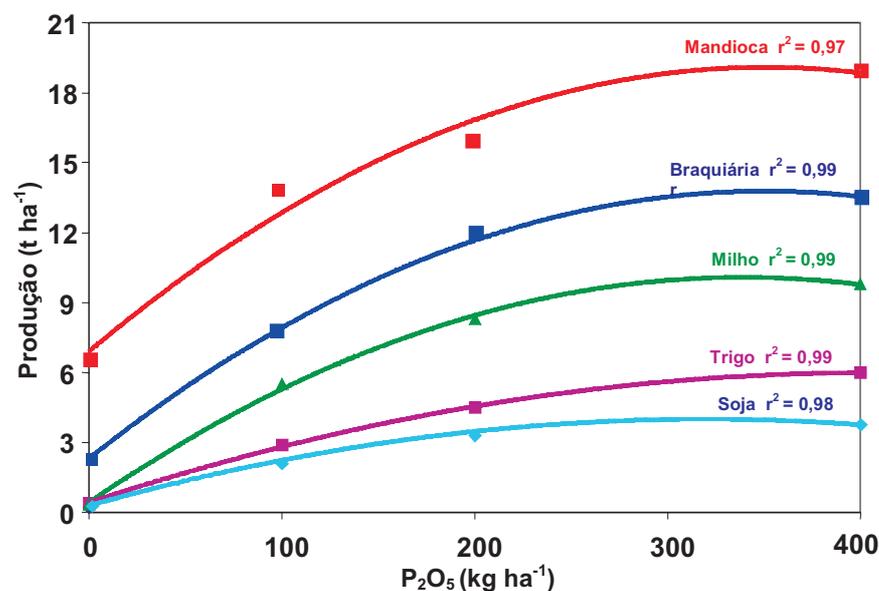


Figura 2. Respostas de algumas culturas à adubação fosfatada aplicada a lanço em solo argiloso de Cerrado (GOEDERT et al., 1986b; SOUSA et al., dados não publicados).

A frequência de resposta a P em solos da região do Cerrado é alta, caracterizando a generalização da sua deficiência.

4. INFLUÊNCIA DA ACIDEZ E DE OUTROS FATORES NA EFICIÊNCIA DA ADUBAÇÃO FOSFATADA

A correção da acidez é uma prática que contribui para aumentar a disponibilidade de P do solo e a eficiência dos fertilizantes fosfatados. Essa maior eficiência pode ser observada na Figura 3, em que para a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, na área sem calagem, a produtividade foi de 1,32 t ha⁻¹ de grãos de soja, enquanto com essa mesma dose, na área onde foi realizada a calagem, a produtividade da soja foi de 3,04 t ha⁻¹. Além disso, com a calagem, a produtividade obtida com a dose intermediária de P foi próxima daquela com a dose máxima, o mesmo não ocorrendo na ausência de calagem.

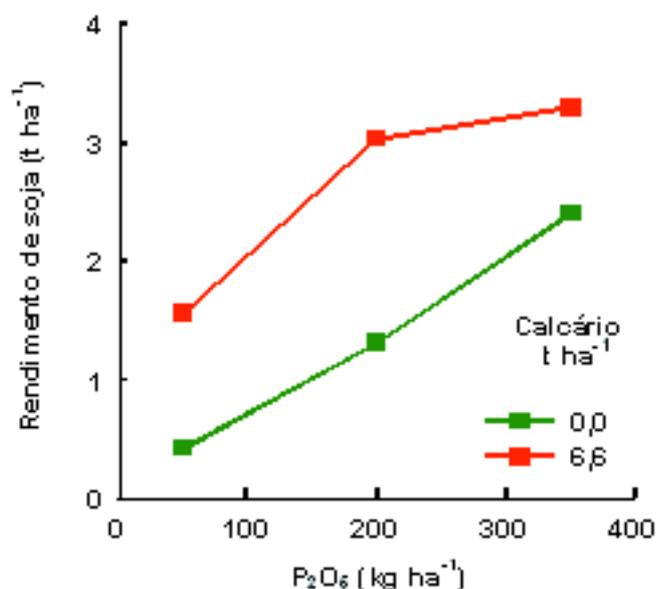


Figura 3. Produtividade média de grãos de cinco variedades de soja em área com duas doses de calcário e três doses de fósforo, aplicadas a lanço, na forma de superfosfato simples, em Latossolo Vermelho Escuro argiloso (adaptada de EMBRAPA, 1976).

Mesmo em sistemas que incluem espécies tolerantes à acidez deve-se levar em conta o benefício da correção dessa acidez na economia de P.

Quando se utilizam fosfatos naturais, os quais se beneficiam da acidez do solo para sua solubilização, observa-se decréscimo nessa solubilidade com a aplicação de calcário, principalmente em quantidades acima da dose recomendada para se elevar a saturação por bases para 50%. GOEDERT & LOBATO (1980) observaram decréscimo na produção de soja em função do aumento da dose de calcário quando a fonte de P era fosfato natural de Patos de Minas, enquanto para o superfosfato simples houve aumento de produtividade com a dose de calcário.

Em geral, as respostas mais convenientes a P estão condicionadas, além da correção da acidez, à adição de doses adequadas de outros nutrientes, como nitrogênio (N), potássio (K), enxofre (S) e micronutrientes. Um exemplo disso é observado na Tabela 1, que mostra em uma área adubada com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no estabelecimento e com manutenção de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicados a lanço na superfície sem incorporação no início do período chuvoso, a cada dois anos, utilizando como fonte o superfosfato triplo, que a redução do nível das adubações de reposição de N e K para 30% resultou no decréscimo de 40% na produção total de matéria seca de braquiária, acumulada em cinco anos.

Tabela 1. Produção acumulada de matéria seca de *Brachiaria decumbens* em cinco anos com duas doses de manutenção de nitrogênio e potássio, em um latossolo argiloso.

Manutenção com N e K ¹		Produção de matéria seca
%		t ha ⁻¹
30		30,8
100		51,2

¹ Manutenção de N e K depois de cada corte para repor aproximadamente o que foi exportado (100%) e uma parte apenas desse valor (30%).
Fonte: LOBATO et al., dados não publicados.

Práticas adequadas de manejo do solo e de rotação de culturas podem influenciar de forma positiva a eficiência de uso do P adicionado ao solo por meio de fertilizantes. Algumas culturas têm a capacidade de multiplicar determinados microrganismos, como fungos micorrízicos, e de liberar exsudatos através do sistema radicular, auxiliando a absorção do P do solo.

SANO et al. (1989) avaliaram como determinada seqüência de culturas pode afetar a produtividade de outra cultura devido à mudança na população de um microrganismo. O solo no qual foi conduzido o experimento, em condições naturais, apresentou população muito baixa de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares, com 2,8 propágulos por 10 gramas de solo. Mediante o cultivo de algumas culturas, por dois anos, foi possível alterar a população desses fungos.

Na Tabela 2 observa-se que a produção de grãos de sorgo, cultivado no terceiro ano depois da aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅,

como superfosfato triplo, por ocasião do primeiro cultivo da área, variou de 1.183 kg ha⁻¹ a 4.772 kg ha⁻¹. O teor de P no solo extraído pelo método Mehlich 1 antes e depois do cultivo do sorgo não diferiu estatisticamente entre os tratamentos e os demais nutrientes foram aplicados em quantidades adequadas. A diferença na produção de grãos de sorgo pode ser explicada pelo número de propágulos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares ($r^2 = 0,725$) avaliado 11 semanas após a germinação do sorgo. Foi feita também a regressão do P absorvido pelo sorgo e o número de propágulos de fungos micorrízicos vesículo-arbusculares ($r^2 = 0,83$), observando-se aumento na eficiência de absorção de P propiciado pelo aumento da população dos fungos para uma mesma disponibilidade de P no solo, ou a mesma quantidade de adubo fosfatado aplicado por ocasião do primeiro cultivo da área.

As hifas desses fungos constituem uma extensão do sistema radicular das plantas, resultando em maior superfície para absorção de nutrientes, com destaque para P e Zn.

Outra opção para ampliar a reciclagem e a eficiência do uso de P pelas plantas é o aumento do teor de matéria orgânica no solo. Esse componente pode melhorar a eficiência de uso do P, como se observa na Figura 4, a qual mostra que o rendimento de 3,0 t ha⁻¹ de soja foi obtido no mesmo latossolo muito argiloso com teores de P extraível (Mehlich 1) de 3 mg dm⁻³ e 6 mg dm⁻³ e teores de matéria orgânica de 37,3 g kg⁻¹ e 28,4 g kg⁻¹, respectivamente. O maior teor de matéria orgânica no solo resultou do cultivo de pastagem por nove anos, depois de uma seqüência de cultivos anuais e antes de voltar às culturas anuais. O menor nível de matéria orgânica no solo foi observado em sistema de cultivos anuais de grãos. Outra forma de aumentar o teor de matéria orgânica no solo pode ser por meio de sistemas de preparo mínimo do solo ou de plantio direto.

5. APLICAÇÃO DE FERTILIZANTES FOSFATADOS

Uma das opções para aumentar a eficiência de fertilizantes fosfatados é sua aplicação de modo adequado no solo. A escolha dessa prática dependerá do solo, da fonte de P, da espécie a ser cultivada, do sistema de preparo e do clima. As formas mais utilizadas para adicionar P ao solo são: a lanço, na superfície, com ou sem incorporação, no sulco de plantio, em cova e em faixas.

Tabela 2. Rendimento de grãos de sorgo, teor de fósforo no solo e número de propágulos de fungos micorrízicos após dois anos de cultivo da área com algumas culturas, em um latossolo argiloso, com a mesma adubação fosfatada.

Cultura cultivada por dois anos	Rendimento de grãos de sorgo	P extraível no cultivo		Propágulos de fungos vesículo-arbusculares ¹
		Antes	Depois	
	kg ha ⁻¹	----- mg dm ⁻³ -----		N ^o 10 g ⁻¹ de solo
Soja	3.077	2,0	1,6	126,0
Soja + FMVA ²	3.472	3,2	1,7	126,0
Mucuna	4.772	2,2	1,6	98,9
Arroz	1.789	1,9	1,8	59,3
Repolho	1.183	1,9	1,5	11,0
Sem plantio	2.400	2,8	1,7	17,0
Dms (5%)	981	ns	ns	

¹ Avaliados 11 semanas depois da germinação do sorgo.

² Soja inoculada com fungos micorrízicos vesículo-arbusculares exóticos.

Fonte: SANO et al. (1989).

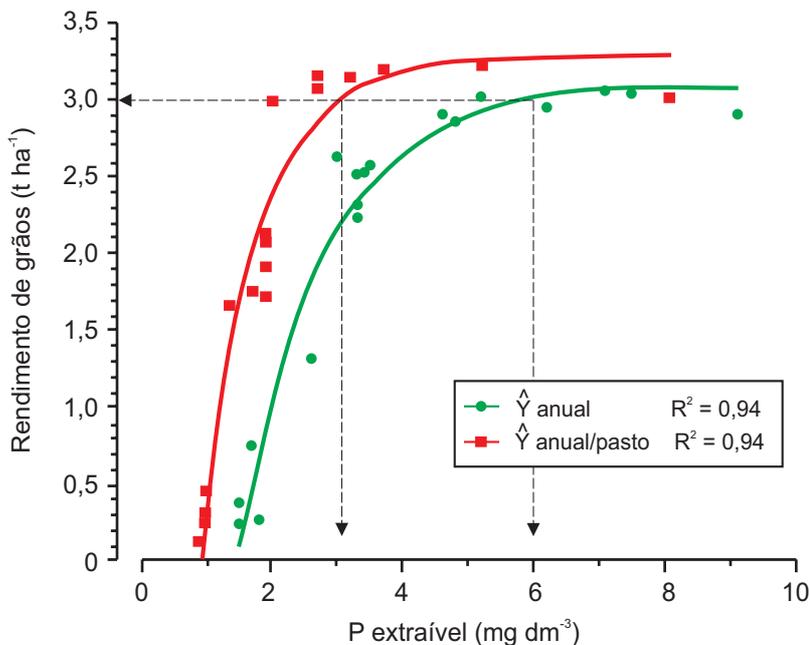


Figura 4. Efeito de dois sistemas de rotação de culturas na relação entre o fósforo extraível (Mehlich 1) na camada de 0 a 20 cm de profundidade e o rendimento de grãos de soja cv. Cristalina 13^o cultivo (SOUSA et al., 1997).

Dos adubos fosfatados solúveis, os mais usados na agricultura são geralmente comercializados na forma de grânulos. A granulação, além de facilitar sua aplicação na lavoura, limita a quantidade de solo que entra em contato com o adubo, diminuindo a insolubilização de P no solo, sendo uma forma de localizá-lo mesmo em aplicações feitas a lanço.

SOUSA & VOLKWEISS (1987) estimaram o volume de solo em que o adubo fosfatado reage com três tamanhos de grânulos de superfosfato triplo, 2, 4 e 6 mm de diâmetro, e verificaram que, para a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicada a lanço, o volume de solo ocupado com P foi de 25%, 15% e 9,5%, respectivamente. A maioria dos adubos fosfatados solúveis comercializados apresenta grânulos que variam de 0,84 mm a 3,4 mm de diâmetro. Mesmo em aplicações a lanço de superfosfato triplo, na dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, considerando um diâmetro médio dos grânulos do adubo de 2 mm, o volume de reação com o solo será de 12,5%. Portanto, ao se localizar doses como essa no sulco de semeadura, o volume fica ainda menor, o que pode afetar a absorção de P e, conseqüentemente, a produção de grãos.

Em experimento conduzido por YOST et al. (1979) foi observado que para a dose de 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅ aplicada a lanço e no sulco como superfosfato simples, no sistema de preparo convencional, a produtividade de grãos de milho foi de 5,2 t ha⁻¹ e 3,8 t ha⁻¹, respectivamente. A mesma dose foi ainda utilizada combinando os dois modos de aplicação, ou seja, metade a lanço incorporada e metade no sulco de semeadura, com produtividade de 4,5 t ha⁻¹ de grãos de milho. Conclui-se que para doses maiores de P, a aplicação a lanço favoreceu a absorção desse nutriente pela cultura, aumentando a produtividade em relação à aplicação no sulco.

Em ensaio com soja, no qual aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅ foram feitas a lanço e no sulco, no sistema de preparo convencional do solo, utilizando como fonte de P o superfosfato triplo, o comportamento foi semelhante quanto à produtividade de grãos durante oito anos de avaliação (Tabela 3). Para o solo não

preparado, o comportamento foi semelhante para os dois modos de aplicação; entretanto, nos três primeiros cultivos, o tratamento com aplicação a lanço do superfosfato triplo apresentou perdas de produtividade em relação à aplicação no sulco. Possivelmente, isso ocorreu por se tratar de solo com teor de P muito baixo e porque a aplicação superficial do nutriente limitou sua absorção quando reduziu a umidade do solo na superfície, nos períodos de estiagem, cessando sua absorção. Com o passar do tempo, o P foi carregado para o interior do solo através das raízes das plantas, das galerias de insetos, dos microrganismos, entre outras possibilidades.

Para fontes de baixa solubilidade em água, como os fosfatos naturais reativos farelados, o ideal é a aplicação a lanço, incorporando-os ao solo, pois isso acelera seu processo de solubilização. Na Tabela 3 observa-se que com a aplicação do fosfato de Gafsa a lanço, no sistema convencional, a produção foi superior em 16% em relação à aplicação no sulco de semeadura. Essa diferença ocorreu principalmente nos quatro primeiros cultivos da área. Esse fosfato, quando aplicado na área sem preparo, apresentou produtividade inferior à do sistema de preparo convencional, independentemente da forma de aplicação. Isso evidencia que o preparo do solo favorece a solubilização dos fosfatos naturais reativos.

Tabela 3. Produção de grãos de soja acumulada em oito cultivos em um latossolo argiloso com muito baixa disponibilidade de P, recebendo aplicações anuais de 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a lanço e no sulco, com duas fontes de fósforo, sem preparo e no sistema de preparo convencional.

Fonte de P ¹	Modo de aplicar	Sistema de preparo	Produção de grãos em 8 cultivos ² (t ha ⁻¹)
SFT	lanço	convencional	21,2
SFT	sulco	convencional	19,9
Gafsa	lanço	convencional	21,3
Gafsa	sulco	convencional	18,4
SFT	lanço	sem preparo	20,5
SFT	sulco	sem preparo	20,5
Gafsa	lanço	sem preparo	15,9
Gafsa	sulco	sem preparo	16,2

¹ SFT: superfosfato triplo granulado; Gafsa: fosfato natural de Gafsa, farelado.

² No sistema de preparo convencional, a produção de grãos acumulada em oito cultivos para o tratamento sem fósforo foi de 1,8 t/ha.

Fonte: SOUSA et al. (dados não publicados).

Em solos bem supridos com P, o modo de aplicação do fertilizante fosfatado e o sistema de preparo do solo não afetam a produtividade das culturas (Tabela 4).

Em pastagem já estabelecida, sem problema de compactação, é possível adicionar o fertilizante fosfatado em cobertura, sem incorporação. Doses de 30 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicadas a cada dois anos, como superfosfato triplo na superfície do solo aumentaram a produtividade da pastagem entre 98% e 110% (Tabela 5). Quando a fonte usada foi o fosfato natural reativo de Gafsa farelado o ganho foi entre 70% e 93%, porque essa forma de aplicação reduz sua eficiência, se comparada com o superfosfato triplo.

Tabela 4. Rendimento de grãos de soja (primeiro cultivo) e de milho (segundo cultivo) em resposta à aplicação de 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com duas fontes de fósforo aplicadas a lanço e no sulco, em sistema de preparo convencional e de plantio direto.

Fonte de P ¹	Modo de aplicação	Produtividade ² (t ha ⁻¹)	
		Soja	Milho
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO			
SFT	sulco	3,5	9,9
SFT	lanço	3,7	10,3
FNR	sulco	3,5	9,6
FNR	lanço	3,6	9,2
SISTEMA DE PREPARO CONVENCIONAL			
SFT	sulco	3,4	9,5
SFT	lanço	3,6	10,6
FNR	sulco	3,4	8,8
FNR	lanço	3,4	9,2

¹ SFT: superfosfato triplo, FNR: fosfato natural reativo farelado.

² As produtividades de grãos do tratamento sem fósforo para a soja e milho foram de 3,0 t ha⁻¹ e 7,9 t ha⁻¹, respectivamente, no sistema de plantio direto. No sistema de preparo convencional, essas produtividades foram de 3,0 t ha⁻¹ e 8,3 t ha⁻¹, respectivamente.

Fonte: SOUSA et al. (dados não publicados).

Tabela 5. Produção acumulada de matéria seca de *Brachiaria decumbens*, em um período de cinco anos, em latossolo argiloso que recebeu adubação de estabelecimento, a lanço e incorporada, e manutenção, a lanço, na superfície, sem incorporação.

Fonte de P ¹	Adubação		Produção de matéria seca
	Estabelecimento	Manutenção ²	
	----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		t ha ⁻¹
-	0	0	20,2
SFT	0	30	42,5
SFT	50	0	25,3
SFT	50	30	50,1
Gafsa	0	30	39,0
Gafsa	50	0	26,1
Gafsa	50	30	44,5

¹ SFT: superfosfato triplo, Gafsa: fosfato natural de Gafsa farelado.

² Feita no início do período chuvoso do primeiro, terceiro e quinto anos depois do estabelecimento.

Fonte: LOBATO et al. (dados não publicados).

A distribuição do fosfato a lanço com incorporação em solo com baixa disponibilidade de P proporciona maior volume deste nutriente em condições para a planta absorvê-lo, bem como a água e os outros nutrientes. Para as culturas anuais, a aplicação de fertilizantes fosfatados a lanço e incorporado promove um sistema radicular mais volumoso. Essa forma de aplicação deve ser utilizada para doses superiores a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com incorporação ao solo, principalmente em solos muito deficientes neste nutriente.

Para doses inferiores a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, a serem aplicadas em culturas anuais, recomenda-se a localização em sulcos, sobretudo em solos com baixa disponibilidade do nutriente, o que possibilitará

melhor uso pelas plantas do P do fertilizante solúvel em água, além da praticidade da operação conjunta com a semeadura.

Quando os teores de P no solo forem adequados ou altos, o modo de aplicação pode ser escolhido em função da praticidade da operação.

Em áreas com sistema de plantio direto, após os primeiros anos de aplicação de calcário na superfície do solo, deve-se evitar a adubação fosfatada a lanço, em especial em áreas com algum potencial de resposta a P. A produtividade das culturas pode ser prejudicada com o pH na superfície do solo atingindo valores próximos a 7, o que pode reduzir a disponibilidade de fontes solúveis de P ou retardar a dissolução de fosfatos naturais reativos.

Há vantagens em combinar aplicação inicial a lanço com incorporação e adições anuais no sulco de semeadura, obtendo-se bons rendimentos desde o primeiro cultivo.

6. INTERPRETAÇÃO DA ANÁLISE DE SOLO E RECOMENDAÇÃO DE ADUBAÇÃO

Para fazer uma recomendação criteriosa de adubação fosfatada para a correção do solo deve-se conhecer o plano de utilização da gleba, incluindo a seqüência de culturas, o prazo de utilização e a expectativa de produção.

O histórico das áreas já incorporadas ao processo produtivo auxilia na recomendação. Informações sobre quantidades e tipos de insumos já aplicados, produtividades obtidas, preparo do solo, condições climáticas e tipo de solo, por exemplo, devem ser anotadas e arquivadas pelo produtor rural e consultadas quando houver necessidade de definir a recomendação de adubação para as culturas.

A análise de solo é um dos instrumentos mais utilizados para a recomendação de adubação. Essa recomendação baseia-se na relação existente entre os teores de nutrientes no solo e o rendimento das culturas, assim como na relação entre as doses de P aplicadas e o rendimento em solos com diferentes teores do nutriente. Com base em experimentos de campo, com diversas culturas, são estabelecidas as respectivas doses de maior retorno econômico.

Na região do Cerrado, os dados de uma rede de experimentos conduzidos nos Estados de Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Goiás, Bahia, Minas Gerais e no Distrito Federal foram utilizados para obtenção da interpretação da análise de solo e recomendação de fertilizantes fosfatados. Por exemplo, para a obtenção das tabelas de interpretação da análise do solo e recomendação de fertilizante fosfatado, utilizando-se o método de extração Mehlich 1, foram seguidas três etapas:

- Na primeira foram utilizadas as relações entre a produtividade de grãos das culturas e o teor de P extraído do solo pelo método Mehlich 1 para a determinação dos níveis críticos de P. Nessa etapa observou-se que há relação entre o teor de argila e o nível crítico, o que justifica incorporar a variável teor de argila na interpretação da análise do solo.

- Na segunda, utilizando-se a relação entre a dose de P aplicada ao solo e o teor de P extraído, obteve-se a dose necessária para atingir o nível crítico.

- Finalmente, na terceira etapa, por meio da relação entre a dose de P aplicada ao solo e o teor de argila do solo, em três condições de disponibilidade de P no solo, foi obtido o fator que multiplica o teor de argila para determinar a dose de P a aplicar para que se atinja a disponibilidade adequada de P no solo (Figura 5).

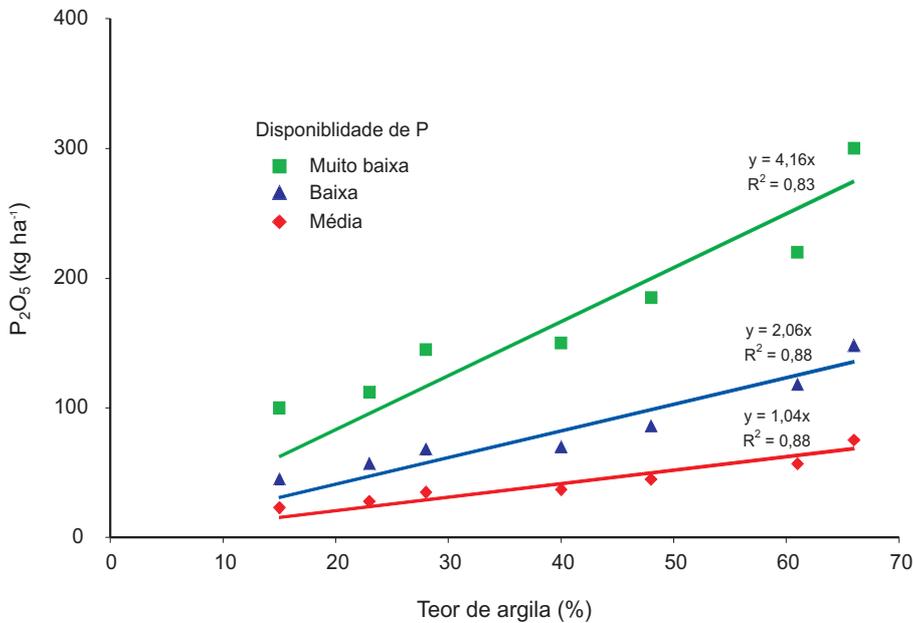


Figura 5. Relação entre dose de P aplicada para atingir a disponibilidade adequada e teor de argila do solo em três condições de disponibilidade de fósforo no solo (adaptada de SOUSA et al., 1987a).

Além da interpretação da análise de solo pelo método Mehlich 1 para solo da região do Cerrado, SOUSA et al. (2002) propõem ainda a interpretação pelo método da resina trocadora de íons e P remanescente. Para a recomendação são considerados o sistema de sequeiro e irrigado, a disponibilidade de P no solo e o teor de argila ou o P remanescente, dependendo do extrator utilizado na análise de P do solo.

6.1. Interpretação da análise de solo para culturas anuais

6.1.3. Com base no teor de argila e no P extraído pelo método Mehlich 1

Na Tabela 6 apresenta-se a interpretação da análise química do solo amostrado na camada de 0 a 20 cm, para culturas anuais em sistema de sequeiro, quanto ao teor de P extraível pelo método Mehlich 1 (também denominado ácido duplo ou Carolina do Norte) e ao teor de argila.

Os limites de classe estabelecidos para interpretação da análise do solo correspondem aos seguintes rendimentos poten-

ciais (%): 0 a 40, 41 a 60, 61 a 80, 81 a 90 e > 90 para o sistema de sequeiro; 0 a 60, 61 a 80, 81 a 90, 91 a 100 e ≤ 100 para o sistema irrigado (teor de P no solo acima do necessário para obtenção da produtividade máxima), interpretados como muito baixo, baixo, médio, adequado e alto, respectivamente. Observa-se na Tabela 6 que a interpretação varia com os teores de argila, sendo os níveis críticos de P (níveis mínimos adequados) em sistema de sequeiro iguais a 4, 8, 15 e 18 mg dm⁻³ para os solos de textura muito argilosa, argilosa, média e arenosa, respectivamente, suficientes para obtenção de 80% do rendimento potencial na ausência de aplicação de P naquele ano agrícola.

Em sistema irrigado, com culturas anuais, os níveis críticos de P são obtidos quando os teores desse elemento forem iguais a 6, 12, 20 e 25 mg dm⁻³ para os solos de textura muito argilosa, argilosa, média e arenosa, respectivamente (Tabela 7), suficientes para obtenção de 90% do rendimento potencial.

6.1.2. Com base no P extraído por resina trocadora de íons

A resina trocadora de íons é outro extrator para P utilizado por alguns laboratórios da região. Nesse caso, a interpretação dos teores de P no solo é pouco influenciada pelo teor de argila, não havendo necessidade, portanto, de criar classes em razão dessa variável. A interpretação da análise, para sistemas de sequeiro e irrigado, está apresentada na Tabela 8.

6.1.3. Com base no P remanescente e no P extraído pelo método Mehlich 1

Além do teor de argila que influencia no nível crítico de P quando se utiliza o método Mehlich 1, a natureza mineralógica do solo também afeta essa relação. O P remanescente (P-rem) é um índice da capacidade de retenção de P pelo solo (quanto maior a capacidade de retenção, menor o valor P-rem) que se relaciona com o teor de argila e sua mineralogia (ALVAREZ & FONSECA, 1990) e pode ser utilizado em substituição ao teor de argila unicamente. A determinação do P-rem é simples, rápida e foi descrita por ALVAREZ et al. (1997).

Tabela 6. Interpretação da análise de solo para P extraído pelo método Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistemas de sequeiro com culturas anuais.

Teor de argila	Teor de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
%	----- mg dm ⁻³ -----				
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0
16 a 35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
36 a 60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0

Fonte: Adaptada de SOUSA et al. (2002).

Tabela 7. Interpretação da análise de solo para fósforo extraído pelo método Mehlich 1, de acordo com o teor de argila, para recomendação de adubação fosfatada em sistema irrigado com culturas anuais.

Teor de argila	Teor de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
%	----- mg dm ⁻³ -----				
≤ 15	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0
16 a 35	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 35,0	> 35,0
36 a 60	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
> 60	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0

Fonte: SOUSA et al. (2002).

Tabela 8. Interpretação da análise de solo para fósforo extraído pelo método da resina trocadora de íons para recomendação de adubação fosfatada em sistemas de sequeiro e irrigado com culturas anuais.

Sistema agrícola	Teor de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg dm ⁻³ -----				
Sequeiro	0 a 5	6 a 8	9 a 14	15 a 20	> 20
Irrigado	0 a 8	9 a 14	15 a 20	21 a 35	> 35

Fonte: SOUSA et al. (2002).

A interpretação da análise de solo utilizando-se o P-rem e o método Mehlich 1 é mostrada na Tabela 9 e na Tabela 10 para sistemas de sequeiro e irrigado, respectivamente. O valor do P-rem deve ser determinado em solos nos quais não foram feitas adubações fosfatadas ou com grande potencial de resposta ao P. Não é necessário repeti-lo em anos subseqüentes, até porque se espera que seu valor aumente em áreas antigas, bem adubadas com P.

Independentemente do procedimento utilizado para interpretar o resultado da análise de P no solo, quando o teor desse nutriente estiver na faixa adequada, as expectativas de produção no sistema de sequeiro para as culturas de soja, feijão e milho são de, no mínimo, 3 t ha⁻¹, 2,5 t ha⁻¹ e 7 t ha⁻¹, respectivamente. Em sistemas irrigados, essas expectativas são de 4 t ha⁻¹ para soja ou feijão, 5 t ha⁻¹ para trigo e 10 t ha⁻¹ para milho. Essas produções, nos dois sistemas, estão condicionadas à aplicação de calcário, adubação de manutenção adequada com P e outros nutrientes e à ausência de outros fatores limitantes (climáticos, fitossanitários e invasoras).

O método de amostragem de solo pode ser apontado como fator limitante na obtenção de amostra representativa de uma gleba e, conseqüentemente, de dados de análise de solo confiáveis. Essa limitação pode ser acentuada em áreas que receberam adubos fosfatados em sulco, principalmente durante os três primeiros cultivos, pois ainda ocorrem zonas com alta concentração de P e zonas só com o P nativo. Limitação semelhante é observada no sistema de plantio direto, no qual o P aplicado na linha não é redistribuído pelo preparo do solo. Nessas situações, o histórico da gleba poderá ter um valor muito grande para a interpretação correta do resultado da análise.

Tabela 9. Interpretação da análise de solo para fósforo extraído pelo método Mehlich 1, de acordo com o fósforo remanescente, para recomendação de adubação fosfatada em sistema de sequeiro com culturas anuais.

P-rem	Teor de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg dm ⁻³ -----				
≤ 10	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0
11 a 30	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
31 a 45	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	> 20,0
46 a 60	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	> 25,0

Fonte: SOUSA et al. (2002).

Tabela 10. Interpretação da análise de solo para fósforo extraído pelo método Mehlich 1, de acordo com o fósforo remanescente, para recomendação de adubação fosfatada em sistema irrigado com culturas anuais.

P-rem	Teor de P no solo				
	Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado	Alto
	----- mg dm ⁻³ -----				
≤ 10	0 a 3,0	3,1 a 4,0	4,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0
11 a 30	0 a 5,0	5,1 a 8,0	8,1 a 12,0	12,1 a 18,0	> 18,0
31 a 45	0 a 10,0	10,1 a 15,0	15,1 a 20,0	20,1 a 35,0	> 35,0
46 a 60	0 a 12,0	12,1 a 18,0	18,1 a 25,0	25,1 a 40,0	> 40,0

Fonte: SOUSA et al. (2002).

6.2. Interpretação da análise de solo para forrageiras

As espécies de gramíneas e leguminosas forrageiras foram separadas em grupos segundo seu grau de exigência de fertilidade de solo. Assim, na Tabela 11 e na Tabela 12 observa-se que existem graus diferenciados de adaptação das plantas às condições adversas do solo ou exigências diferentes quanto à fertilidade do solo entre as espécies e dentro delas.

Para a definição da adubação fosfatada de estabelecimento é importante conhecer o resultado da análise de solo de modo a definir as condições de disponibilidade do nutriente. Na Tabela 13 e na Tabela 14 são apresentadas as interpretações de resultados de análise de P extraído pelos métodos Mehlich 1 e da resina, respectivamente.

Pelo método da resina, o nível de P considerado adequado deve ser superior a 8 mg dm⁻³ para espécies pouco exigentes e de 11 mg dm⁻³ para espécies exigentes e, nesse caso, não se recomenda adubação fosfatada.

Tabela 11. Adaptação de gramíneas forrageiras às condições de fertilidade de solo.

Espécie	Grau de exigência em fertilidade
<i>Andropogon gayanus</i> cv. Planaltina	pouco exigente
<i>Brachiaria decumbens</i>	pouco exigente
<i>Brachiaria humidicola</i>	pouco exigente
<i>Brachiaria ruziziensis</i>	pouco exigente
<i>Paspalum atratum</i> cv. Pojuca	pouco exigente
<i>Brachiaria brizantha</i> cv. Marandu	exigente
<i>Setaria anceps</i>	exigente
<i>Panicum maximum</i> cv. Vencedor e cv. Centenário	exigente
<i>Panicum maximum</i> cv. Colômbio, cv. Tobiatã, cv. Tanzânia-1, cv. Mombaça	muito exigente
<i>Pennisetum purpureum</i> (Elefante, Napier)	muito exigente
<i>Cynodon spp</i> (Coast-Cross, Tifton)	muito exigente

Fonte: Adaptada de VILELA et al. (2000).

Tabela 12. Adaptação de leguminosas forrageiras às condições de fertilidade de solo.

Espécie	Grau de exigência em fertilidade
<i>Stylosanthes guianensis</i> cv. Mineirão e cv. Bandeirante	pouco exigente
<i>Stylosanthes macrocephala</i> cv. Pioneiro	pouco exigente
<i>S. capitata</i> + <i>S. macrocephala</i> cv. Campo Grande	pouco exigente
<i>Calopogonium mucunoides</i>	pouco exigente
<i>Pueraria phaseoloides</i>	pouco exigente
Amendoim forrageiro (<i>Arachis pintoi</i>) cv. Amarillo	exigente
Leucena (<i>Leucaena leucocephala</i>)	muito exigente
Soja perene (<i>Neonotonia wightii</i>)	muito exigente

Fonte: Adaptada de VILELA et al. (2000).

Tabela 13. Interpretação de resultados da análise de fósforo no solo, na profundidade de 0 a 20 cm, extraído pelo método Mehlich 1, para três grupos de exigência das forrageiras.

Teor de argila (%)	Disponibilidade de fósforo (mg dm ⁻³)			
	Muito baixa	Baixa	Média	Adequada
ESPÉCIES POUCO EXIGENTES				
≤ 15	0 a 3,0	3,1 a 6,0	6,1 a 9,0	> 9,0
16 a 35	0 a 2,5	2,6 a 5,0	5,1 a 7,0	> 7,0
36 a 60	0 a 1,5	1,6 a 3,0	3,1 a 4,5	> 4,5
> 60	0 a 1,0	1,1 a 1,5	1,6 a 2,0	> 2,0
ESPÉCIES EXIGENTES				
≤ 15	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 15,0	> 15,0
16 a 35	0 a 4,0	4,1 a 8,0	8,1 a 12,0	> 12,0
36 a 60	0 a 2,0	2,1 a 4,0	4,1 a 6,0	> 6,0
> 60	0 a 1,0	1,1 a 2,0	2,1 a 3,0	> 3,0
ESPÉCIES MUITO EXIGENTES				
≤ 15	0 a 6,0	6,1 a 12,0	12,1 a 21,0	> 21,0
16 a 35	0 a 5,0	5,1 a 10,0	10,1 a 18,0	> 18,0
36 a 60	0 a 3,0	3,1 a 5,0	5,1 a 10,0	> 10,0
> 60	0 a 2,0	2,1 a 3,0	3,1 a 5,0	> 5,0

Fonte: SOUSA et al. (2001).

Tabela 14. Interpretação de resultados da análise de fósforo no solo, na profundidade de 0 a 20 cm, extraído pelo método da resina (P-resina), para três grupos de exigência das forrageiras.

Interpretação da análise do solo (mg dm ⁻³)			
Muito baixo	Baixo	Médio	Adequado
ESPÉCIES POUCO EXIGENTES			
0-3,0	3,1-6,0	6,1-8,0	> 8,0
ESPÉCIES EXIGENTES			
0-4,0	4,1-8,0	8,1-11,0	> 11,0
ESPÉCIES MUITO EXIGENTES			
0-5,0	5,1-9,0	9,1-18,0	> 18,0

Fonte: SOUSA et al. (2001).

6.3. Recomendação de adubação

6.3.1. Adubação corretiva para culturas anuais

A adubação corretiva tem por objetivo transformar o solo de baixa fertilidade em solo fértil. Na definição do nível de fertilidade a ser alcançado leva-se em conta o grau de exigência em P das culturas que se pretende cultivar na gleba a ser adubada. Assim, por exemplo, uma rotação de culturas que inclua soja, milho, feijão, trigo, entre outras, exige nível de disponibilidade de P mais elevado do que um sistema em que se pretende implantar pastagem de *Brachiaria decumbens* semeada com arroz de sequeiro; o investimento em fertilizante fosfatado para o primeiro sistema será maior do que para o segundo.

Duas opções são apresentadas para a adubação fosfatada corretiva: a correção do solo de uma só vez ou a correção gradativa. Estando o solo corrigido, com teor de P classificado como adequado, recomenda-se apenas a adubação de manutenção.

No caso da adubação corretiva de uma só vez recomenda-se aplicar a quantidade de P necessária (Tabela 15) a lanço, incorporando-o à camada arável para proporcionar maior volume de solo corrigido, a fim de que mais raízes tenham condições de absorver o nutriente. Doses inferiores a 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, no entanto, devem ser aplicadas no sulco de semeadura, à semelhança da adubação corretiva gradual, descrita a seguir.

Antes da implementação de sistemas irrigados é imprescindível fazer a adubação fosfatada corretiva, pois, devido aos elevados investimentos em equipamentos de irrigação, a fertilidade do solo não deve ser um fator de restrição da produtividade.

Para se definir com maior precisão as quantidades de P como adubação corretiva, pode-se usar as fórmulas propostas na Tabela 16. Em termos médios, as recomendações de adubação fosfatada corretiva feitas utilizando-se a Tabela 15 e a Tabela 16 são semelhantes.

Cálculos feitos para um grupo de 33 amostras de solo utilizando-se os dados da Tabela 15 e a fórmula proposta para o teor de argila da Tabela 16 para o sistema de sequeiro indicaram recomendações de P variando em ± 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o que pode ser explicado pela menor precisão das recomendações da Tabela 15, para as quais são utilizados valores médios da classe de teor de

argila para cálculo da quantidade de P a ser aplicada no solo. Comparando-se as recomendações feitas por meio do P-rem e do teor de argila (Tabela 16) foram obtidas variações de ± 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o que pode ser explicado pela maior sensibilidade do P-rem à natureza da fração argila, além de sua quantidade.

Após a aplicação da dose de P como adubação corretiva, quando a disponibilidade de P é adequada segue-se a adubação de manutenção, nas doses indicadas no item 6.4 deste trabalho.

A adubação corretiva gradual (Tabela 17) pode ser utilizada quando não se tem o capital necessário para fazer a correção do solo de uma só vez, situação freqüente quando se trata de solos argilosos e muito argilosos, para os quais as doses requeridas são elevadas. Essa prática consiste em aplicar, no sulco de semeadura, uma quantidade de P superior à indicada para a adubação de manutenção, até atingir, depois de alguns anos, a disponibilidade de P desejada. Ao se aplicar as quantidades de adubos fosfatados sugeridas na Tabela 17 espera-se que, num período máximo de cinco cultivos sucessivos, o solo apresente os teores de P em nível adequado para o sistema de sequeiro.

Em outras palavras, a adubação corretiva gradual consiste em aplicar a quantidade de P definida pela Tabela 15, mas de modo parcelado, acrescentando à adubação anual de manutenção uma parcela da adubação corretiva total. Como exemplo, se for definida como necessária a aplicação de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ como adubação corretiva, essa quantidade poderá ser aplicada em cinco anos, acrescentando-se à adubação de manutenção (60 kg ha⁻¹ de P₂O₅)

Tabela 15. Recomendação de adubação fosfatada corretiva de acordo com a disponibilidade de fósforo e com o teor de argila do solo, em sistemas de sequeiro e irrigado, com culturas anuais.

Argila	Recomendação de P ₂ O ₅					
	Sistema de sequeiro			Sistema irrigado		
	Disponibilidade de P no solo ¹			Disponibilidade de P no solo ¹		
	Muito baixa	Baixa	Média	Muito baixa	Baixa	Média
%	----- kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ -----					
≤ 15	60	30	15	90	45	20
16 a 35	100	50	25	150	75	40
36 a 60	200	100	50	300	150	75
> 60	280	140	70	420	210	105

¹ Classe de disponibilidade de P no solo. Ver Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10.

Fonte: SOUSA et al. (2002).

Tabela 16. Recomendação de adubação fosfatada corretiva de acordo com a disponibilidade de fósforo, calculada com o teor de argila ou de fósforo remanescente do solo, em sistemas de sequeiro e irrigado, com culturas anuais.

Sistema agrícola	Variável	Disponibilidade de P no solo ¹		
		Muito baixa	Baixa	Média
		----- kg de P ₂ O ₅ ha ⁻¹ -----		
Sequeiro	Teor de argila ²	4 x argila	2 x argila	1 x argila
Irrigado	Teor de argila	6 x argila	3 x argila	1,5 x argila
Sequeiro	P-rem ³	260 – (4 x P-rem)	130 – (2 x P-rem)	65 – (1 x P-rem)
Irrigado	P-rem	390 – (6 x P-rem)	195 – (3 x P-rem)	98 – (1,5 x P-rem)

¹ Classe de disponibilidade de P no solo. Ver Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10.

² Teor de argila expresso em porcentagem.

³ P remanescente expresso em mg dm⁻³.

Fonte: SOUSA et al. (2002).

Tabela 17. Recomendação de adubação fosfatada corretiva gradual em cinco anos, de acordo com a disponibilidade de fósforo e com o teor de argila do solo, em sistema de sequeiro com culturas anuais.

Argila %	Recomendação de P ₂ O ₅		
	Disponibilidade de P no solo ¹		
	Muito baixa	Baixa	Média
	----- kg ha ⁻¹ -----		
≤ 15 ²	70	65	63
16 a 35	80	70	65
36 a 60	100	80	70
> 60	120	90	75

¹ Classe de disponibilidade de P no solo. Ver Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10.

² Para essa classe textural, teor de (argila + silte) ≤ 15%.

Fonte: SOUSA et al. (2002).

os 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ correspondentes a 1/5 do total. Portanto, adubando no sulco com 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅ durante cinco anos estaria sendo feita a adubação corretiva de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de forma gradual. O agricultor pode definir, de acordo com sua disponibilidade de recursos, em quantos anos ele fará o investimento com a adubação corretiva. Quanto mais rápido isto for feito, maior será o retorno econômico.

6.3.2. Adubação de estabelecimento para forrageiras

Caso os teores de P sejam inferiores aos considerados adequados na Tabela 13 e na Tabela 14, aplicar P segundo a fórmula a seguir, para a qual o valor de β é obtido na Tabela 18:

$$\text{Dose de fósforo (kg ha}^{-1} \text{ de P}_2\text{O}_5) = \text{Argila (\%)} \times \text{fator } \beta \quad (1)$$

Tabela 18. Valores do fator β da equação (1) para determinar a dose do adubo fosfatado para estabelecimento de pastagens em função da interpretação da análise do solo (Tabelas 13 e 14) e da exigência das espécies forrageiras (Tabelas 11 e 12).

Interpretação da análise de fósforo do solo	Espécies		
	Pouco exigentes	Exigentes	Muito exigentes
Muito baixo	2,0	3,0	4,0
Baixo	1,5	2,0	2,5
Médio	1,0	1,5	2,0

Fonte: SOUSA et al. (2001).

6.4. Adubação de manutenção

6.4.1. Culturas anuais

A adubação de manutenção é indicada quando o nível de P do solo está classificado como adequado ou alto (Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10). As doses de P recomendadas para essas situações são apresentadas na Tabela 19.

A dose de manutenção no nível adequado de P é apresentada em um intervalo para atender a diferentes potenciais produtivos das culturas nos diferentes sistemas. Assim, para a cultura da soja, no sistema de sequeiro, com nível de P adequado,

Tabela 19. Recomendação de adubação de manutenção, de acordo com a classe de disponibilidade de fósforo no solo, em sistemas de sequeiro e irrigado, com culturas anuais.

Disponibilidade de fósforo no solo ¹	Sistema	
	Sequeiro	Irrigado
	----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----	
Adequada	60 a 100	80 a 120
Alta	30 a 50	40 a 60

¹ Classe de disponibilidade de P. Ver Tabelas 6, 7, 8, 9 e 10.

Fonte: SOUSA et al. (2002).

60 kg ha⁻¹ de P₂O₅ são suficientes para produzir 3 t ha⁻¹ de grãos. Já para a cultura do milho, a manutenção de 90 kg ha⁻¹ de P₂O₅ atende à expectativa de produtividade de 9 t ha⁻¹. Para produtividades maiores, a manutenção deve ser proporcionalmente aumentada.

Com teor alto de P no solo, caso haja limitação financeira, pode-se, por algum tempo, deixar de adubar com este nutriente sem comprometer o potencial produtivo.

6.4.2. Pastagens

Nas explorações extensivas com pastagens exclusivas de gramíneas ou consorciadas, com a finalidade de evitar a degradação da pastagem, recomenda-se aplicar em cobertura 20 kg ha⁻¹ de P₂O₅ a cada dois anos. O P deve ser aplicado preferencialmente no início da estação chuvosa.

Em pastagens destinadas à produção de feno ou em capineiras, a reposição do P deve ser feita com base na quantidade de matéria seca removida da área. Sugere-se estimar o teor de P no tecido vegetal em 0,15%; assim, em cada tonelada de matéria seca estão sendo exportados 1,5 kg de P ou 3,5 kg de P₂O₅.

7. FONTES DE FÓSFORO

Dentre os macronutrientes primários (N, P e K), o P é o que apresenta a maior variação quanto aos tipos de fertilizantes disponíveis no mercado. Esses produtos podem ser classificados quanto à sua solubilidade em água, em citrato neutro de amônio (CNA) e em ácido cítrico (AC), em análises conforme a legislação brasileira. Conhecendo-se o produto e suas solubilidades, pode-se, de maneira geral, prever sua eficiência agrônômica (capacidade de fornecimento de P para as culturas) e a melhor forma de utilização.

Os superfosfatos simples e triplo (ambos fosfatos monocalcicos), os fosfatos monoamônico (MAP) e diamônico (DAP) e alguns fertilizantes complexos (N, P e K no mesmo grânulo) têm mais de 90% do P total solúvel em CNA, dissolvem-se rapidamente no solo e são praticamente equivalentes quanto à capacidade de fornecimento de P para as plantas. São utilizados principalmente na forma de grãos, com a finalidade de diminuir o volume de solo com o qual reagem, reduzindo o processo de insolubilização, além de facilitar o manuseio e a aplicação. São produtos de reconhecida e elevada eficiência agrônômica, para quaisquer condições de solo e de cultura no Cerrado, correspondendo a mais de 90% do P₂O₅ utilizado na agricultura brasileira.

Os fosfatos naturais brasileiros (Araxá, Patos de Minas, Catalão, entre outros), cuja dissolução no solo é muito lenta, sobretudo em condições de acidez corrigida para culturas anuais (pH em água ao redor de 6,0), têm eficiência agrônômica muito

baixa, em média de 25% para culturas anuais, em relação aos fosfatos solúveis em água, nos primeiros anos depois da aplicação (Tabela 20).

Tabela 20. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) de fontes de P avaliadas em um latossolo argiloso, com culturas anuais por cinco anos seguidas de capim Andropogon por três anos, na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, tendo como referência o superfosfato triplo.

Fonte de P	IEA (%)	
	Culturas anuais	Andropogon
Patos (MG)	45	81
Araxá (MG)	27	69
Catalão (GO)	8	36
Abaeté (BA)	21	86

Fonte: GOEDERT & LOBATO (1984).

Para as pastagens, com espécies tolerantes à acidez em solos mais ácidos, a eficiência também é muito baixa no primeiro ano, evoluindo, em geral, para 35% a 85% (em relação aos fosfatos solúveis) nos anos subseqüentes (Tabela 20).

Os fosfatos parcialmente solubilizados com ácido sulfúrico e produzidos a partir de concentrados fosfáticos nacionais (rocha fosfática beneficiada) têm aproximadamente 50% do P total solúvel em CNA.

Testes efetuados com esses produtos no Cerrado por GOEDERT et al. (1986a) e em outras regiões mostraram que sua eficiência agronômica a médio prazo (quatro anos) foi de aproximadamente 50% em relação ao superfosfato, ou seja, apenas a fração solúvel em CNA foi aproveitada pelas culturas anuais.

Os termofosfatos e os produtos à base de fosfato bicálcico têm mais de 90% do P total solúvel em AC e em CNA, mas são insolúveis em água. O termofosfato magnesiano fundido, quando aplicado na forma finamente moída, dissolve-se rapidamente no solo e apresenta eficiência agronômica equivalente aos fosfatos solúveis em água. Mostra, ainda, efeito corretivo da acidez quando utilizado em doses elevadas ou continuamente e é fonte de magnésio e silício; esse último não é essencial às plantas, mas pode ser benéfico para algumas gramíneas, como o arroz e a cana-de-açúcar.

A granulação de produtos de baixa solubilidade em água resulta em dissolução mais lenta no solo e redução na eficiência agronômica no ano da aplicação, comparando-se à forma finamente moída. A aração e a gradagem homogêneas com o solo a fração não dissolvida dos grânulos aplicados no cultivo anterior, aumentando o efeito residual no ano subseqüente em relação à ausência de preparo do solo. De maneira geral, para serem eficientemente utilizados na forma granulada, os fertilizantes solúveis em CNA ou em AC devem apresentar solubilidade em água de, no mínimo, 60%.

Os fosfatos naturais sedimentares de alta reatividade (FNR), como de Carolina do Norte, Gafsa e outros, vêm sendo importados nos últimos anos (SOUSA et al., 1999). O fosfato de Gafsa já foi comercializado no Brasil, principalmente na década de 70, na forma finamente moída. Testes com algumas culturas anuais em várias regiões mostraram que sua eficiência, quando aplicado a lanço e incorporado em solos com pH em água inferior a 6,0, é similar à dos fosfatos solúveis em água já no ano da aplicação. Atualmente, esses produtos são comercializados na forma não-moída, o que facilita sua aplicação, mas resulta em menor eficiência agronômica para culturas anuais no primeiro ano.

O fosfato de Carolina do Norte já foi avaliado em solo de Cerrado com a cultura da soja (REIN et al., 1994). Aplicado apenas no primeiro ano, a lanço e incorporado com aração e gradagem, esse produto apresentou eficiência agronômica de 63% no primeiro cultivo e de 138% no segundo em relação ao superfosfato aplicado da mesma forma. Os rendimentos acumulados nos dois cultivos, obtidos dessas duas fontes de P, foram semelhantes, o que mostra seu bom potencial para adubação corretiva a lanço. Isso poderá ocorrer desde que seus preços sejam competitivos com os fertilizantes tradicionalmente utilizados. Para pastagens, esses fosfatos de alta reatividade têm apresentado eficiência agronômica inicial superior à obtida com culturas anuais (Tabela 21).

Tabela 21. Índice de Eficiência Agronômica (IEA) para três fosfatos naturais reativos obtidos com gramíneas forrageiras na Região do Cerrado em um período de três anos, independentemente da dose de fósforo aplicada.

Fosfato	IEA no ano (%)		
	1º ano	2º ano	3º ano
Arad ¹	69	102	101
Carolina do Norte ¹	86	116	128
Gafsa ²	103	100	88

Fontes: ¹BONO & MACEDO (1998), ²LOBATO et al. (1999).

A aplicação do FNR localizada na linha de semeadura resulta em significativa redução na eficiência agronômica inicial, pois a dissolução de produtos de baixa solubilidade depende do maior contato com o solo, o que ocorre na aplicação a lanço com incorporação (Tabela 3). Desse modo, a utilização desses produtos na linha de semeadura pode ser recomendada na adubação de manutenção apenas para áreas já com elevada disponibilidade de P. O preparo do solo, homogêneo o produto aplicado na linha de semeadura no cultivo anterior, favorece o efeito residual.

Embora ainda não se tenham resultados de pesquisa na região, a expectativa é de que a eficiência dos FNR seja menor em solos que tenham recebido excesso de calcário, apresentando pH em água acima de 6,0 e em solos arenosos.

Um aspecto que deve ser considerado na utilização dos fosfatos reativos é a análise de P no solo. No primeiro ano, depois da aplicação desses produtos, o extrator Mehlich 1, utilizado na maioria dos laboratórios da região, superestima a disponibilidade de P, pois solubiliza parte dele ainda não dissolvida no solo, resultando em teores mais altos. Esse problema desaparece quando se completa a dissolução, o que ocorre já a partir do segundo ano, ou no máximo no terceiro ano, após a aplicação desses produtos a lanço com incorporação. Com os fosfatos naturais brasileiros de baixa reatividade e os fosfatos parcialmente solubilizados produzidos de concentrados fosfáticos nacionais esse problema persiste por muitos anos, principalmente quando são utilizadas doses elevadas de P.

Para áreas adubadas com FNR recomenda-se fazer análise do solo e interpretação dos resultados usando o método da resina (Tabela 8).

8. EFEITO RESIDUAL

Os adubos fosfatados adicionados ao solo, além do efeito imediato sobre a cultura que se segue à adubação, têm efeito residual nas culturas subseqüentes. Os decréscimos no efeito da adubação

fosfatada, com o tempo, resultam da interação de vários fatores, tais como: tipo de solo, fonte, dose e método de aplicação do fertilizante fosfatado, sistema de preparo do solo e seqüência de cultivos.

O efeito residual de P pode ser avaliado anualmente, conduzindo-se experimentos em áreas adjacentes para determinar a curva de resposta (aplicação recente), obtendo-se por meio dessas curvas a quantidade de P equivalente aos tratamentos residuais. Outra maneira de avaliar o efeito residual do P aplicado ao solo é com cultivos sucessivos da área onde foram aplicados os tratamentos, avaliando-se, além da produção de grãos e/ou de matéria seca, também o teor de P no material que está sendo exportado da área.

SOUSA et al. (1987b) avaliaram o efeito residual do superfosfato triplo em duas doses de P (200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), com duas granulações (pó, menor que 0,84 mm de diâmetro; grão, em torno de 3 mm de diâmetro), em um latossolo com textura muito argilosa, por um período de seis anos. Essas doses foram aplicadas a lanço, antes do primeiro cultivo, e incorporadas ao solo com arado de disco e grade niveladora. Antes do segundo cultivo estabeleceram-se dois sistemas para trabalhar o solo: sem preparo e convencional (uma aração e uma gradagem). A cultura-teste foi a soja. O efeito residual dos tratamentos foi estimado a partir de curvas de produção, em função de doses do superfosfato triplo granulado estabelecidas a cada ano em uma nova área adjacente ao experimento.

O P aplicado no primeiro cultivo apresentou efeito residual sobre o rendimento de grãos de soja em todos os tratamentos. Houve efeito de doses nas produções dos seis cultivos de soja e a granulação do superfosfato triplo só foi significativa nos quatro últimos cultivos. O efeito do sistema de preparo foi significativo nos três cultivos subseqüentes ao primeiro. Houve interação entre dose e preparo do solo no terceiro e no quarto cultivos e interação entre granulação do superfosfato triplo e do preparo do solo nos três cultivos subseqüentes ao primeiro. Os resultados foram transformados, sendo utilizado para o valor residual do fertilizante (VRF) o modelo:

$$\text{VRF} = a(a + t)^{-1}$$

no qual:

a = constante

t = tempo (anos).

Na Figura 6 são apresentados os resultados da interação entre dose de superfosfato triplo e preparo do solo. Observa-se que a dose de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ apresentou maior efeito residual do que a dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sistema de preparo convencional, enquanto no sistema sem preparo do solo essas doses apresentaram efeitos residuais semelhantes. No sistema de preparo convencional entende-se que o menor efeito residual da dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ em relação à de 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ está associado às reações de insolubilização do P proporcionalmente maiores, intensificadas com o preparo do solo, bem como à maior retirada pelos cultivos, fator menos importante e que se faz sentir com maior intensidade na menor dose. No sistema sem preparo, a diferença de extração pelos cultivos parece não afetar tanto e, devido ao fato de o solo não ser revolvido, parece que as reações de insolubilização de P têm intensidades semelhantes.

Com os resultados da interação entre granulação do superfosfato triplo e sistema de preparo do solo (Figura 7) observa-se que a granulação aumentou o efeito residual do superfosfato triplo no sistema de preparo convencional, enquanto no sistema sem preparo não houve efeito deste parâmetro.

Quando fontes de P ricas em fosfato monocálcico, como o superfosfato triplo, são aplicadas ao solo, aproximadamente 25%

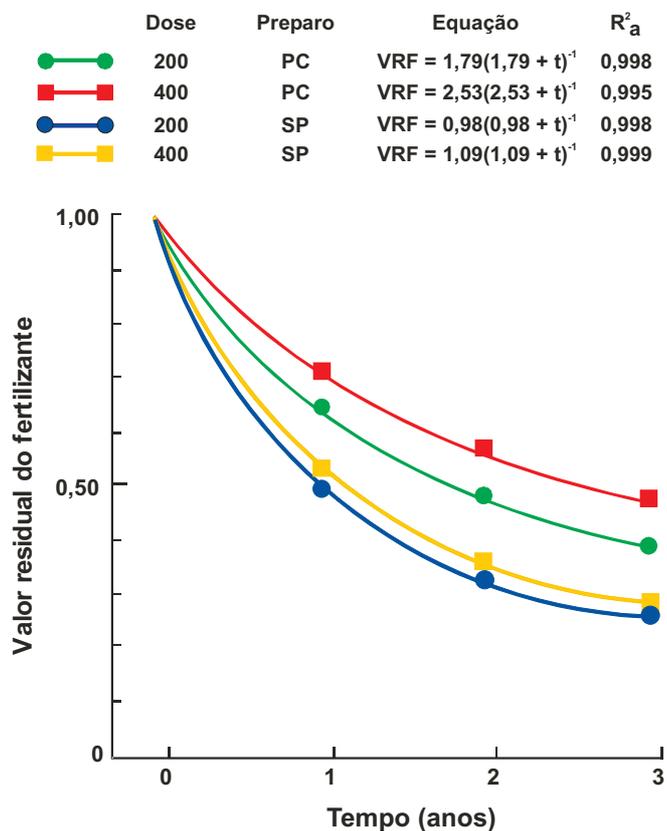


Figura 6. Valor residual do fertilizante (VRF) para duas doses de fósforo (200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅), em dois sistemas de preparo do solo (convencional – PC e sem preparo – SP), em função do tempo (SOUSA et al., 1987b).

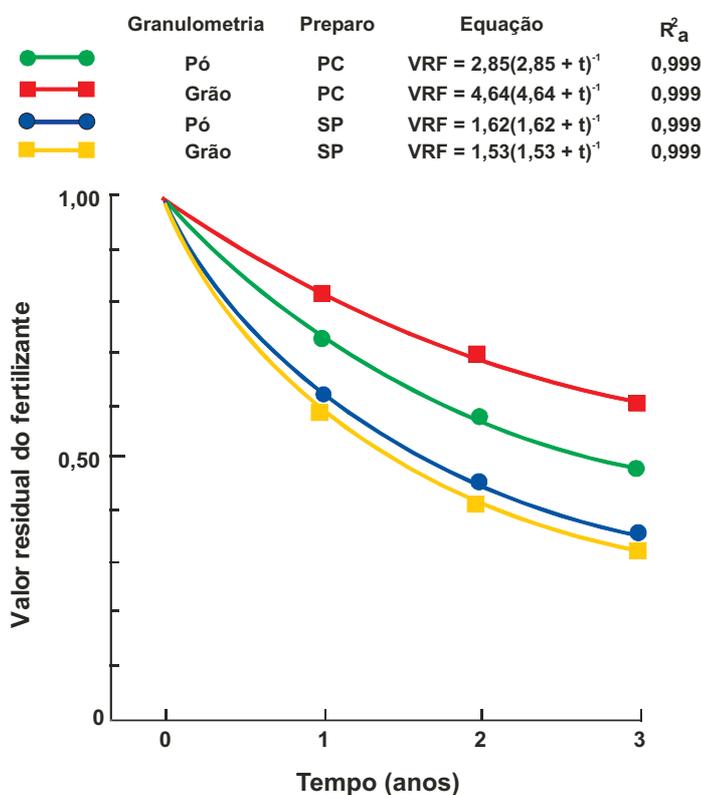


Figura 7. Valor residual do fertilizante (VRF) para duas granulações do superfosfato triplo (pó e grão), em dois sistemas de preparo do solo (convencional – PC e sem preparo – SP), em função do tempo (SOUSA et al., 1987b).

do P é insolubilizado na região do grânulo como fosfato bicálcico, que é pouco eficiente quando localizado (SOUSA & VOLKWEISS, 1987). Ao se preparar o solo com arações e gradagens propicia-se a distribuição desse composto, aumentando sua eficiência, o que pode explicar o maior efeito residual do superfosfato triplo granulado no sistema de preparo convencional. Além disso, há menor contato com sítios de adsorção de P no solo quando se utiliza o granulado em relação ao pó.

O preparo anual estaria proporcionando melhor distribuição de P no volume do solo e, assim, melhor condição de absorção de P pelas plantas, fato esse mais importante do que o “prejuízo” da maior oportunidade de adsorção de P pelo solo com essa prática.

Foi realizada uma tentativa para quantificar o aumento do efeito residual propiciado na dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ do superfosfato triplo granulado quando o sistema de preparo do solo foi o convencional. Nesse caso obteve-se aumento de 340 kg ha⁻¹ ano⁻¹ na produção de grãos, em comparação com o sistema sem preparo do solo, o que corresponderia à aplicação de 31 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ nos três cultivos subsequentes ao primeiro.

De maneira geral, o valor residual de fertilizantes fosfatados solúveis em água (em relação ao efeito imediato no ano da aplicação) é de 60%, 45%, 35%, 15% e 5%, respectivamente, após um, dois, três, quatro e cinco anos da aplicação do fertilizante ao solo (SOUSA et al., 1987b). Isso indica que, caso se utilize a adubação corretiva de P, essa deve ser considerada como investimento e amortizada no período de cinco anos, nas proporções de 40%, 25%, 20%, 10% e 5% após um, dois, três, quatro e cinco anos de aplicação do fertilizante fosfatado, respectivamente.

A avaliação do efeito residual de P, feita com a obtenção de uma curva de resposta a esse nutriente, a cada ano, é muito dispendiosa e o mais comum é o cultivo da área por anos sucessivos para avaliar o efeito de doses, modos de aplicação, sistemas de cultivo, fontes de P, dentre outros.

O efeito residual de fontes de P que apresentam solubilidade muito baixa, como a dos fosfatos naturais brasileiros, melhora até o terceiro ano depois de sua aplicação no solo, decrescendo a partir desse período; isso se a área estiver sendo cultivada com preparo convencional (aração e gradagem). Em experimento conduzido no campo, em um latossolo muito argiloso no qual foram aplicados 800 kg ha⁻¹ de P₂O₅ utilizando-se o fosfato natural de Patos de Minas como fonte de P, em dois sistemas de preparo de solo, por um período de seis anos, SOUSA et al. (dados não publicados) observaram que na área sem preparo do solo a produção média de soja foi de 1.156 kg ha⁻¹ de grãos, enquanto na área com sistema de preparo convencional a produção média foi de 1.735 kg ha⁻¹ de grãos. Conclui-se que a dissolução dessas fontes de P para cultivos anuais é inferior em sistemas em que o solo não é revolvido, produzindo 50% menos grãos de soja do que no sistema de preparo convencional.

Se a fonte de P for um FNR, então o efeito residual é semelhante ao do superfosfato triplo, como se observa pelos dados da Tabela 22. Os FNR farelados apresentam eficiência em torno de 55% por ocasião do primeiro cultivo para culturas anuais e maior do que 85% a partir do segundo cultivo.

Em aplicações anuais, os FNR farelados têm a eficiência afetada pela disponibilidade de P e pelo sistema de preparo do solo. Assim, em solos com disponibilidade de P muito baixa, a melhor eficiência dessas fontes é obtida no sistema de preparo convencional do solo com aplicações feitas a lanço e incorporadas (Tabela 3). Em solos com disponibilidade de P adequada, essas fontes apresentam

comportamento semelhante ao do superfosfato triplo, aplicadas a lanço ou no sulco de semeadura, no sistema de plantio direto ou no sistema de preparo convencional (Tabela 4).

Tabela 22. Fósforo total exportado por grãos de soja, colhidos em cinco cultivos, em função de seis fontes de fósforo aplicadas ao solo na dose de 240 kg ha⁻¹ de P₂O₅ por ocasião do primeiro cultivo, em sistema convencional, em um latossolo argiloso.

Fonte de P	P exportado	P recuperado
	kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	%
Testemunha sem P	9	
Superfosfato triplo	95	36
Argélia	93	35
Marrocos	96	36
Arad	91	34
Gafsa	102	39
Carolina do Norte	102	39

Fonte: SOUSA et al. (dados não publicados).

Na Tabela 23 verifica-se que em cinco cultivos com soja foram recuperados de 27% a 46% do P aplicado ao solo como superfosfato triplo por ocasião do primeiro cultivo com sistema de preparo convencional do solo. A maior taxa de recuperação foi na menor dose de P aplicada ao solo.

Tabela 23. Fósforo total exportado por grãos de soja, colhidos em cinco cultivos, em função de doses de fósforo aplicadas ao solo por ocasião do primeiro cultivo, em sistema convencional, em um latossolo argiloso.

Dose de P	P exportado	P recuperado
----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		%
0	9	
120	64	46
240	96	36
480	140	27

Fonte: SOUSA et al. (dados não publicados).

Em ensaios com maior número de cultivos com a cultura do milho foram recuperados 35% a 62% do P aplicado como superfosfato simples, dependendo da dose e do modo de aplicação (Tabela 24). Mais uma vez, a menor taxa de recuperação ocorreu na maior dose de P aplicado ao solo. A dose de 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅, parcelada em quatro vezes, aplicada no sulco de semeadura, propiciou recuperação de 12% a mais de P quando comparada à mesma dose aplicada de uma só vez a lanço por ocasião do primeiro cultivo; já para a dose de 640 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o parcelamento aumentou a recuperação em 5%, bem inferior à dose mais baixa.

Outra prática que resulta em aumento da recuperação do P adicionado ao solo é a rotação de culturas incluindo espécies com alta eficiência em extrair P. Um exemplo é a composição de sistemas de cultivos anuais com pastagens.

Na Tabela 25 é apresentado o índice de recuperação do P aplicado (quantidade total de P absorvida e exportada em relação à aplicada ao solo, descontando-se o P absorvido do solo sem

Tabela 24. Produção acumulada e fósforo recuperado em 13 colheitas de milho em um latossolo argiloso, com doses e opções de aplicação do superfosfato simples.

Modo de aplicação		P total aplicado	Produção total de grãos	P recuperado
A lanço	No sulco			
----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----			t ha ⁻¹	%
160	0	160	17,3	62
320	0	320	28,1	49
640	0	640	43,8	45
1.280	0	1.280	66,1	35
0	80 (x 4)	320	31,3	55
0	160 (x 4)	640	46,0	47
320	80 (x 4)	640	45,7	47

Fonte: LOBATO et al. (dados não publicados).

Tabela 25. Fósforo recuperado em quatro doses aplicadas a lanço como superfosfato simples, por ocasião do primeiro cultivo da área, em sistema de cultivos anuais e sistema de cultivos anuais integrado com *Brachiaria humidicola*, depois de um período de 17 anos, em um latossolo muito argiloso.

Fósforo aplicado	Fósforo recuperado	
	Anuais ¹	Anuais e capim ²
kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅	----- % -----	
100	38	69
200	37	67
400	34	57
800	37	52

¹ A área foi cultivada por 10 anos com soja, seguida de um plantio com milho e três ciclos da seqüência milho-soja.

² A área foi cultivada por dois anos com soja, seguida de nove anos com *Brachiaria humidicola* mais dois anos com soja e dois ciclos da seqüência milho-soja.

Fonte: SOUSA et al. (1997).

adubação fosfatada). Em uma área plantada exclusivamente com culturas anuais por 17 anos obteve-se 36%, em média, ao passo que naquela onde se introduziu a pastagem, a recuperação média foi de 61%, ou seja, 69% a mais do que no sistema composto só de culturas anuais. Esse ensaio foi conduzido por mais cinco anos, totalizando 22 anos, atingindo-se a recuperação de P de até 85% para a dose de 100 kg ha⁻¹ de P₂O₅, aplicada por ocasião do primeiro cultivo, no sistema de cultivos anuais e com capim, comparado a 44% no sistema só de culturas anuais, nessa mesma dose (SOUSA et al., dados não publicados).

9. AVALIAÇÃO ECONÔMICA

Do ponto de vista econômico, há diferentes opções de adubação fosfatada, como pode ser visto na Tabela 26. Na análise dos dados acumulados em 10 anos com a cultura da soja demonstrou-se que a aplicação de 50 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ no sulco de semeadura (adubação apenas de manutenção) resultou, para todo o período, em margem bruta negativa em uma relação benefício/custo de 0,97; isso significa que para cada unidade monetária

Tabela 26. Margem bruta e relação benefício/custo na cultura de soja com três opções de adubação fosfatada, no total de 10 cultivos sucessivos.

Dose de fósforo		Margem bruta	Benefício/custo
A lanço (1º ano)	No sulco (anual)		
----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----		R\$ ha ⁻¹	
0	50	- 165,46	0,97
0	100	492,85	1,07
200	50	820,74	1,14

Fonte: LOBATO et al. (1995).

despendida o retorno ao longo de 10 anos foi inferior ao aplicado. Por sua vez, com a aplicação de 100 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de P₂O₅ no sulco de semeadura (adubação de manutenção e corretiva gradual) obteve-se margem bruta positiva e relação benefício/custo de 1,07. Finalmente, quando se fez a adubação corretiva total a lanço com 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅, seguida de adubações anuais de manutenção com 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no sulco, observou-se maior margem bruta, com relação benefício/custo de 1,14. Deve ficar entendido que essas avaliações econômicas são realizadas para determinada relação entre os preços da soja e do P. Toda vez que essa relação de preços sofrer mudanças substanciais pode haver diferenças econômicas significativas entre as opções de correção da fertilidade dos solos do Cerrado. Na situação atual, na presença de fatores não impeditivos ao uso de capital, essa última opção demonstrou ser a melhor.

Outro aspecto importante a ser observado na tomada de decisão, a respeito das opções de correção dos solos, está relacionado ao ponto de nivelamento da empresa, ou seja, ao momento em que as receitas se igualam às despesas e passa-se a trabalhar com superávits. Na Figura 8 observa-se que com a adubação apenas de manutenção só se atinge esse ponto depois de seis ou sete anos, ao passo que com a adubação corretiva a lanço mais a de manutenção o ponto de nivelamento acontece já no terceiro ano.

A adubação corretiva gradual não aparece na figura, mas seria uma situação intermediária entre esses extremos. A taxa de retorno negativa no quinto ano obtida com a adubação corretiva a lanço teve como causa uma acentuada estiagem.

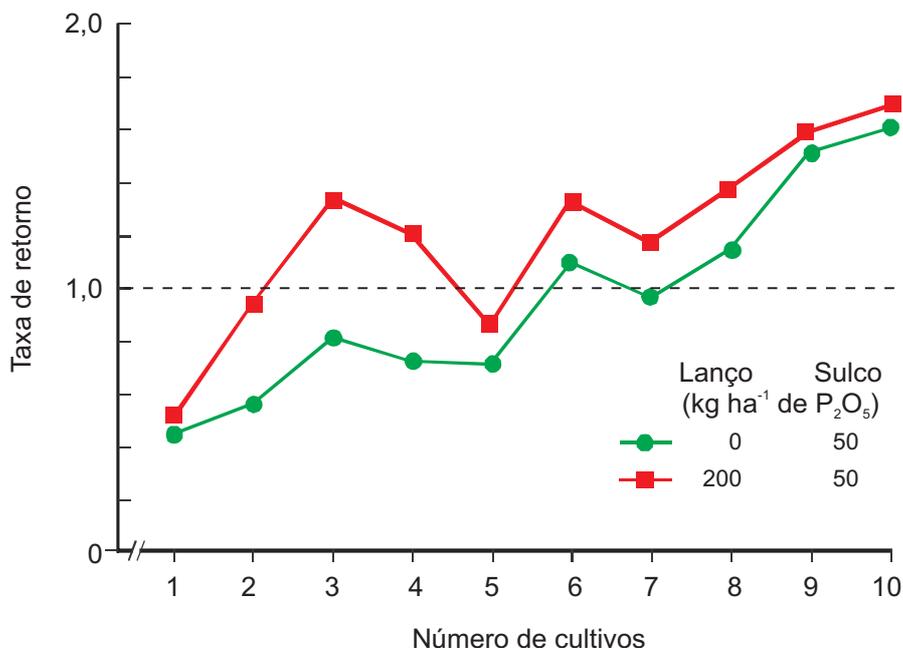


Figura 8. Ponto de nivelamento para a cultura da soja em solo de Cerrado com duas opções de adubação fosfatada (LOBATO et al., 1995).

A adubação corretiva gradual tem sido a mais utilizada por agricultores da região do Cerrado. Isso pode estar associado à menor disponibilidade de recursos financeiros ou, possivelmente, à falta de planejamento do sistema agrícola.

A escolha de uma opção de adubação deve estar associada ao planejamento da propriedade. É muito freqüente o agricultor só planejar o que vai fazer no próximo ano agrícola, o denominado plano anual de trabalho, sem se preocupar com os anos seguintes.

Um exemplo da importância do planejamento agrícola com a necessária visão a médio e longo prazos pode ser visto nos dados contidos na Tabela 27 (SOUSA & LOBATO, 1988). As recomendações ali observadas resultaram da análise econômica elaborada com dados de produção de soja obtidos de dois experimentos de longa duração em que se estudaram os efeitos de doses e os modos de aplicação de fosfato em dois solos argilosos. Os seguintes pressupostos foram considerados para essa análise: a adubação de manutenção para a cultura da soja é de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅; adubações fosfatadas variando entre 40 e 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅; e custo de oportunidade de 20%, isto é, caso não se gastasse com fosfato, o melhor investimento alternativo para o produtor renderia 20%. Nessa análise foram computados juros de investimento para o efeito residual da adubação fosfatada.

Tabela 27. Recomendação de adubação fosfatada para a cultura da soja visando o melhor retorno econômico em função do tempo considerado no planejamento da propriedade.

Anos	Adubação para um horizonte de planejamento de (anos)			
	1	2	3	5
	----- kg ha ⁻¹ de P ₂ O ₅ -----			
1º	40	78	128	197
2º	-	40	40	51
3º	-	-	40	40
4º	-	-	-	40
5º	-	-	-	40

Fonte: Adaptada de SOUSA & LOBATO (1988).

Caso a recomendação fosse feita com a visão de apenas um ano, a dose a ser aplicada seria de apenas 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Com um horizonte de planejamento de três anos, o melhor seria a aplicação de 128 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no primeiro ano e, nos demais, apenas a adubação de manutenção de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅. Com a visão de um período de cinco anos, o melhor seria a aplicação de 197 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no primeiro ano, de 51 kg ha⁻¹ de P₂O₅ no segundo ano e de 40 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nos três anos subsequentes.

10. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Há pouco mais de três décadas, quando a região do Cerrado passou a merecer mais atenção de pesquisadores estudando a possibilidade da sua inserção no processo de produção agrícola, os indicadores em relação a P não eram dos mais animadores.

Com base na química de solos, em estudos de laboratório e com a inexistência de estudos de longa duração com plantas no campo, as conclusões de vários pesquisadores eram bastante pessimistas quanto à viabilidade econômica de se cultivar os latossolos predominantes nas condições topograficamente mais favoráveis da região. Sua alta capacidade de “fixação” de P demandaria quantidades muito elevadas de adubos fosfatados para se ter o P em solução necessário para a produção agrícola.

Durante anos tem-se falado, e ainda é voz corrente, sobre a reduzida recuperação do P aplicado em latossolos do Cerrado.

Em ensaios de longa duração no campo, os quais infelizmente são poucos e tendem a desaparecer com a ânsia de obtenção de resultados a curto prazo, tem-se demonstrado que, com o manejo adequado da fonte de P, do modo de aplicação, do sistema de preparo do solo e das espécies de plantas cultivadas pode-se recuperar, se não todo o P aplicado, algo muito próximo disso.

11. REFERÊNCIAS

ALVAREZ V.V.H.; FONSECA, D.M. Definição de doses de fósforo para a determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios de casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 14, n. 1, p. 49-55, 1990.

ALVAREZ V.V.H.; DIAS, L.E.; OLIVEIRA, J.A. de. **Determinação do fósforo remanescente (P-rem)**. In: REUNIÃO DO PROGRAMA DE ANÁLISE DA QUALIDADE DOS LABORATÓRIOS DE FERTILIDADE, 2., Rio de Janeiro. Rio de Janeiro: [s.n.], 1997. Mimeografado.

BONO, J.A.M.; MACEDO, M.C. M. Índice de eficiência agrônômica de três fontes de fósforo no estabelecimento e manutenção de pastagem de *B. brizantha* cv. Marandu. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 23.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 7.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 5.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 2., 1998, Caxambu, FertBio 98. **Resumos...** Caxambu: UFLA, 1998. p. 555.

EMBRAPA. Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados. **Relatório técnico anual do Centro de Pesquisa Agropecuária dos Cerrados 1975-1976**. Planaltina, 1976. 150p.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Avaliação agrônômica de fosfatos em solo de Cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 8, n. 1, p. 97-102, 1984.

GOEDERT, W.J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfatos em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 15, n. 3, p. 311-318, 1980.

GOEDERT, W.J.; REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. de. Eficiência agrônômica de fosfatos parcialmente acidulados e termofosfatos em solo de cerrado. In: REUNIAO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO, 17., Londrina, 1986. **Resumos...** Londrina: SBCS/EMBRAPA-CNPSO/IAPAR, 1986a. p. 31.

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Fósforo. In: GOEDERT, W.J. (Ed.). **Solos dos cerrados: tecnologias e estratégias de manejo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC; São Paulo: Nobel, 1986b. p. 129-166.

LOBATO, E.; SOUSA, D.M.G. de; SCOLARI, D.D.G. Manejo da fertilidade do solo dos cerrados visando a máxima eficiência produtiva. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 7., Brasília, 1989. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1995. p. 35-56.

LOBATO, E.; SOARES, W.V.; SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para estabelecimento de *Brachiaria decumbens* num Latossolo Vermelho Escuro do Distrito Federal. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. (CD-ROM).

REIN, T.A.; SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. Eficiência agrônômica do fosfato natural da Carolina do Norte em solo de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DE SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 21., Petrolina, 1994. **Anais...** Petrolina: SBCS: EMBRAPA-CPATSA, 1994. p. 38-40.

SANO, S.M.; SOUSA, D.M.G. de; WARNES, A. Efeito de diferentes culturas sobre micorrizas vesículo-arbusculares indígenas e produção de sorgo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 22., Recife, 1989. **Programa e resumos...** Recife: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1989. p.143-144.

SOUSA, D.M.G. de. **Adubação e reações de fósforo no solo**. Trabalho apresentado no curso de atualização em fertilidade do solo, 17-21 de maio de 1982, Campo Grande. Promoção: AEAMS, ANDA, INSTITUTO DA POTASSA, FUFMS. Mimeografado.

SOUSA, D.M.G.; LOBATO, E. Adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 6., Brasília, 1982. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1988. p.33-60.

SOUSA, D.M.G. de; VOLKWEISS, S.J. Reação do superfosfato triplo em grânulos com solos. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 11, n. 2, p. 133-140, 1987.

SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E.; REIN, T.A. Adubação com fósforo. In: SOUSA, D.M.G. de; LOBATO, E. (Ed.). **Cerrado: correção do solo e adubação**. Planaltina, DF: EMBRAPA Cerrados, 2002. p. 147-168.

SOUSA, D.M.G. de; MIRANDA, L.N. de; LOBATO, E. **Interpretação de análise de terra e recomendação de adubos fosfatados para culturas anuais nos Cerrados**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1987a. 7 p. (EMBRAPA-CPAC. Comunicado Técnico, 51).

SOUSA, D.M.G. de; VOLKWEISS, S.J.; CASTRO, L.H.R. **Efeito residual do superfosfato triplo em função da granulação e dose e do sistema de preparo do solo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1987b. 5 p. (EMBRAPA-CPAC. Pesquisa em Andamento, 21).

SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A.; LOBATO, E.; SOARES, W. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na região dos cerrados. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, 1999. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. (CD-ROM).

12. BIBLIOGRAFIA

GOEDERT, W.J.; SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A. **Princípios metodológicos para avaliação agrônômica de fontes de fósforo**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC/PETROFERTIL, 1986. 23 p. (EMBRAPA-CPAC, Documentos, 22).

LINS, I.D. Improvement of soil test interpretations for phosphorus and zinc. 1987. 317 f. Dissertation (Ph.D) - North Carolina State University, Raleigh.

LOBATO, E. Adubação fosfatada em solos da Região Centro-Oeste. In: OLIVEIRA, J. de; LOURENÇO, S.; GOEDERT, W.J. (Ed.). **Adubação fosfatada no Brasil**. Brasília: EMBRAPA-DID, 1982. p. 201-239.

SANZONOWICZ, C.; LOBATO, E.; GOEDERT, W.J. Efeito residual da calagem e de fontes de fósforo numa pastagem estabelecida em solo de Cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 22, n. 3, p. 233-243, 1987.

SOARES, W.S.; LOBATO, E.; SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A. Avaliação do fosfato natural de Gafsa para recuperação de pastagem degradada em latossolo vermelho-escuro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 35, n. 4, p. 819-825, abr. 2000.

SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica do fosfato natural de Gafsa em um Latossolo de Cerrado com a cultura da soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., Brasília, DF, 1999. **Anais...** Planaltina: EMBRAPA Cerrados, 1999. (CD-ROM).

SOUSA, D.M.G. de; REIN, T.A.; LOBATO, E. Eficiência do fosfato de Arad natural e parcialmente acidulado em um latossolo de Cerrado. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 25.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 8.; SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 6.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 3., Santa Maria, 2000. **Fertbio 2000: biodinâmica do solo**. [S.l.: s.n.], 2000. (CD-ROM).

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, v. 74, n. 3, p. 462-468, 1982.