

FÓSFORO MICROBIANO DO SOLO SOB SISTEMA PLANTIO DIRETO EM RESPOSTA À ADIÇÃO DE FOSFATO SOLÚVEL⁽¹⁾

Rosane Martinazzo⁽²⁾, Danilo Rheinheimer dos Santos⁽³⁾, Luciano Colpo Gatiboni⁽⁴⁾, Gustavo Brunetto⁽⁵⁾ & João Kaminski⁽⁶⁾

RESUMO

O ciclo do P é controlado por processos físico-químicos, como a adsorção e a dessorção, e biológicos, como a imobilização e a mineralização. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a variação temporal no conteúdo de P da biomassa microbiana do solo (Pm) de acordo com doses e épocas de aplicação de fosfato solúvel na superfície de um Latossolo Vermelho sob sistema plantio direto. O experimento foi instalado em maio de 2002 em uma lavoura manejada sob plantio direto por sete anos, no município de Ibirubá, RS. Foram aplicadas cinco doses de superfosfato triplo, equivalentes a 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em duas épocas, na semeadura do azevém (*Lolium multiflorum*) e da soja (*Glicine max*). Os teores de Pm e P extraído por resina trocadora de ânions do solo da camada de 0–10 cm foram avaliados aos 14, 49, 91, 133, 147, 203 e 267 dias após a semeadura do azevém. A aplicação de fosfato aumentou o teor de Pm, com maior intensidade quando aplicado na semeadura da soja, sobre os resíduos do azevém. A imobilização do P na biomassa microbiana foi temporária, diminuindo ao longo do ciclo das culturas, e sua variação temporal não foi acompanhada por variações no teor de P extraído por resina trocadora de ânions.

Termos de indexação: fertilizantes fosfatados, manejo de solo, resíduos orgânicos, biomassa microbiana, fósforo orgânico.

⁽¹⁾ Trabalho realizado com recursos do PRONEX-CNPq e FAPERGS. Recebido para publicação em fevereiro de 2005 e aprovado em março de 2007.

⁽²⁾ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre (RS). E-mail: rosanemartinazzo@hotmail.com

⁽³⁾ Professor Adjunto do Departamento de Solos, Universidade Federal de Santa Maria – UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: danilor@smail.ufsm.br

⁽⁴⁾ Professor do Centro Educacional do Oeste, Universidade Estadual de Santa Catarina – UDESC. Campus Chapecó, Rua Benjamin Constant, 164-D, CEP 89806-070 Chapecó (SC). E-mail: gatiboni@udesc.br

⁽⁵⁾ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo, Universidade Federal de Santa Maria. Bolsista do CNPq. E-mail: gustavobrunetto@hotmail.com

⁽⁶⁾ Professor Voluntário do Departamento de Solos, UFSM. Bolsista do CNPq. E-mail: jk@smail.ufsm.br

SUMMARY: MICROBIAL PHOSPHORUS IN A SOIL UNDER NO-TILLAGE AS AFFECTED BY SOLUBLE PHOSPHORUS ADDITION

The phosphorus cycle in the soil is controlled by physicochemical processes, such as adsorption and desorption, and by biological processes, such as immobilization and mineralization. This study was carried out to evaluate the seasonal variation of phosphorus in the soil microbial biomass (Pm) as related to rates and timing of soluble phosphate application. The experiment was carried out in May 2002 on an Oxisol under no-till for seven years, in Ibirubá, in the southern Brazil. Five rates of soluble phosphate (0, 40, 80, 120, and 160 kg ha⁻¹ of P₂O₅) were applied twice in a Lolium multiflorum/Glicine max cultivation cycle; the first one in the winter at Lolium multiflorum sowing and the second in the summer at Glicine max sowing. Microbial phosphorus and available phosphorus by anion exchange resin were evaluated in the 0–10 cm soil layer 91, 133, 147, 203, and 267 days after Lolium multiflorum sowing. Phosphate application increased microbial phosphorus, more intensely when applied at soybean sowing over the Lolium multiflorum residues. P immobilization in the microbial biomass was temporary and decreased over the course of the crop cycle; these variations were not correlated with variations in P extracted by anion-exchange resin.

Index terms: phosphate fertilizers, soil management, organic residues, microbial biomass, organic phosphorus.

INTRODUÇÃO

A disponibilidade de P no solo é dependente das reações físico-químicas, destacando-se a adsorção, a dessorção e a precipitação (Novais & Smyth, 1999), e dos processos biológicos, como a imobilização do P inorgânico e mineralização do P orgânico (Vargas & Hungria, 1997). Em solos onde predominam caulinita e óxidos de Fe e Al, como nos Latossolos, o processo de adsorção diminui a quantidade de P inorgânico na fração lábil, devido à alta energia de ligação entre o ânion fosfato e os grupos funcionais de superfície mineral. Nesses solos, a mineralização do P orgânico pode ser uma importante fonte de P às plantas (Gatiboni et al., 2005). A MO pode ser considerada uma fonte potencial de P às plantas por causa da ciclagem biológica, em que microrganismos e raízes podem mineralizar o P orgânico por meio da síntese e exsudação de fosfatases (Ross et al., 1995). A utilização do P orgânico como fonte de P às plantas pode ser maximizada quando resíduos vegetais são lentamente decompostos, de forma a proporcionar sincronismo entre a disponibilidade de P e o crescimento da planta. Alguns autores afirmam que a mineralização do P orgânico acompanha a mineralização do C (Tiessen et al., 1992), enquanto outros (McGill & Cole, 1981) propõem que a mineralização do P pode também ocorrer de forma independente da mineralização das estruturas carbonadas.

Nesse sentido, a biomassa microbiana do solo (BMS) é importante porque se trata do compartimento responsável pela transformação da MO e pela ciclagem de nutrientes (Buchanan & King, 1992; De-Polli & Guerra, 1999). Logo, sua flutuação em tamanho e atividade influenciará a disponibilidade de nutrientes às plantas cultivadas, inclusive o P (Rheinheimer et al., 2000).

A mineralização acelerada de P orgânico causada pelo manejo inadequado do solo resulta em agravamento das deficiências desse nutriente, uma vez que o ortofosfato vai passando de formas inicialmente lábeis para formas cada vez menos disponíveis (Fraga & Salcedo, 2004). Por esse motivo, acredita-se que a manutenção do P em formas orgânicas conduz a sistemas de maior sustentabilidade, pois elas retardam o processo de adsorção de P com alta energia. Em sistemas de manejo do solo que promovem o acúmulo de MO, como o plantio direto, a quantidade de Pm é maior comparativamente aos sistemas de cultivo em que os resíduos são fragmentados e incorporados ao solo (Granastein et al., 1987; Rheinheimer, 2000). Além disso, a quantidade de Pm pode ser aumentada pela adição de fertilizantes, pois a BMS atua como um dreno de P do solo (Lukito et al., 1998). No entanto, o processo de imobilização é temporário e o Pm, devido à alta labilidade, pode atuar, posteriormente, como fonte de P inorgânico à solução do solo. Assim, os processos biológicos podem atenuar os impactos de práticas agrícolas, contribuindo para a nutrição vegetal em longo prazo. Por isso, faz-se necessário o entendimento do comportamento temporal do Pm perante as práticas de manejo e adubação.

O presente trabalho teve por objetivo acompanhar a variação temporal no conteúdo de Pm de acordo com doses e épocas de aplicação de fosfato solúvel na superfície do solo, em sistema plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no município de Ibirubá, na região fisiográfica do Planalto Médio do Rio Grande do Sul. O clima da região é classificado

como subtropical úmido, tipo cfa, segundo classificação de Köppen, com precipitação média anual de 1.727 mm. O mês de janeiro é o mais quente, com temperatura máxima normal de 30 °C, e julho o mês mais frio, com temperatura mínima normal de 8,6 °C. O solo é classificado como Latossolo Vermelho distroférico típico e estava sendo manejado sob sistema plantio direto há sete anos, com a rotação de culturas aveia-preta (*Avena strigosa*)/milho (*Zea mays*)/azevém (*Lolium multiflorum*)/soja (*Glycine max*)/cevada (*Hordeum vulgare*)/soja. O solo apresentava, na ocasião da implantação do experimento, pH em água de 6,4; 570 g kg⁻¹ de argila; 14 g kg⁻¹ de MO; 80 mg dm⁻³ de K trocável; 3,3 mg dm⁻³ de P extraível por Mehlich-1; 4,50 cmol_c dm⁻³ de Ca trocável; e 2,0 cmol_c dm⁻³ de Mg trocável.

Instalou-se o experimento em maio de 2002, ano em que a sucessão de cultivo era azevém/soja. O delineamento experimental foi em blocos ao acaso, com parcelas divididas e três repetições. Nas parcelas principais (5 x 10 m) foram aplicadas cinco doses de superfosfato triplo, equivalentes a 0, 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, enquanto as duas épocas de aplicação do fosfato (semeaduras do azevém e da soja) corresponderam ao fator da subparcela (2,5 x 10 m). A dose de referência foi 80 kg ha⁻¹ de P₂O₅, dose recomendada pela CQFS-RS/SC (1994) para a cultura do azevém.

A implantação do experimento foi feita sobre os resíduos da cultura da soja da safra 2001/02. A área apresentava pouca quantidade de resíduos orgânicos na superfície, uma vez que a produtividade das culturas era limitada pelos baixos teores de P disponível e pela alta compactação do solo da camada de 10–20 cm. Após a dessecação das plantas daninhas, com herbicida à base de glifosato, as doses de fosfato foram aplicadas a lanço, em uma das subparcelas. O azevém foi semeado a lanço nas duas subparcelas, numa densidade de 25 kg de sementes por hectare. Aos 21 dias após a semeadura do azevém, 30 kg ha⁻¹ de N foram aplicados na forma de uréia. A parte aérea do azevém foi colhida no estádio de grão leitoso, aos 133 dias após a semeadura, em quatro subamostras de 0,25 m² por subparcela, e a produtividade de matéria seca foi determinada após secagem em estufa a 55 °C.

Após a colheita da parte aérea do azevém, a vegetação remanescente foi dessecada. Em seguida, foram aplicadas, a lanço, as doses de P referentes à segunda época de aplicação (semeadura da soja), somente nas subparcelas que não tinham sido fertilizadas na semeadura do azevém. No mesmo dia (133 dias após a instalação do experimento), semeou-se a soja. O rendimento de grãos foi estimado pela colheita de quatro subamostras de 0,25 m² por subparcela, com correção da umidade para 13 %.

O solo, da camada de 0–10 cm, foi coletado aos 14, 49, 91, 133, 147, 203 e 267 dias após a instalação do experimento, com trado calador e em seis pontos por

subparcela. Depois da coleta, o solo foi transportado até o laboratório em caixa térmica com gelo. Depois de tamisado em malha de 2 mm, foi imediatamente analisado para determinação do P_m, por meio do método baseado em irradiação com microondas (Islam & Weil, 1998). Amostras de 0,5 g de solo foram pesadas em triplicata (conjuntos A, B e C). O solo do conjunto A foi irradiado utilizando-se 4,5 min para cada bateria de 10 amostras, o que correspondeu a 8,1 x 10⁴ J de energia; o conjunto B não recebeu irradiação; e ao conjunto C foi adicionado o equivalente a 50 mg kg⁻¹ de P₂O₅ no solo, juntamente com o extrator. O P dos conjuntos A, B e C foi extraído com NaHCO₃ 0,5 mol L⁻¹ (pH 8,5) na relação solo: solução de 1:20, e o P_m foi calculado pela equação (Morel et al., 1996): $P_m = 50(A-B)/0,4(C-B)$, em que o fator 0,4 foi obtido de Brookes et al. (1982), assumindo-se que apenas 40 % do P da BMS é extraível pela técnica. A diferença entre os teores de P dos conjuntos A e B fornece a quantidade de P_m; o conjunto B (sem irradiação) serve para avaliar a quantidade de P não-microbiano extraída do solo. O conjunto C serve para estimar o potencial de readsorção de P ao solo durante a extração com bicarbonato.

O teor de P extraível por resina trocadora de ânions em membranas (P-rta) foi estimado de acordo com método descrito por Rheinheimer et al. (2003). Os valores foram interpretados de acordo com os níveis estabelecidos pela CQFS-RS/SC (2004), sendo muito baixo (≤ 5,0 mg kg⁻¹), baixo (5,1–10,0 mg kg⁻¹), médio (10,1–20,0 mg kg⁻¹), alto (20,1–40,0 mg kg⁻¹) e muito alto (> 40,0 mg kg⁻¹).

Os dados de P_m obtidos na emergência do azevém (14 dias), na colheita do azevém (133 dias), na emergência da soja (147 dias) e na colheita da soja (267 dias), considerando a aplicação de fosfato solúvel, foram submetidos à análise de variância a 5 % e, quando significativas, as médias de cada época de avaliação, dentro de cada dose de fosfato, foram comparadas pelo teste de Tukey a 5 %. Já os resultados de P_m na mesma época de avaliação nas diferentes doses de fosfato foram submetidos à análise de variância a 5 % e, quando significativos, foram ajustadas equações de regressão. Os dados de produção de matéria seca do azevém e de grãos da soja foram submetidos à análise de variância a 5 % e, quando significativos, foram ajustadas equações de regressão.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efeito da adubação fosfatada sobre o fósforo disponível e a produtividade das culturas

A aplicação do fosfato solúvel na semeadura do azevém aumentou os teores de P-rta, avaliados 14 dias após a aplicação, que passaram de muito baixo (3,8 mg kg⁻¹) na testemunha para médio (11,4 mg kg⁻¹) na maior dose aplicada (Figura 1a), o que é inferior

aos 20 mg kg⁻¹ propostos pela CQFS-RS/SC (2004) como teor de suficiência. Isso deve ter ocorrido por causa do elevado teor de argila 1:1 e óxidos de Fe e Al do solo, uma vez que a magnitude da adsorção depende da quantidade de constituintes com capacidade de sorver moléculas neutras ou carregadas eletricamente. A aplicação de P inorgânico como fertilizante solúvel manteve constante o teor de P-*rta* durante os cultivos do azevém e da soja, 267 dias após a sua aplicação (Figura 1a, b). Nesses casos, mesmo com a fertilização fosfatada, as formas orgânicas podem contribuir no fornecimento de P às plantas, por causa da mineralização de compostos fosfatados orgânicos. A carência de P nesse solo foi constatada pelo aumento de forma linear da produção de matéria seca do azevém (Quadro 1), com a aplicação de doses, até a quantidade de P recomendada pela CQFS-RS/SC (2004). A produtividade passou de 2.092 kg ha⁻¹ na testemunha para 2.272, 2.722, 2.701 e 2.977 kg ha⁻¹ para as doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente.

A aplicação de doses de fosfato solúvel na semeadura da soja (133 dias) aumentou o P-*rta* avaliado 14 dias após a aplicação (147 dias), que também passou de muito baixo (4,1 mg kg⁻¹) na testemunha para médio (12,2 mg kg⁻¹) na maior dose (Figura 1b), o que representa 127, 190, 195 e 198 % de aumento para as referidas doses, respectivamente. Assim, a aplicação de fosfato proporcionou aumentos percentuais no P-*rta* somente até a dose recomendada pela CQFS-RS/SC (2004). A produtividade da soja também aumentou de forma quadrática com a aplicação de fosfato solúvel na sua semeadura (Quadro 1), até a dose recomendada pela CQFS-RS/SC (2004), passando de 2.179 kg ha⁻¹ na testemunha para 2.746, 2.980, 2.944 e 2.970 kg ha⁻¹ com as doses de 40, 80, 120 e 160 kg ha⁻¹ de P₂O₅, respectivamente. Essas produtividades foram superiores às obtidas pelo

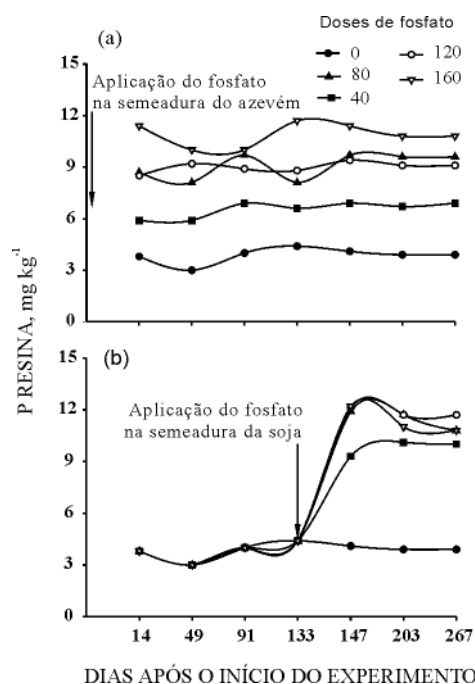


Figura 1. Teores de fósforo extraído pela resina trocadora de ânions em membranas, de acordo com a aplicação de doses de fosfato solúvel, em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema plantio direto. Aplicação de fosfato solúvel na semeadura do azevém - subparcela 1 (a) e aplicação de fosfato solúvel na semeadura da soja - subparcela 2 (b).

efeito residual das mesmas doses aplicadas na semeadura do azevém (2.499, 2.467, 2.550 e 2.878 kg ha⁻¹, respectivamente) (Quadro 1). Isso

Quadro 1. Produção de matéria seca da parte aérea do azevém e de grãos de soja, considerando a aplicação de doses de fosfato solúvel em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema plantio direto

Dose P ₂ O ₅	Azevém		Soja	
	Efeito imediato do fosfato na subparcela 1	Efeito residual do fosfato na subparcela 1	Efeito imediato do fosfato na subparcela 2	Efeito residual do fosfato na subparcela 2
kg ha ⁻¹	kg ha ⁻¹			
0	2.092 ⁽¹⁾	2.179 ^{(2) a} ⁽³⁾	2.179 ^{(4) a}	
40	2.272	2.499 b	2.746 a	
80	2.722	2.467 b	2.980 a	
120	2.701	2.550 b	2.944 a	
160	2.977	2.878 b	2.970 a	
CV (%)	8,62	6,91		

⁽¹⁾ $\hat{y} = 2113 + 5,497 x$ ($R^2 = 0,92$). Média da produção de azevém na dose zero inclui os dados das subparcelas 2 que somente receberam fosfato na cultura da soja. ⁽²⁾ $\hat{y} = 2224 + 3,622 x$ ($R^2 = 0,84$). ⁽³⁾ Médias seguidas pela mesma letra na linha, comparando efeito residual e imediato na produtividade da soja, não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a 5%. ⁽⁴⁾ $\hat{y} = 2.214 + 14,107 x - 0,0604 x^2$ ($R^2 = 0,96$); rendimento máximo = 3.037,7 kg ha⁻¹; dose para obter o rendimento máximo = 116,8 kg ha⁻¹ de P₂O₅.

demonstra que, mesmo em solos sob SPD, quando deficientes em P, os fertilizantes fosfatados devem ser aplicados no momento da semeadura da cultura e em linha, como recomenda a CQFS-RS/SC (2004).

Efeito da adubação fosfatada sobre o conteúdo de fósforo microbiano

O Pm no tratamento testemunha, avaliado desde a semeadura do azevém até a colheita da soja, apresentou pequenas flutuações. Na primeira avaliação, aos 14 dias, o teor médio de Pm foi de 20,8 mg kg⁻¹, e durante todo o período experimental os valores oscilaram entre 13,4 e 21,4 mg kg⁻¹ (Figura 2a). Essa média representa cerca de três a cinco vezes o teor de P extraído pela resina trocadora de ânions (Figura 1a), mostrando que o Pm é um importante compartimento de P no solo. A aplicação do fosfato solúvel durante a semeadura do azevém aumentou o Pm em relação à testemunha na amostragem feita aos 14 dias após a aplicação (emergência do azevém), com resposta quadrática à dose aplicada (Quadros 2 e 3). Isso mostra que parte do P aplicado via adubação é imobilizada pela BMS, retardando o processo de adsorção de P aos colóides do solo, mesmo com baixa disponibilidade de C dos resíduos orgânicos da cultura antecessora.

As avaliações subseqüentes demonstraram que o acúmulo de P pela BMS foi temporário, pois houve diminuição gradativa do Pm durante o crescimento e desenvolvimento da cultura do azevém (Figura 2a). Essas variações no Pm em curto prazo podem ser consideradas uma forma de retardar a adsorção do P

aos colóides inorgânicos e melhorar o sincronismo entre mineralização e absorção pelas plantas. O efeito temporário da imobilização de P pelos microrganismos também foi observado por Chauhan et al. (1979). Na avaliação feita na colheita do azevém (133 dias após o início do experimento), os valores de Pm das três doses mais elevadas foram superiores aos da testemunha (Quadros 2 e 3; Figura 2a).

Como mostrado anteriormente, a aplicação de fosfato na semeadura do azevém aumentou linearmente sua produção de matéria seca (Quadro 1), o qual foi dessecado quimicamente, tendo sua palhada permanecido na superfície do solo na implantação da cultura da soja. Mesmo com alta disponibilidade de resíduos de azevém, na avaliação feita na emergência da soja (147 dias após início do experimento), a BMS não foi eficiente em imobilizar grande quantidade de P (Quadros 2 e 3; Figura 2a). Isso porque, em solos com elevado teor de argila e predominância de argilas do tipo 1:1 e óxidos de Fe e Al, a energia de adsorção do P aumenta com o tempo (Parfitt, 1978; Barrow, 1983), o que diminui a biodisponibilidade deste elemento, inclusive para a BMS. Comportamento semelhante foi observado por Conte et al. (2002), que, trabalhando em solo e manejo similares, não constataram imobilização de P após seis meses de sua aplicação. Na colheita da soja (267 dias depois do início do experimento) não houve mais efeito da aplicação de fosfato sobre o conteúdo de P armazenado pela BMS (Quadros 2 e 3). A ausência de resposta às doses de fosfato parece ter sido limitada pela baixa quantidade de resíduos orgânicos e menor disponibilidade de P no momento da avaliação.

Quadro 2. Fósforo armazenado na biomassa microbiana do solo, considerando a aplicação de doses de fosfato solúvel e época de avaliação, em um Latossolo Vermelho distroférico sob sistema plantio direto

Dose aplicada na semeadura do azevém (P ₂ O ₅)	Época de avaliação		Dose aplicada na semeadura da soja (P ₂ O ₅)	Época de avaliação	
	Emergência do azevém (14 dias)	Colheita do azevém (133 dias)		Emergência da soja (147 dias)	Colheita da soja (267 dias)
kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹		kg ha ⁻¹	mg kg ⁻¹	
0	21,4 a ⁽¹⁾	13,4 a	0	18,8 a A	20,8 a A
40	39,6 a	18,1 b	0	21,5 b B	17,0 b B
80	40,8 a	27,8 ab	0	32,3 ab B	21,8 b B
120	44,8 a	26,0 b	0	30,8 ab B	19,7 b B
160	47,6 a	28,4 b	0	35,5 a B	30,7 ab B
0	21,4 a	13,4 a	0	18,8 a A	20,8 a A
0	22,6 b	11,9 b	40	47,5 a A	37,4 a A
0	17,3 c	20,7 bc	80	54,0 a A	39,5 a A
0	22,1 b	19,9 b	120	57,7 a A	40,9 a A
0	20,6 b	15,0 b	160	66,9 a A	49,4 a A

⁽¹⁾ Letra minúscula na linha compara as épocas de avaliação dentro de cada dose de fosfato, e letra maiúscula na coluna compara efeito imediato (aplicação na semeadura da soja) e residual (da aplicação na semeadura da soja), para as avaliações feitas na emergência e colheita da soja, separadamente. Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5 %.

Quadro 3. Parâmetros das regressões ajustadas para o fósforo armazenado na biomassa microbiana, considerando as doses aplicadas de fosfato solúvel, em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema plantio direto

Época de avaliação	Parâmetro de regressão			
	b_0	b_1x	$b_{11}x^2$	R^2
Aplicação de fosfato na semeadura do azevém (subparcela 1)				
Emergência do azevém (14 dias)	23,32	0,344	- 0,0012	0,92
Colheita do azevém (133 dias)	12,86	0,210	- 0,0070	0,92
Emergência da soja (147 dias)	19,24	0,107		0,87
Colheita da soja (267 dias) ^(ns)				
Aplicação de fosfato na semeadura da soja (subparcela 2)				
Emergência da soja (147 dias)	23,04	0,273	- 0,0007	0,89
Colheita da soja (267 dias)	21,72	0,564	- 0,0019	0,94

ns: não-significativo a 5 %.

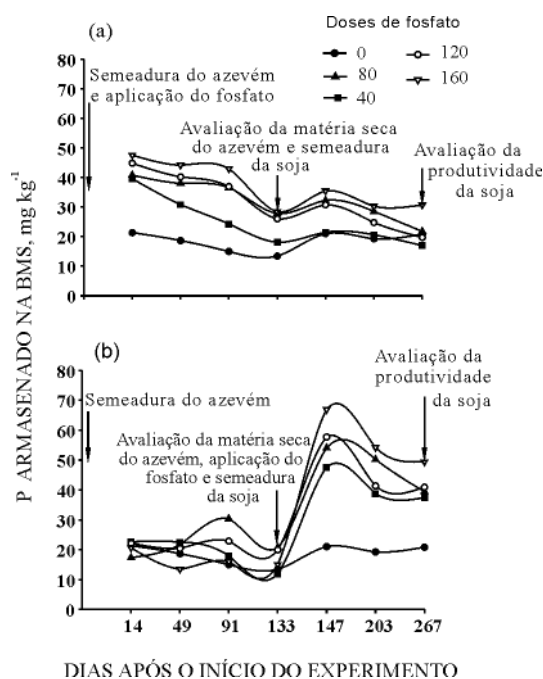


Figura 2. Fósforo armazenado na biomassa microbiana, considerando a aplicação de doses de fosfato solúvel, em um Latossolo Vermelho distroférico típico sob sistema plantio direto. Aplicação de fosfato solúvel na semeadura do azevém - subparcela 1 (a) e aplicação de fosfato solúvel na semeadura da soja - subparcela 2 (b).

Alguns resultados de trabalhos realizados em solos sob sistema plantio direto mostram que o P aplicado na superfície do solo se distribui nas formas nele

preexistentes, saturando sítios de adsorção e aumentando as formas de P inorgânico mais lábeis (Rheinheimer & Anghinoni, 2001), os teores de P orgânico total (Rheinheimer & Anghinoni, 2003) e os teores de P microbiano (Rheinheimer et al., 2000, 2001; Conte et al., 2002). Além disso, Saunders & Metson (1971) sugerem que o armazenamento e a liberação do P pela BMS podem explicar as mudanças sazonais na quantidade deste elemento na solução do solo.

A aplicação do fosfato solúvel sobre os resíduos do azevém, na semeadura da cultura da soja (Quadros 2 e 3; Figura 2b), aumentou o Pm de modo similar ao observado com a aplicação na semeadura do azevém. No entanto, as quantidades de P imobilizado pela BMS tenderam a ser maiores do que quando da aplicação anterior. A dessecação da cultura do azevém forneceu compostos carbonados a BMS, a qual imobilizou quantidades de P inorgânico proporcionais às doses de fosfato aplicadas (Quadros 2 e 3; Figura 2b). Nas avaliações feitas na emergência e na colheita da soja, o conteúdo de Pm foi mais elevado quando da aplicação de fosfato mais recentemente (semeadura da soja comparativamente com a semeadura do azevém). Na avaliação feita aos 14 dias após a aplicação do fosfato, os teores de Pm representaram aumentos de 153, 187, 207 e 256 % em relação à testemunha (Figura 2b), representando resposta quadrática no Pm de acordo com a dose de fosfato solúvel aplicada (Quadro 3). Esse comportamento se repetiu na avaliação feita na colheita da soja (267 dias) e confirma a hipótese de que a imobilização de P pela BMS é maximizada quando da disponibilidade concomitante de resíduos orgânicos e fosfato novo (Barrow, 1983). Já Guerra et al. (1995) e Lukito et al. (1998) haviam discutido o efeito positivo da adição de fosfato solúvel na

imobilização de P pela BMS, desde que haja fornecimento de fontes de C e energia. Tudo isso demonstra que, em solos deficientes em P, a aplicação deve ser feita no momento da semeadura da cultura e que a população microbiana, ao imobilizar parte do P inorgânico, auxilia tanto na diminuição da adsorção como também na regulação do fornecimento de P durante o ciclo da cultura. Desse modo, a aplicação de fosfato solúvel na superfície do sistema plantio direto tem maior eficiência quando feita no momento da semeadura, pois permanece em formas mais lábeis. Assim, ao longo do tempo, os processos físico-químicos aumentam a energia de ligação do P com os grupos funcionais dos colóides inorgânicos do solo (Barrow, 1983), diminuindo sua disponibilidade, inclusive, aos microrganismos.

Embora haja tendência de diminuição dos teores de P_m durante o ciclo da cultura da soja nos tratamentos que receberam fosfato solúvel (Figura 2b), à semelhança do observado durante o ciclo do azevém (Figura 2a), não houve diferença estatística entre a avaliação feita aos 14 dias após a aplicação (emergência da soja) e aquela feita no final do ciclo da soja (Quadro 2). Caso não sejam realizadas novas adubações fosfatadas nos próximos cultivos, provavelmente o P estocado na BMS será mineralizado até patamares semelhantes aos da testemunha, como foi observado na colheita da soja, quando da aplicação na semeadura do azevém (267 dias após a aplicação). No entanto, se as adições de fosfato forem suficientes para manter a disponibilidade de P no solo em níveis adequados às culturas e se for adotado um sistema de manejo que incremente o conteúdo de MO do solo, o estoque de P na BMS pode permanecer constantemente elevado. Isso foi confirmado por Rheinheimer et al. (2000), em cujos estudos os teores de P_m permaneceram mais elevados em solo sob sistema plantio direto com rotação de culturas que em sistemas sem rotação de culturas ou cultivados convencionalmente. Esses resultados estão de acordo com os de Ross et al. (1995), em que a alta disponibilidade de P e a adição constante de resíduos vegetais diminuíram a atividade de enzimas ligadas à mineralização do P, mantendo mais elevados os teores de P orgânico, inclusive o microbiano.

CONCLUSÕES

1. A aplicação de fosfato solúvel em superfície de solo argiloso cultivado sob plantio direto aumenta o conteúdo de P microbiano.

2. A imobilização do P pela biomassa microbiana do solo é temporária, diminuindo ao longo do desenvolvimento das culturas, e sua variação temporal não é acompanhada por variações no P extraído pela resina trocadora de ânions.

LITERATURA CITADA

- BARROW, N.J. On the reversibility of phosphate sorption by soils. *J. Soil Sci.*, 34:751-758, 1983.
- BROOKES, P.C.; POWLSON, D.S. & JENKINSON, D.S. Measurement of microbial biomass phosphorus in soil. *Soil Biol. Biochem.*, 14:319-329, 1982.
- BUCHANAN, M. & KING, L.D. Seasonal fluctuations in soil microbial biomass carbon, phosphorus and activity in no-till and reduced-chemical-input maize agroecosystems. *Biol. Fertil. Soils*, 13:211-217, 1992.
- CHAUHAN, B.S.; STWEART, J.W.B. & PAUL, E.A. Effect of carbon additions on soil labile inorganic, organic and microbially held phosphate. *Can. J. Soil Sci.*, 59:387-396, 1979.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO - CFSRS/SC. Recomendações de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. 3.ed. Passo Fundo, 1994. 224p.
- COMISSÃO DE QUÍMICA E FERTILIDADE DO SOLO - CQFS-RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina. Porto Alegre, 2004. 400p.
- CONTE, E.; ANGHINONI, I. & RHEINHEIMER, D.S. Fósforo da biomassa microbiana e atividade de fosfatase ácida após aplicação de fosfato em solo no sistema plantio direto. *R. Bras. Ci. Solo*, 26:925-930, 2002.
- DE-POLLI, H. & GUERRA, J.G.M. C, N e P na biomassa microbiana do solo. In: SANTOS, G. A. & CAMARGO, F.A.O., ed. Fundamentos da matéria orgânica do solo: Ecossistemas tropicais e subtropicais. Porto Alegre, Gênesis, 1999. p.389-411.
- FRAGA, V.S. & SALCEDO, I.H. Declines of organic nutrient pools in tropical semi-arid soils under subsistence farming. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 68:215-224, 2004.
- GATIBONI, L.C.; RHEINHEIMER, D.S.; FLORES, A.F.C.; ANGHINONI, I.; KAMINSKI, J. & LIMA, M.A.S. Phosphorus forms and availability assessed by ³¹P-RNM in successive cropped soil. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, 36:2625-2640, 2005.
- GRANASTEIN, D.M.; BEZDICEK, D.F.; COCHRAN, V.L.; ELLIOT, L.F. & HAMMEL, J. Long-term tillage and rotation effects on soil microbial biomass, carbon, and nitrogen. *Biol. Fertil. Soils*, 5:265-270, 1987.
- GUERRA, J.G.M.; FONSECA, M.C. & ALMEIDA, D.L.; DE-POLLI, H. & FERNANDES, M. S. Conteúdo de fósforo da biomassa microbiana do solo de um solo cultivado com *Brachiaria decumbens* Stapf. *Pesq. Agropec. Bras.*, 30:543-551, 1995.
- ISLAM, K.R. & WEIL, R.R. Microwave irradiation of soil for routine measurement of microbial biomass carbon. *Biol. Fert. Soils*, 27:408-416, 1998.
- LUKITO, H.P.; KUONO, K. & ANDO, T. Phosphorus requirements of microbial biomass in a Regosol and a Andosol. *Soil Biol. Biochem.*, 30:865-872, 1998.
- McGILL, W.B. & COLE, C.V. Comparative aspects of cycling of organic C, N, S and P through soil organic matter. *Geoderma*, 26:267-286, 1981.

- MOREL, C.; TIESSEN, H. & STEWART, J.W.B. Correction for P-sorption in the measurement of soil microbial biomass P by CHCl_3 fumigation. *Soil Biol. Biochem.*, 28:1699-1706, 1996.
- NOVAIS, R.F. & SMYTH, T.J. Fósforo em solo e planta em condições tropicais. Viçosa, MG, Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399p.
- PARFITT, R.L. Anion adsorption by soil and soil materials. *Adv. Agron.*, 30:1-46, 1978.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I. & CONTE, E. Fósforo da biomassa microbiana em solos sob diferentes sistemas de manejo. *R. Bras. Ci. Solo*, 24:589-597, 2000.
- RHEINHEIMER, D.S.; ANGHINONI, I.; CONTE, E.; KAMINSKI, J. & GATIBONI, L.C. Dessorção de fósforo avaliada por extrações sucessivas em amostras de solo provenientes dos sistemas plantio direto e convencional. *Ci. Rural*, 33:1053-1059, 2003.
- RHEINHEIMER, D.S. Dinâmica do fósforo em sistemas de manejo do solo. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000. 210p. (Tese de Doutorado)
- RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Distribuição do fósforo inorgânico em sistemas de manejo de solo. *Pesq. Agropec. Bras.*, 36:151-160, 2001.
- RHEINHEIMER, D.S. & ANGHINONI, I. Accumulation of soil organic phosphorus by soil tillage and cropping systems under subtropical conditions. *Comm. Soil. Sci. Plant Anal.*, 34:2339-2354, 2003.
- ROSS, D.J.; SPEIR, T.W.; KETTLES, H.A. & MACKAY, A.D. Soil microbial biomass, C and N mineralization and enzyme activities in a hill pasture: Influence of season and slow-release P and sorption fertilizer. *Soil Biol. Biochem.*, 27:1431-1443, 1995.
- SAUNDERS, W.M.H. & METSON, A.J. Seasonal variation of phosphorus in soil and pasture. *New Zeland J. Agric. Res.*, 14:307-328, 1971.
- TIESSEN, H.; SALCEDO, I.H. & SAMPAIO, E.V.S.B. Nutrient and soil organic matter dynamics under shifting cultivation in semi-arid Northeastern Brazil. *Agric. Ecosyst. Environ.*, 38:139-151, 1992.
- VARGAS, M.A.T. & HUNGRIA, M., eds. *Biologia dos solos dos Cerrados*. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1997. 524p.