



Labilidade de fósforo no solo fertilizado com fontes fosfatadas solúveis húmico-complexadas⁽¹⁾.

Wilfrand Ferney Bejarano Herrera⁽²⁾; **Paulo Sergio Pavinato**⁽³⁾ **Gabriel Barth**⁽⁴⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES.

⁽²⁾ Estudante; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; Piracicaba, São Paulo; wfbejaranoh@usp.br;

⁽³⁾ Professor; Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"; Piracicaba, São Paulo;

⁽⁴⁾ Coordenador de Pesquisa Fundação ABC; Castro – PR

RESUMO: O fósforo (P) é um dos elementos essenciais pela planta para realizar suas atividades fisiológicas, no entanto o intemperismo em solos tropicais torna este nutriente limitante, reduzindo a produção agrícola. Em consequência, há uma tendência no melhoramento da disponibilidade do P mediante o uso de fertilizantes húmico - metal - fosfato complexados, que reduzem sua fixação no solo. Esta pesquisa teve como objetivo determinar as mudanças promovidas pelo fertilizante húmico - metal - fosfato complexado nas frações do solo (P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil) ao longo de cinco ciclos de cultivo, em comparação com uma fonte de fosfato solúvel padrão. O experimento foi conduzido na cidade de Tibagi-PR em um Latossolo Vermelho amarelo. O delineamento experimental foi em blocos casualizados, em esquema fatorial 2x5, com quatro repetições usando duas fontes de fosfato (superfosfato simples "SSP", superfosfato simples com complexo húmico "SSPC") e cinco doses acumuladas ao longo de três anos (0, 110, 220, 330 e 440 kg ha⁻¹ P₂O₅). A sucessão foi: milho (2010/2011), trigo (2011), soja (2011/2012), aveia branca (2012) e soja (2012/2013). O solo foi amostrado no final da sucessão, em três camadas: 0-5; 5-10; 10-20 cm. As amostras foram sujeitas a extração sequencial de P pelo método de Hedley. Os resultados mostraram que o SSPC aumentou a fração de P lábil no solo comparado com SSP, na dose intermediária (220 kg ha⁻¹ P₂O₅). Independentemente da fonte, as doses acumuladas de P₂O₅ aumentaram as formas lábeis e não-lábeis, principalmente na camada de 0-5 cm.

Termos de indexação: disponibilidade, fracionamento de fósforo.

INTRODUÇÃO

Devido à elevada intemperização em solos tropicais, o fósforo é um dos nutrientes mais limitantes, sendo maioritariamente as formas inorgânicas com ligações altamente energéticas na fração mineral, e formas orgânicas fisicamente e quimicamente estabilizadas, resultando em baixas concentrações de fósforo com ligações fracas que pode ser liberado para a solução do solo, limitando

a produção agrícola (Gatiboni, 2003). Assim, uma prática comum na agricultura é a adição de fosfato, adubos minerais ou orgânicos, a fim de compensar as deficiências deste nutriente e atingir a produtividade desejada.

Existe uma extensa gama de fontes de fosfato no mercado, sendo o fosfato acidulado o mais utilizado, apresentando uma maior solubilidade desse elemento, aumentando assim a disponibilidade para as plantas. Embora, esta propriedade pode ser vista como uma desvantagem em solos tropicais, pois aumentando o teor de fósforo na solução do solo (P lábil), a adsorção e precipitação (P não lábil) também são aumentadas, reduzindo deste modo a concentração do fósforo ao longo tempo (Pavinato et al., 2010).

Neste contexto, existe um interesse crescente na manutenção da disponibilidade e o aumento da solubilidade de fósforo aplicado por meio do desenvolvimento de novas tecnologias, tais como a complexação húmica. Estes compostos são formados pela reação de rocha fosfática e o ácido sulfúrico, na presença de quantidades específicas de ácido húmico, resultando na formação de fosfato monocálcico ligado por oxigênio a moléculas húmicas. Assim, estes complexos (ácidos húmicos - Ca - P), reduzem a fixação de P no solo e aumentam sua disponibilidade para as plantas (Urrutia et al, 2014).

O objetivo da pesquisa é determinar as mudanças promovidas pela fertilizante fosfatado complexado com substâncias húmicas nas frações de fósforo (P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil) no perfil do solo ao longo de cinco ciclos de cultivo, em comparação com uma fonte de fosfato solúvel padrão.

MATERIAL E MÉTODOS

O delineamento experimental foi em blocos ao acaso com quatro repetições e tamanho de parcela de 5,5 x 5,0 m, totalizando uma área de 27,5 m². O experimento foi instalado com dez tratamentos compostos por duas fontes de fósforo (superfosfato simples complexado "SSPC" e superfosfato simples comercial "SSP") e cinco doses resultantes de uma fertilização acumulada de três anos (0, 110, 220, 330 e 440 kg P₂O₅ ha⁻¹) (**Tabela 1**). O fertilizante



com complexo organomineral usado no experimento, apresentada na sua formulação o complexo CSP-PI que protege o P da fixação pelos óxidos de Fe, Al e Ca, mantendo o nutriente mais disponível para as plantas (Erro et al., 2013).

As doses de P foram feitas com base nos requisitos de cada uma das culturas que faziam parte da sucessão. A sucessão utilizada foi: milho (2010/2011), trigo (2011), soja (2011/2012), aveia branca (2012) e soja (2012/2013). Depois da sucessão de cinco culturas que receberam aplicações de tratamentos de P acumulados foram coletadas amostras de solo em três camadas (0-5; 5-10; 10-20 cm). As amostras foram secas ao ar e submetidas ao fracionamento de P com metodologia proposta por Hedley et al (1982), seguida de modificações por Condon et al (1985). As diferentes frações de P foram classificadas segundo a labilidade do P que cada extrator. O P lábil foi considerado as frações de Pi extraído pela RTA e as frações de Pi e Po extraído pelo bicarbonato de sódio. O P moderadamente lábil, sendo os teores de Pi e Po extraídos pelo NaOH 0,1 mol L⁻¹ junto ao P inorgânico extraído com HCl. O fósforo não lábil, constituído pela soma do Pi e Po extraído pelo NaOH 0,5 mol L⁻¹ e o Pi e Po residual.

Dentro da mesma profundidade do solo, os dados foram submetidos à análise de variância. Os efeitos de doses de P foram ajustados aos modelos linear ou quadrático para a variável labilidade de P, em cada camada de solo e fertilizante estudado. Na ausência de interação entre as fontes e as doses, os efeitos das fontes foram comparados pelo teste t (LSD). Modelos de regressão foram ajustados pelo programa Sigma Plot[®] para avaliar o efeito das doses dentro de cada fonte. Todas as análises estatísticas foram realizadas mediante uso do programa estatístico SAS 9.2.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, a fração lábil de P foi afetada de forma significativa pelas doses aplicadas de fertilizante, independente da fonte (**Tabela 1**). Na camada superficial (0-5 cm), os maiores teores foram observados nas doses acumuladas mais altas, 330 e 440 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com valores médios de 68,2 e 72,1 mg kg⁻¹, respectivamente. Com relação às doses de 110 e 220 kg ha⁻¹ de P₂O₅, estas tiveram diferenças significativas comparadas com o controle, ressaltando assim o efeito da adição de P ao sistema no aumento da fração lábil do solo (**Tabela 1**). Resultados semelhantes também foram observados por Conte

(2001), que ao avaliarem as consequências do uso do solo e da aplicação de doses de fertilizante fosfatado no acúmulo de fósforo nas frações orgânicas e inorgânicas em um Latossolo vermelho distrófico no sistema plantio direto, observaram maiores valores de P lábil com o aumento da dose aplicada via fosfato solúvel granulado.

No presente experimento, na camada de 5-10 cm, o uso de doses crescentes de fosfato resultou em maiores concentrações de P na fração lábil. Com as doses de 330 e 440 kg ha⁻¹ de P₂O₅, os teores de P lábil aumentaram significativamente, com aumentos de 18,4 e 32,4 mg kg⁻¹ P em relação ao controle, ressaltando o maior acúmulo na dose mais alta avaliada, com um teor no solo de 58,9 mg P kg⁻¹ (**Tabela 1**). Na camada de 10-20 cm, apesar das doses apresentarem efeito significativo no aumento da fração lábil do solo, os valores médios variaram de 7,4 mg kg⁻¹ no controle, a 15,3 mg kg⁻¹ na maior dose adicionada, sendo diferenças muito baixas considerando a quantidade de P adicionado durante o experimento (**Tabela 1**). Segundo Tokura et al. (2002), as formas lábeis de P apresentaram tendência de redução com a profundidade, corroborando com o ocorrido no presente estudo.

Com relação ao P moderadamente lábil, esta fração foi afetada pela interação dos fatores, fonte e dose, sugerindo que existem diferenças entre os fertilizantes no acúmulo de P de labilidade moderada no solo, na camada de 0-5 cm. A dose acumulada de 220 kg ha⁻¹ de P₂O₅, o comportamento foi oposto, com valores de 195 mg kg⁻¹ quando foi usado SSPC e de 166 mg kg⁻¹ quando foi usado SSP (**Tabela 1**). Portanto, pode se inferir que os maiores incrementos da fração moderadamente lábil estão sendo influenciados pela aplicação de 330 kg ha⁻¹ de P₂O₅ de SSPC, com teor médio de 320,3 mg kg⁻¹. Isto provavelmente ocorre pela presença dos complexos húmico-metal que protegem o íon fosfato da reação com os óxidos de Fe e Al que estão na fase sólida, evitando assim a adsorção e a redistribuição de P em frações menos lábeis.

Rotta, (2012) avaliando a labilidade de P em função do tempo de adoção do sistema semeadura direto em um Plintossolo Háplico do cerrado brasileiro, observou que a adubação fosfatada contínua, em um solo de alto grau de intemperismo promove o acúmulo de P principalmente nas frações lábeis e moderadamente lábeis, podendo sugerir a redução da fertilização fosfatada.

Nas camadas 5-10 cm e 10-20 cm, a fração moderadamente lábil foi somente afetada pelas doses aplicadas, mostrando o aumento nos teores de P em função da aplicação de maiores doses de fosfato. Com relação à camada 5-10 cm, os dados



mostram que a adubação acumulada de altas doses, 330 e 440 kg P₂O₅ ha⁻¹, aumentaram significativamente esta fração, com valores médios de 293 e 312 mg kg⁻¹, sendo entre 22 e 30% maiores do que o observado no controle.

Similarmente, na camada 10-20 cm, os teores de P aumentaram em função da aplicação de doses acumuladas de fosfatos solúveis, onde o SSP teve superioridade nas doses avaliadas em comparação com o SSPC, obtendo o maior teor na dose de 440 kg P₂O₅ ha⁻¹, com valor médio de 213,5 mg kg⁻¹. Estes resultados condizem com os encontrados por Rheinheimer et al. (2003), onde descrevem que o acúmulo inicial do P aplicado se encontra nos compartimentos menos lábeis, resultando na saturação de P nesses sítios de adsorção com o decorrer do tempo, e posteriormente, o P remanescente é redistribuído em formas adsorvidas com menor energia concentrando-se em frações de labilidade moderada.

Com relação ao P não lábil, essa fração aumentou, nas três camadas analisadas, conforme aumentou a quantidade de fertilizante fosfatado aplicado, independente da fonte utilizada (**Tabela 1**). Em superfície, os teores de P não lábil variaram de 193,3 a 299,9 mg kg⁻¹, sendo estes valores observados no controle e na dose mais alta (440 kg ha⁻¹ P₂O₅), respectivamente. Esta diferença deve-se à alta capacidade de adsorção de P, devido a alto grau de intemperismo do solo estudado. Adicionalmente, os dados mostram que, no controle se obteve a menor concentração de P, isto porque as frações menos lábeis do solo tendem a tamponar a solução do solo em condições de baixo fornecimento deste nutriente via fertilizante.

Singh et al. (2006) atribui este comportamento de acúmulo de P no compartimento não lábil ao processo de adsorção que ocorre com o incremento na quantidade de P aplicado ao solo, mediado principalmente pela mineralogia do solo, que no presente estudo teve predominância de minerais que possuem alta capacidade de adsorção como caulinita, gibbsita, goethita e hematita (dados não apresentados).

CONCLUSÕES

O uso de SSPC em um Latossolo Vermelho amarelo promoveu o aumento o compartimento lábil de p no solo, quando comparado com o SSP.

As doses acumuladas de P₂O₅ aumentaram os teores de Pi da fração lábil e não lábil, principalmente na camada 0-5 cm. Enquanto a fração moderadamente lábil foi afetada pela interação fonte e dose, onde o uso de fertilizante

fosfatado aumenta o teor de P neste compartimento conforme a dose é aumentada.

AGRADECIMENTOS

À CAPES pela concessão da bolsa e apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

CONDRON, L.M.; GOH, K.M.; NEWMAN, R.H. Nature and distribution of soil phosphorus as revealed by a sequential extraction method followed by ³¹P nuclear magnetic resonance analysis. *J. Soil Science*, 36:99-207, 1985.

CONTE, E. Atividade de fosfatase ácida e formas de acumulação de fósforo pela aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. 2001. 74 p. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2001

ERRO, J.; URRUTIA, O.; BAIGORRI, R.; APARICIO-TEJO, P.; IRIGOYEN, I.; STORINO, F.; MANDADO, M.; YVIN, J.C.; GARCIA-MINA, J. M. Correction to Organic Complexed Superphosphates (CSP): Physicochemical Characterization and Agronomical Properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, Easton, v. 61, n. 7, p. 1597-1597, 2013.

GATIBONI, L.C. Disponibilidade de formas de fósforo do solo às plantas. 2003. 231 p. Tese (Doutorado em Biodinâmica dos Solos) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2003.

HEDLEY, M.J.; STEWART, J.W.B. & CHAUHAN, B.S. Changes in inorganic and organic soil phosphorus fractions induced by cultivation practices and by laboratory incubations. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 46:970-976, 1982.

PAVINATO, P.; DAO, T.; ROSOLEM, C. Tillage and phosphorus management effects on enzyme-labile bioactive phosphorus availability in Cerrado Oxisols. *Geoderma*, Amsterdam, v. 156, n. 3, p. 207-215, 2010.

RHEINHEIMER, D.S. Dinâmica de fósforo em sistemas de manejo de solos. 2000. 210 p. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

ROTTA, L.R. Fracionamento e disponibilidade de fósforo em uma cronossequência de cultivos sob plantio direto. 2012. 72 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) - Universidade Federal de Goiás, Jataí, 2012.

SINGH, V.; DHILLON, N.S. & BRAR, B.S. Influence of longterm of fertilizers and farmyard manure on the adsorption-desorption behavior and bioavailability of phosphorus in soils. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*. Holanda. v. 75. p.67-78, 2006.

TOKURA, A.M.; FURTINI NETO, A.E.; CURTI, N.; FAQUIN, V.; KURIHARA, C.H.; ALOVISI, A.A. Formas de fósforo em solo sob plantio direto em razão da profundidade e tempo de cultivo. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Rio de Janeiro, v. 37, p. 1467-1476, 2002.

URRUTIA, O.; ERRO, J.; GUARDADO, I.; CLAUDE YVIN, J.; MA GARCIA-MINA, J. Physico-chemical characterization of humic-metal-phosphate complexes and their potential application to the manufacture of new types of phosphate-based fertilizers. Journal of Plant Nutrition and Soil Science. Weinheim, v. 177, p. 128-136, 2014.

Tabela 1 - Labilidade (P lábil, P moderadamente lábil e P não lábil) (mg kg^{-1}) na avaliação de duas fontes fosfatadas (SSPC e SSP) e cinco doses de P_2O_5 (0, 110, 220, 330 e 440 kg ha^{-1}) em três camadas (0-5; 5-10 e 10-20 cm).

Camada cm	Fonte	Dose ($\text{kg ha}^{-1} \text{P}_2\text{O}_5$)					Média
		0	110	220	330	440	
P lábil							
0-5	SSPC	28,3	44,6	58,6	69,4	70,5	54,3 A
	SSP	29,8	36,9	45,8	67,1	73,7	50,6 A
	Média	29,1 b	40,7 ab	52,2 ab	68,2 a	72,1 a	
5-10	SSPC	27,7	35,1	37,9	45,0	61,5	41,4 A
	SSP	25,3	32,2	38,0	44,9	56,4	39,3 A
	Média	26,5 b	33,5 b	37,9 b	44,9 a	58,9 a	
10-20	CSSP	7,4	8,8	12,0	13,2	16,0	11,5 A
	SSP	7,5	8,1	9,5	10,4	14,6	10,0 A
	Média	7,4 ab	8,4 ab	10,7 ab	11,8 ab	15,3 a	
P moderadamente lábil							
0-5	SSPC	170,3 Ab	168,9 Bb	195,1 Ab	320,3 Aa	328,2 Aa	236,6
	SSP	171,0 Ab	221,3 Aab	166,2 Ab	247,1 Bab	315,1 Aa	224,1
	Média	170,6	195,1	180,6	283,7	321,6	
5-10	SSPC	240,1	285,5	313,6	277,3	305,8	284,4 A
	SSP	239,1	258,1	299,3	308,5	318,6	284,7 A
	Média	240,0 b	271,8 b	306,4 a	292,9 a	312,2 a	
10-20	CSSP	135,8	135,2	151,7	155,1	210,8	157,7 A
	SSP	137,9	155,4	169,8	190,5	215,9	173,9 A
	Média	136,8 b	145,3 b	160,7 ab	172,8 ab	213,5 a	
P não lábil							
0-5	SSPC	177,5	193,8	259,1	269,2	294,4	238,8 A
	SSP	209,2	265,5	286,9	299,9	305,3	273,4 A
	Média	193,3 c	229,7 b	273,0 a	284,6 a	299,8 a	
5-10	SSPC	342,3	363,9	338,9	341,1	343,2	345,9 A
	SSP	288,1	306,0	316,1	329,6	348,5	317,7 B
	Média	315,2 a	334,9 a	327,5 a	335,4 a	345,8 a	
10-20	CSSP	180,7	174,6	177,4	190,5	186,0	181,8 A
	SSP	182,2	183,2	202,7	204,5	215,1	197,6 A
	Média	181,5 a	178,9 a	190,1 a	197,5 a	200,5 a	

Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha e maiúscula na coluna não diferem entre si pelo teste t (LSD) ($p < 0,05$)