



XXXIII Congresso Brasileiro de Ciência do Solo

Solos nos biomas brasileiros: sustentabilidade e mudanças climáticas
31 de julho à 05 de agosto - Center Convention - Uberlândia/Minas Gerais

MÉTODOS PARA ESTIMATIVA DA DISPONIBILIDADE DE FÓSFORO EM UM LATOSSOLO COM DIFERENTES HISTÓRICOS DE USO E DOSES DE FÓSFORO, CULTIVADO COM FEIJOEIRO E BRAQUIARIA

Leandro Flavio Carneiro⁽¹⁾; **Álvaro Vilela de Resende**⁽²⁾; **Antônio Eduardo Furtini Neto**⁽³⁾; **Zosé Zilton Lopes Santos**⁽⁴⁾; **Lucas Albert Ribeiro do Valle**⁽⁵⁾; **Daniella Nogueira Moraes Carneiro**⁽⁶⁾; **Rafael Costa Leite**⁽⁷⁾; **Christian Rones Wruck de Souza Osório**⁽⁷⁾.

⁽¹⁾ Professor Efetivo da Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul; UEMS, Rodovia MS 306 Km 6 Zona Rural, Unidade Universitária de Cassilândia, CEP 79540-000 Cassilândia (MS). E-mail: lcarneiro@uems.br; ⁽²⁾ Pesquisador da Embrapa Milho e Sorgo. Rod. MG 424 km 45, Caixa Postal 285. CEP 35701-970 Sete Lagoas (MG). ⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Ciências do Solo da Universidade Federal de Lavras – UFLA. Caixa Postal: 3037, CEP 37200 – 000 Lavras (MG). Bolsista do CNPq. ⁽⁴⁾ Professor Adjunto da Universidade Federal do Amazonas – UFAM. Av. Gen. Rodrigo Octávio Jordão Ramos 3000, Campus Universitário. Reitoria. Bairro Coroado I, CEP 69077-000 Manaus (AM). ⁽⁵⁾ Pós Graduando ;Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas;UFLA;CEP 37200-000 Lavras(MG). ⁽⁶⁾ Pós-Graduanda; Programa de Pós-graduação em Fitotecnia; UFLA; CEP 37200-000 Lavras, MG ⁽⁷⁾ Graduandos em Agronomia-UEMS, Rodovia MS 306 Km 6 Zona Rural, Unidade Universitária de Cassilândia, CEP 79540-000, Cassilândia (MS).

Resumo – A resposta das culturas à adição de fósforo (P) no sistema de plantio direto tem sido relativamente pequena. Isso, provavelmente, pode acontecer devido à ineficiência dos métodos de rotina em detectar a disponibilidade das formas lábeis de P no solo e à dificuldade de interpretação do nível de resposta a esse nutriente em uma rotação ou seqüência de culturas. O objetivo deste trabalho foi avaliar a disponibilidade de P com diferentes extratores em um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico com diferentes históricos de uso sob doses de P. Foram coletadas amostras (0-20 cm) sob condição de vegetação nativa do cerrado e condição de cultivo de um Latossolo Vermelho-Amarelo distrófico (LVAd) textura média. Utilizou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante) e, em seguida, braquiária (*Brachiaria decumbens*) como plantas teste, em vasos plásticos (4 dm³). Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4, sendo duas condições de uso anterior do solo e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³) (superfosfato triplo). Após o cultivo do feijoeiro e da braquiária e antes da aplicação dos tratamentos, determinou-se os teores de P pelos extratores resina trocadora de iões, Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1. Os extratores de fósforo foram sensíveis em mostrar o efeito da adubação fosfatada e a disponibilidade de fósforo nos solos. Os extratores de P são promissores em avaliar a disponibilidade de P, principalmente na condição de solo anteriormente não cultivado.

Palavras-Chave: extratores de fósforo; sistema de plantio direto e adubação fosfatada

INTRODUÇÃO

Existe uma variedade muito grande de métodos de extração de fósforo de solos em uso em diferentes regiões do mundo. Porém, os diferentes métodos não dão, em geral, resultados idênticos, o que dificulta

comparações. Em muitos casos, a conveniência analítica tem tido preferência sobre a eficiência do método em avaliar a disponibilidade do elemento no solo (Raij, 1991). Porém, o fato de se obterem valores diferentes entre os métodos não inviabiliza a efetividade dos extratores em medir o P disponível, pois estes extratores devem passar por um estudo de correlação (verificação da correlação entre os teores de P extraídos pelo método e a variáveis de produção das plantas), a qual é feita com muitos solos, em casa de vegetação, procurando otimizar todos os demais nutrientes nos solos e demais condições de crescimento da planta (pH, água, temperatura, etc.). Satisfeita essa fase de correlação, passa-se para uma fase de campo, onde se procura calibrar os resultados de P disponíveis com a produtividade da cultura e doses de fertilizantes fosfatado (calibração), necessárias ao crescimento ótimo ou econômico dessa cultura (Novais et al., 2007).

Os métodos de extração de fósforo podem ser classificados em várias categorias, relacionados com a natureza química das soluções extratoras. A classificação proposta por Kamprath & Watson (1980) baseia-se no princípio ativo de ânions com reação específica e natureza química das soluções extratoras. Esta classificação consiste em reunir os extratores de P do solo em quatro grupos:

1) Ação solvente de ácidos (Soluções diluídas de ácidos fortes) - As soluções usadas, de ácidos fortes diluídos, têm pH em geral de 2 a 3 e a acidez assegura a dissolução de fosfatos de cálcio. Fosfatos de ferro e alumínio também são solubilizados, porém em menor grau. A ordem de maior solubilidade em extratores ácidos é P-Ca > P-Al > P-Fe. Neste grupo enquadram-se os extratores H₂SO₄ 0,05N e Mehlich.

2) Substituição de ânions (Soluções diluídas de ácidos fracos) - Os fosfatos adsorvidos na superfície das partículas do solo podem ser substituídos por outros ânions, como sulfato, bicarbonato, citrato, lactato e acetato, através de troca de ligantes. Esses ânions, quando presentes em soluções ácidas, formam complexos com cátions polivalentes liberando o P adsorvido no solo, além de

reduzir a re-adsorção de P. Neste grupo enquadra-se um dos primeiros extratores usados na determinação do fósforo do solo, a solução ácido cítrico 1%.

3) Complexação de cátions combinados com P (Soluções diluídas de ácidos fortes mais íons complexantes) - O íon mais usado é o fluoreto (F⁻), muito eficiente na complexação de alumínio, liberando, assim, o fósforo ligado ao metal. A solução mais empregada é a mistura do HCl com NH₄F; as concentrações do ácido variam de 0,0025 a 0,1N, enquanto que a concentração do NH₄F geralmente é 0,03N.

4) Hidrólise de cátions combinados com P (Soluções alcalinas tamponadas) - Em soluções de pH mais elevado, o fósforo ligado a ferro e alumínio é liberado por hidrólise dos metais. A solução de bicarbonato de sódio a pH 8,5 é eficaz na extração de P-Al e P-Ca. A solução alcalina mais comumente empregada na extração de P é a de NaHCO₃ 0,5N a pH 8,5 preconizada para solos calcários (Olsen et al. 1954 citados por Raij, 2003). O H₂CO₃ é bastante efetivo na substituição do P adsorvido no solo e o Na reduz a atividade do cálcio na solução.

5) Resina de troca iônica - O método se baseia na extração com resina trocadora de ânions (Raij et al., 1986), proposto originalmente por Armer et al. (1955) e vem sendo utilizado em análise de rotina em inúmeros laboratórios do Brasil, podendo se enquadrar num grupo especial de resinas extratoras, por não se tratar de solução extratora.

Chama-se atenção para o fato de que, em áreas que já foram adubadas anteriormente, os efeitos do fornecimento de fósforo podem não seguir os padrões típicos das respostas normalmente verificadas nos estudos de adubação fosfatada conduzidos em solos virgens (Anghinoni, 2003). Após nova aplicação de fosfatos, a dinâmica que se estabelece entre as formas de P, bem como a biodisponibilidade do nutriente, costuma ser diferenciada, de forma que solos com certa reserva do nutriente tendem a favorecer a equiparação das respostas a distintas estratégias de manejo da adubação fosfatada.

Neste contexto, a resposta das culturas à adição de P no SPD tem sido relativamente pequena, ou seja, as culturas têm requerido doses mais baixas desse nutriente (Resende et al., 2006; Anghinoni, 2007; Rheinheimer et al., 2008). Isso, provavelmente, pode acontecer devido à ineficiência dos métodos de rotina em detectar a disponibilidade das formas orgânicas biodisponíveis de P no solo e à dificuldade de interpretação do nível de resposta a esse nutriente em uma rotação ou seqüência de culturas (Sá, 2004).

Diante dessas considerações, este trabalho tem como objetivo avaliar a viabilidade de extratores em prever as respostas do feijoeiro e da braquiaria, cultivados em Latossolos com diferentes históricos de uso e doses de fósforo.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras utilizando-se amostras de um Latossolo Vermelho-

Amarelo distrófico (LVAd) textura média (13% de argila; 18, 2,5, 0,6 e 1,7 g.kg⁻¹, respectivamente de caulinita, gibsita, hematita e goethita). As amostras do solo foram coletadas na Fazenda Alto Alegre, localizada no Município de Planaltina de Goiás-GO. As amostras foram obtidas na profundidade de 0-20 cm, sob condição de vegetação nativa do cerrado (solo adjacente) e sob condição de cultivo (solo cultivado). Este solo, cultivado com pastagens por 13 anos, culturas anuais por 5 anos (soja/milho) no SPD e novamente pastagens por mais 3 anos sem perturbação, recebeu calagem ocasional e adubação de 88 kg ha⁻¹. ano⁻¹ de P₂O₅ (soja/milho), mais adubação corretiva 650 kg ha⁻¹ com Fosfato de Gafsa (28% de P₂O₅ total) incorporado com arado de aiveca antes do cultivo de soja/milho e mais calagem ocasional.

Utilizou-se o feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Jalo Radiante) e, em seguida, braquiária (*Brachiaria decumbens*) como plantas teste, em vasos plásticos com capacidade para quatro dm³ de solo. Antes da aplicação dos tratamentos, foi feita calagem, objetivando elevar a saturação por bases para 70%. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, em esquema fatorial 2 x 4 com quatro repetições, totalizando 32 vasos. Os tratamentos foram constituídos por duas condições de uso anterior do solo (solo adjacente sob vegetação de cerrado e solo agrícola cultivado por vários anos) e quatro doses de P (0, 120, 240 e 480 mg dm⁻³), utilizando-se como fonte o superfosfato triplo.

Após a retirada das raízes do feijoeiro, através da secagem e tamisagem do solo em peneira de quatro milímetros, procedeu-se a semeadura de dez sementes de braquiária por vaso. Aos 10 DAP foram efetuados os desbastes, deixando-se quatro plantas por vaso. Foram realizados dois cortes sucessivos no início do florescimento da braquiária sem nenhuma adição de fósforo (efeito residual dos tratamentos).

Após o cultivo do feijoeiro e da braquiaria, no momento da retirada das raízes, amostras de solo de cada vaso, juntamente com as amostras de solo na condição inicial (antes da aplicação dos tratamentos), foram preparadas e em seguida foram determinados os teores de P pelos extratores resina de trocadora de íons, Mehlich-1, Mehlich-3 e Bray-1 e quantificados colorimetricamente, segundo Murphy & Riley (1962).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados dos teores de P diferiram entre os extratores nas épocas de avaliação e históricos de uso. Após incubação dos tratamentos, P-resina (P-res) e P-Mehlich-1 (P-M1) foram maiores no solo cultivado em todas as doses de P (Tabela 1) e para P-Mehlich-3 (P-M3) e P-Bray-1 (P-B1), foram maiores no solo cultivado e adjacente, respectivamente nas menores doses de P (0 e 120 mg.dm⁻³) e maiores doses de P (240 e 480 mg.dm⁻³) e nos demais tratamentos não houve diferença significativa entre os históricos de uso.

Após o cultivo do feijoeiro e da braquiaria, nota-se que os extratores não deixam claro os efeitos dos históricos nas diferentes doses de P, além de apresentarem resultados diferentes entre os extratores (Tabela 1). Para os extratores utilizados neste trabalho, independente do histórico de uso

e época de avaliação, os teores de P aumentaram de forma linear com a adubação fosfatada (Tabela 1).

É importante ressaltar que a diferença entre os teores de P extraído pelos extratores é em função das características constitutivas de cada extrator (acidez, diluição, tamponamento e compostos complexantes) e que, em princípio, nada tem a ver com a real grandeza do que a planta pode absorver, apenas correlaciona-se com a magnitude do que a planta pode acessar ou com o seu crescimento, quando a planta tem o seu crescimento como variável do P extraído (Novais et al., 2007). Portanto, há a necessidade de correlação entre o que o método extrai do nutriente do solo e o crescimento da planta.

Os coeficientes de correlação entre os teores de fósforo pelos extratores de P usados neste trabalho e componentes de produção do feijoeiro e braquiária estão apresentados na tabela 2.

Observa-se que os extratores de P apresentaram correlação positiva e altamente significativa com a produção e acúmulo de P tanto no feijoeiro quanto na braquiária, principalmente no solo adjacente (Tabela 2). No solo cultivado, a disponibilidade de P indicada pelos extratores não é tão associada às respostas das culturas. Além disso, observou-se que, embora os teores de P disponíveis sejam maiores no solo cultivado, com o incremento na adubação fosfatada, os impactos na disponibilidade de P foram mais expressivos no solo adjacente, sugerindo, portanto, em solo mais saturado em P, uma redução da dose de P nos cultivos sucessivos.

Diante da necessidade de se encontrar um extrator universal de rotina de baixo custo e facilidade operacional, os extratores usados neste trabalho se mostraram promissores em quantificar a fração lábil de P, pois observou-se altos coeficientes de correlação com as variáveis de produção das plantas ao longo do experimento.

Porém, em virtude do comportamento dos diferentes extratores sobre as formas lábeis de fósforo no solo, da necessidade de se caracterizar e identificar formas orgânicas e inorgânicas lábeis de P, da variabilidade de solos e culturas que os métodos precisam atender, das mudanças impostas nos atributos químicos, físicos e mineralógicos pelo SPD, as quais variam com o tempo, fonte, modos de aplicação, rotação de cultura e região, diante destas considerações, é clara a necessidade de mais estudos para a indicação destes extratores no processo de calibração e definição de doses econômicas para esse manejo agrícola.

CONCLUSÕES

1. Os extratores de fósforo foram sensíveis em mostrar o efeito da adubação fosfatada e a disponibilidade de fósforo nos solos.

2. Os extratores de P são promissores em avaliar a disponibilidade de P, principalmente na condição de solo anteriormente não cultivado.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG, pelo financiamento do projeto de pesquisa, no qual este experimento está incluído.

REFERÊNCIAS

- ANGHINONI, I. Fatores que interferem na eficiência da adubação fosfatada. In: SIMPÓSIO SOBRE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., 2003, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba. Piracicaba: Potafos/Anda, 2003. 1 CD-ROM.
- ANGHINONI, I. Fertilidade do solo e seu manejo em sistema de plantio direto. In: NOVAIS, R. F.; ALVAREZ V. V. H.; BARROS, N. F.; FONTES, R. L. F.; CANTARUTTI, R. B.; NEVES, J. C. L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG: SBCS, 2007. cap. 6, p. 873-928.
- FERREIRA, D. F. Análises estatísticas por meio do Sisvar para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45., 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFScar, 2000. p. 255-258.
- KAMPRATH, E.J.; WATSON, M.E. Conventional soil and tissue tests for assessing the phosphorus status of soil. In: KHASAWNEH, F.E.; SAMPLES, E.C.; KAMPRATH, E.J. The role of phosphorus in agriculture. Madson, **American Society of Agronomy**, 1980. p.433-469.
- MURPHY, J. & RILEY, J.P. A modified single solution methods for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta*, 26:31-36, 1962.
- NOVAIS, R.F.; SMYTH, T.J.; NUNES, F.N. Fósforo. In: NOVAIS, R.F.; ALVAREZ V., V.H.; BARROS, N.F.; FONTES, R.L.F.; CANTARUTTI, R.B.; NEVES, J.C.L. (Ed.). **Fertilidade do solo**. Viçosa, MG; SBCS, 2007. 471-550p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. São Paulo, Piracicaba, Ceres, Potafos, 1991. 343p.
- RESENDE, A.V.; FURINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N.; FAQUIN, V.; KIMPARA, D. I.; SANTOS, J. Z. L.; CARNEIRO, L. F. Fontes e modos de aplicação de fósforo para o milho em solo cultivado da região do cerrado. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, MG, v. 30, n. 3, p. 453-466, maio/jun. 2006.
- RHEINHEIMER, D. S.; GATIBONI, L.C.; KAMINSKI, J. Fatores que afetam a disponibilidade do fósforo e o manejo da adubação fosfatada em solos sob sistemas plantio direto. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 38, n. 2, p.576-586, mar./abr. 2008.
- SÁ, J. C. M. de. Adubação fosfatada no sistema plantio direto. In: YAMADA, T.; ABDALA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004.

TABELA 1. Teores de fósforo por diferentes extratores no Latossolo Vermelho-Amarelo com diferente histórico de uso (solo cultivado (SC) e solo adjacente (SA)) e doses de fósforo nas épocas avaliadas no experimento.

Extratores de P	Etapas ¹	Uso	P	Doses de P				Modelos ajustados	R ² (%)
			Inicial	0	120	240	480		
.....mg.dm ⁻³									
P-resina	AI	SA	2	4 b	36 b	79 b	149 b	Y = 8,7 + 0,31x**	0,99
		SC	12	13 a	51 a	95 a	164 a		
	AF	SA	2	5 a	32 a	64 a	121 b	Y = 3,96 + 0,25x**	0,99
		SC	12	5 a	32 a	66 a	129 a		
	AB	SA	2	4 b	21 a	38 a	72 b	Y = 4,03 + 0,142x**	0,99
		SC	12	10 a	20 a	39 a	83 a	Y = 5,71 + 0,155x**	0,98
P-Mehlich 1	AI	SA	3	1 b	29 b	88 b	171 b	Y = 0,24 + 0,363x**	0,99
		SC	13	11 a	39 a	91 a	181 a		
	AF	SA	3	2,4 b	27 b	58 b	127 a	Y = -1,34 + 0,26x**	0,99
		SC	13	9 a	32 a	66 a	120 b	Y = 7,25 + 0,23x**	0,99
	AB	SA	3	2,5 a	20 a	42 b	105 a	Y = 0,25 + 0,19x**	0,98
		SC	13	7 a	19 a	44 a	86 a		
P-Mehlich 3	AI	SA	4	7 b	44 b	81 a	184 a	Y = 1,3 + 0,37x**	0,99
		SC	14	25 a	77 a	82 a	178 a		
	AF	SA	4	6 b	34 a	75 a	167 a	Y = -0,78 + 0,34x**	0,99
		SC	14	11 a	36 a	74 a	147 b	Y = 6,2 + 0,3x**	0,99
	AB	SA	4	5 b	27 a	61 a	139 a	Y = -2,12 + 0,26x**	0,98
		SC	14	8 a	22 b	55 b	129 b	Y = -1,5 + 0,26x**	0,97
P-Bray 1	AI	SA	6	4 a	38 a	95 a	193 a	Y = -1,8 + 0,403x**	0,99
		SC	14	9 a	34 a	73 b	153 b		
	AF	SA	6	4 a	33 a	69 b	165 a	Y = 1,27 + 0,33x**	0,99
		SC	14	10 a	34 a	91 a	163 a		
	AB	SA	6	6 b	33 a	73 a	153 a	Y = 1,03 + 0,31x**	0,99
		SC	14	11 a	29 b	68 b	149 b	Y = 2 + 0,3x**	0,98

Médias seguidas de mesmas letras nas colunas para cada fração de P e etapa de cultivo não diferem entre si (Scott-Knott, 5%). ** = significativo a 1% , pelo teste de F. ¹ AI = após incubação dos tratamentos, 3 AF = após cultivo do feijoeiro e 4 AB = após cultivo da braquiária.

TABELA 2 Coeficientes de correlação dos teores de P pelos extratores P-Mehlich-3 (P-M3), P-Bray-1 (P-B1), Mehlich-1 (P-M1) e resina de troca iônica (P-res), extraídos antes do cultivo do feijoeiro e da braquiária, com matéria seca da parte aérea (MSPA), conteúdo de fósforo da parte aérea (CPPA) do feijoeiro e da braquiária e produção de grãos do feijoeiro (Grãos) no Latossolo Vermelho-Amarelo.

Variável	P – M3	P B1	P – M1	P res
FEIJOEIRO				
SOLO ADJACENTE				
MSPA	0,93 **	0,92 **	0,94 **	0,95 **
CPPA	0,98 **	0,98 **	0,98 **	0,97 **
Grãos	0,97 **	0,96 **	0,97 **	0,98 **
SOLO CULTIVADO				
MSPA	0,88 **	0,86 **	0,89 **	0,90 **
CPPA	0,94 **	0,92 **	0,95 **	0,94 **
Grãos	0,93 **	0,91 **	0,93 **	0,92 **
BRAQUIÁRIA				
SOLO ADJACENTE				
MSPA	0,85 **	0,86 **	0,83 **	0,89 **
CPPA	0,95 **	0,95 **	0,96 **	0,94 **
SOLO CULTIVADO				
MSPA	0,76 **	0,72 **	0,66 *	0,70 **
CPPA	0,70 **	0,72 **	0,73 **	0,68 **

** e * = significativo a 1% e a 5% de probabilidade pelo teste t, respectivamente.