

Luiz Antonio de Mendonça  
Costa<sup>1</sup>, Mônica Sarolli Silva de  
Mendonça Costa<sup>2</sup>, Dercio Ceri  
Pereira<sup>3</sup>

**LIXIVIAÇÃO DO FÓSFORO DO SOLO  
POR MEIO DE ADUBOS FOSFATADOS E  
PALHAS DE PLANTAS DE COBERTURA**

RESUMO: O uso de plantas de cobertura é uma prática comum no meio rural, pois estas promovem a reciclagem de nutrientes. Neste estudo, as fontes de fosfato e palhas de espécies de cobertura do solo foram avaliadas na lixiviação de fósforo. O experimento foi realizado em estufa, na área experimental da Faculdade Assis Gurgacz (FAG), em Cascavel, PR, durante 60 dias. O delineamento foi em blocos casualizados, com três repetições, esquema fatorial, três fontes de fósforo (superfosfato simples, fosfato bicálcico e fosfato de Arad) e seis palhas (três Poaceae e três Fabaceae). O experimento foi disposto em vasos de PVC de 100 mm de diâmetro e 30 cm de altura. As camadas de solo foram separadas nas profundidades de 2 e 3 cm e analisadas. O superfosfato simples e o fosfato bicálcico apresentaram maior lixiviação de P nas camadas de 2 e 3 cm de solo. O superfosfato simples, nas camadas de 2 e 3 cm analisadas, demonstrou solubilidade similar para as palhas. A lixiviação de fosfato bicálcico na camada de 2 cm foi menor com a braquiária. Na camada de 3 cm de solo com fosfato bicálcico, a menor lixiviação ocorreu na palha de guandu. O fosfato de Arad demonstrou menor lixiviação de P nas camadas de solo.

PALAVRAS-CHAVE: Fabaceae; fosfatos; matéria orgânica; plantio direto; Poaceae.

Data de submissão: 11-01-2014. Data de Aceite: 01-04-2014

<sup>1</sup> Engenheiro-Agrônomo, Doutor, Bolsista CNPq/RHAE

<sup>2</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola – PGEAGRI - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, CCET – Campus de Cascavel. Engenheiro Agrícola, Prof. Assistente, CCET, Campus de Cascavel, Unioeste, Cascavel-Paraná. Monica.costa@unioeste.br

<sup>3</sup> PGEAGRI – aluno nível doutorado.

## PHOSPHATIC FERTILIZER AND STRAW PLANTS GROUND COVER ON THE LEACHING OF PHOSPHORUS

**ABSTRACT:** Cover crops are commonly used in rural areas because they are responsible for the recycling of nutrients. In this study, sources of phosphate and groundcovers species were evaluated in phosphorus leaching. The experiment was carried out in a greenhouse, in the experimental area of Faculdade Assis Gurgacz - FAG, in Cascavel, PR, for 60 days. The experimental design was of randomized block design with three repetitions, factorial design, three sources of phosphorus (single superphosphate, dicalcium phosphate, Arad phosphate) and six straws (three Poaceae and three Fabaceae). The experiment was held in pipes of 100 mm in diameter and 30 cm in height. The soil layers were separated at depths of 2 and 3 cm and analyzed. Single superphosphate and dicalcium phosphate showed greater leaching of P in the layers of 2 and 3 cm of soil. Single superphosphate showed similar solubility for the straw in layers of 2 and 3 cm. The leaching of dicalcium phosphate was lower with the molasses grass in the layer of 2 cm. In the layer of 3 cm of soil with dicalcium phosphate the lower leaching was for pigeon pea straw. The Arad phosphate showed lower leaching of P in soil layers.

**KEYWORDS:** Fabaceae; no-tillage; organic matter; phosphate; Poaceae.

### INTRODUÇÃO

O uso de plantas de cobertura é uma prática comum no meio rural, nos cultivos que antecedem a implantação da cultura principal, pois estas possuem a capacidade de reciclar e armazenar nutrientes na parte aérea. Após o manejo, ocorre aproveitamento dos nutrientes pelas culturas comerciais, tal condição proporciona crescimento vegetal, de acordo com o aumento da quantidade e da qualidade da palha remanescente na superfície do solo.

Nos sistemas de manejo, plantas de cobertura como as Poaceas proporcionam melhorias na estrutura do solo devido ao sistema radicular fasciculado que explora maior volume de solo. Tais plantas apresentam elevada relação C/N e maior tempo de permanência dos resíduos, após o manejo, na superfície do solo.

As Fábaceas são plantas condicionadoras, com adaptação em diversas regiões e condições climáticas. A quantidade e a produção de massa seca são satisfatórias, no entanto, apresentam baixa relação C/N, que resulta em sua rápida decomposição, mas proporciona incrementos nas propriedades químicas, físicas e biológicas do solo. Além disso, as palhas das plantas de cobertura, pela liberação de ácidos

orgânicos, favorecem a complexação de elementos como o alumínio prejudicial ao desenvolvimento radicular das culturas (FRANCHINI *et al.*, 1999).

Por outro lado, a falta da matéria orgânica nos solos das regiões tropicais proporciona redução do rendimento dos cultivos e, aliada à adsorção de fósforo (P), reduz a disponibilidade e movimentação do nutriente na região de atuação das raízes (BERTOL *et al.*, 2010).

A adsorção de P deverá ser máxima com pH ácido (VIVIANI *et al.*, 2010). Esse nutriente pode ser complexado por outros elementos como  $Al^{+3}$  e  $Fe^{+2}$ , tornando-se indisponível para as plantas, pois essas formas complexadas são insolúveis em água. Isso faz da matéria orgânica importante componente, pois gera ácidos orgânicos que reagem com os sítios de adsorção de P proporcionando maior disponibilidade em função de a matéria orgânica possuir misturas de plantas, animais e microrganismos em estádios variados de decomposição, fundamentais para manutenção das propriedades do solo (CUNHA *et al.*, 2009).

A movimentação do P no perfil do solo é influenciada pela adsorção. Solos intemperizados que possuem predomínio de argila 1:1, como a caulinita e óxidos de ferro e alumínio, permitem a troca de cátions e os coloides proporcionam ao solo a capacidade de adsorção iônica (BERTOL *et al.*, 2010; REIS *et al.*, 2011; MACHADO; SOUZA, 2012).

Em estudo da cinética de sorção de fósforo em 12 solos do estado Paraíba, para escolher o melhor ajuste dos dados entre quatro equações e relacionar os coeficientes dessas equações com características dos solos, foi concluído que a velocidade de sorção de P correlacionou-se com os teores de argila, capacidade máxima de adsorção de fosfato e com o teor de alumínio extraído por ditonito-citrato-bicarbonato (SANTOS *et al.*, 2011).

No entanto, na fertilidade do solo, o P é dividido conforme a facilidade de reposição da solução do solo (GATIBONI *et al.*, 2007). Desse modo, a disponibilidade de fósforo pode ser baixa em diversos tipos de solo, e sua restituição é efetuada com fertilizantes fosfatados ou de disponibilidade gradual (NUNES *et al.*, 2011).

A característica de reatividade das fontes de fósforo é fundamental por estarem relacionadas à eficiência em períodos curtos (FONTOURA *et al.*, 2010; SILVA *et al.*, 2011). Dentre os fertilizantes fosfatados, o superfosfato simples, por ser solúvel em água, é utilizado na agricultura. Essa fonte de P, na maioria das vezes, na forma granulada, é rapidamente absorvida pelos vegetais quando entra em contato com o solo.

Outra fonte de P utilizada é o fosfato de natural de Arad, que

possui lenta solubilidade em água e não apresenta efeito imediato significativo, porém tem a característica de apresentar maior efeito residual no solo (OLIBONE; ROSOLEM, 2010).

O fosfato bicálcico é uma fonte de fósforo inorgânico e não é amplamente utilizado na agricultura, sendo mais utilizado na nutrição animal, pois seu custo é elevado. Objetivou-se neste trabalho avaliar as fontes de fosfato e as palhas das espécies de cobertura de solo na lixiviação de fósforo.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em estufa modelo arco, na área experimental da Faculdade Assis Gurgacz (FAG), em Cascavel, PR, durante 60 dias, no período de 30/07/2007 a 30/09/2007. O clima da região, segundo a classificação de Köppen, é Cfa, subtropical mesotérmico superúmido. A precipitação média anual é 1.800 mm (IAPAR, 1998).

O delineamento experimental utilizado foi em blocos casualizados em esquema fatorial (3x6), com três repetições. O primeiro fator representa três fontes de fósforo (superfosfato simples, fosfato de Arad e fosfato bicálcico). O segundo fator envolveu os seis tipos de palhas (três da família Poaceae e três da família Fabaceae).

As palhas utilizadas correspondiam às seguintes famílias: aveia-preta (*Avena strigosa*), braquiária (*Brachiaria decumbens*) e coast-cross (*Cynodon dactylon*), alfafa (*Medicago sativa*), guandu (*Cajanus cajan*) e mucuna-preta (*Mucuna aterrima*).

Antes do início do experimento, a área onde foi coletado o solo era cultivada anualmente no sistema de plantio direto com soja e milho safrinha. O solo utilizado nos vasos foi coletado na camada de 0-10 cm de profundidade, classificado como Latossolo Vermelho distroférrico, de textura argilosa (EMBRAPA, 2006). Em seguida o solo foi seco ao ar, destorroado, homogeneizado e passado em peneira de malha quatro (5,54 mm de abertura), para a retirada de torrões e impurezas. A análise química inicial do solo utilizado no experimento é apresentada na Tabela 1.

**Tabela 1** Análise química do solo utilizado para preenchimento dos vasos de PVC

Prof. (cm)	pH CaCl <sub>2</sub>	Ca	Mg	K cmol <sub>c</sub> dm <sup>-3</sup>	CTC	C*	P**	V%
0-10	5,50	8,84	2,59	0,84	16,88	28,86	40,42	72,69

Para a instalação do experimento, foram montados vasos a partir da sobreposição de anéis de PVC rígido com 100 mm de diâmetro, 30 cm de altura e peso médio de 368 g. Os vasos foram cortados em anéis com alturas 7,5; 5,0; 3,0 e 2,0 cm, para facilitar a retirada das camadas de solo ao final do experimento, constituindo 6 divisões que resultaram em um conjunto de anéis que formavam a coluna, simulando as camadas do perfil do solo. Os anéis foram montados em sobreposição e unidos com fita plástica adesiva. Inicialmente foram unidos os dois anéis de 7,5 cm, depois um de 5,0 cm, um de 3,0 cm, um de 2,0 cm e um de 5,0 cm, constituindo colunas de solo com camadas de 0-7,5; 7,5-15,0; 15,0-20,0; 20,0-23,0; 23,0-25,0; 25,0-30,0 cm. Os vasos foram confeccionados com o objetivo de acondicionar quantidades de solo até a camada de 23,0-25,0 cm, pois a última camada de 5,0 cm serviu para acomodação das palhas. Após a montagem dos vasos, o fundo foi vedado com tela plástica (malha de 1 mm e 18 cm de diâmetro), presa com elástico para sustentar e evitar perdas de solo, bem como recolher o excesso de água percolado das irrigações que retornavam aos vasos.

Os vasos continham 1,963 dm<sup>3</sup> de solo, com volume total de 2,356 dm<sup>3</sup>. As espécies foram colhidas secas à sombra e colocadas em estufa de circulação forçada a 60 °C até peso constante. Posteriormente, elas foram cortadas para aumentar a superfície de contato com o solo e as fontes de fósforo foram distribuídas sobre as palhas. As palhas foram utilizadas para simular a palhada das plantas de cobertura na superfície do solo no sistema de plantio direto.

A quantidade de palha utilizada em cada vaso para as Poaceae foi de 13,5 g e para Fabaceae de 17,0 g, correspondendo a 17.197,4 kg ha<sup>-1</sup> e 21.656,0 kg ha<sup>-1</sup> de matéria seca. Essas quantidades de palhas foram determinadas pela duração do experimento. Desse modo, com a decomposição, esperava-se a produção de elevadas quantidades de ácidos orgânicos.

Para as fontes de fósforo, as quantidades distribuídas sobre as palhas foram: 39,27 g coluna<sup>-1</sup> de superfosfato simples, 28,7 g coluna<sup>-1</sup> de fosfato bicálcico e 22,6 g coluna<sup>-1</sup> de fosfato de Arad. As fontes de fósforo foram distribuídas sobre as palhas e regadas para solubilizar os adubos. O superfosfato simples, o fosfato de Arad e o fosfato bicálcico contêm 19%, 33% e 26% de P, respectivamente.

As quantidades dos adubos utilizadas foram superestimadas para proporcionar maiores quantidades de fósforo na solução do solo, com isso, ocorrendo maior movimentação do nutriente para camadas mais profundas.

Os vasos foram dispostos em mesas de ferro, com telas (malha 4,5 cm) para permitir a colocação de recipientes para a coleta da água percolada durante a irrigação. As mesas foram distribuídas de forma longitudinal, e os espaços entre cada vaso mediam 2,5 cm.

As irrigações para a manutenção da umidade do solo ocorreram em intervalos de 4 dias. A quantidade de água adicionada em cada vaso simulou o regime hídrico típico da estação primavera-verão da região oeste do Estado do Paraná.

Após 60 dias, foram interrompidas as irrigações permanecendo os vasos em repouso por 15 dias, para redução de umidade e posterior remoção do solo. Após esse período, os vasos de PVC foram retirados das bancadas, os anéis foram desmontados e o solo foi coletado. Com uma espátula, as camadas de solo em cada anel foram removidas, de modo que permanecessem separadas as profundidades de 2 cm e 3 cm, e analisadas quimicamente.

As análises de fósforo realizadas nas camadas de solo foram determinadas pelo método de Mehlich 1 (EMBRAPA, 2009), o qual é preconizado pela CELA (Comissão Estadual de Laboratórios Agrônômicos).

Para extração do fósforo, foram utilizados 10 cm<sup>3</sup> de solo em recipientes com adição de 100 mL de solução extratora (HCl 0,05 mol L<sup>-1</sup> + H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,0125 mol L<sup>-1</sup>). Posteriormente, os recipientes foram agitados por 5 minutos e permaneceram em repouso por uma noite. Os teores de fósforo foram determinados com alíquotas de 5 mL do extrato mais a adição de 10 mL da solução ácida de molibdato de amônio diluída. As leituras foram realizadas em fotocolorímetro no comprimento de onda de 660 nm.

As análises estatísticas foram realizadas com o Software Sisvar para Windows, versão 4.3 e as médias comparadas pelo de Tukey a 5% de probabilidade.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 2, são descritos os teores de P no solo com as palhas, em função da utilização das fontes superfosfato simples, fosfato bicálcico e fosfato de Arad na camada de 2 cm.

**Tabela 2** Teor de fósforo conforme as fontes e palhas no solo em tubos de PVC na camada de 2 cm do vaso

Palhas	Fontes de fósforo		
	Fosfato bicálcico	Superfosfato simples	Fosfato de Arad
		camada 0-2 cm (mg dm <sup>-3</sup> )	
Alfafa	706,0 aA	522,0 bA	43,0 cA
Aveia	523,1 aAB	600,4 aA	43,8 bA
Braquiaria	423,5 aB	454,7 aA	42,5 bA
Coast Cross	699,8 aA	486,1 bA	40,0 cA
Guandu	553,2 aAB	503,9 aA	39,2 bA
Mucuna	607,7 aAB	584,6 aA	56,1 bA
DMS		187,8	
CV(%)		19,8	

Média seguida da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

As fontes de P apresentaram variações e modificaram a composição química do solo de modo distinto, havendo pronunciado efeito na camada de 2 cm sobre a disponibilidade de P, principalmente no caso das fontes mais solúveis. Em experimento com o objetivo de avaliar a eficiência de superfosfato simples, fosfato natural parcialmente solubilizado, termofosfato magnésiano e outros nutrientes secundários para o cultivo do eucalipto em latossolo vermelho-escuro e areia quartzosa álica, foi observado durante o tempo de incubação que as fontes e doses demonstraram variações nos teores de P extraído. Tais condições foram relacionadas à solubilização das fontes, às reações de adsorção, à precipitação de P e à atividade microbiana do solo (GAVA *et al.*, 1997).

Houve diferenças significativas entre as palhas e as fontes de P aplicadas no solo com teores superiores ao conteúdo da análise inicial, que apresentou valor de 40,42 mg dm<sup>-3</sup>. Somente os tratamentos guandu + fosfato de Arad e coast cross + fosfato de Arad apresentaram teores inferiores ao P inicial, de modo que o tratamento com guandu + fosfato de Arad apresentou a menor média de movimentação de P, comparado aos demais tratamentos. Tal condição pode ser associada à distribuição das formas de P, que dependem das propriedades do solo, tais como o pH (TOKURA *et al.*, 2002).

Por outro lado, entre as palhas, os tratamentos alfafa + fosfato bicálcico e coast cross + fosfato bicálcico apresentaram teores superiores de P em relação às mesmas palhas com a utilização de superfosfato simples. Provavelmente, a aplicação de água sobre as palhas favoreceu

a decomposição e conseqüentemente a liberação de ácidos orgânicos, que por sua vez contribuíram para disponibilização de P na camada de 2 cm (CORRÊA; MAUAD; ROSOLEM, 2004).

Todas as palhas com as fontes de superfosfato simples e fosfato bicálcico demonstraram maior movimentação e disponibilidade de P em comparação ao fosfato de Arad. Tais condições podem ser relacionadas à solubilidade das fontes de fosfato, ao curto espaço de tempo e à adsorção do elemento na camada de 2 cm.

Em estudo para determinar as frações preferenciais de acumulação de P pela adição de doses (0, 30, 60, 90 e 120 kg ha<sup>-1</sup> de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) (superfosfato triplo) de fosfato solúvel ao solo no sistema de plantio direto, foi observado que apenas as frações inorgânicas aumentaram com a adição do fosfato no solo, o que indica que a adição de P por meio do fertilizante se acumula nas formas inorgânicas no solo (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Em relação ao comportamento das fontes de P em cada tipo de palha, observou-se que a movimentação foi semelhante para o superfosfato simples e fosfato de Arad, enquanto para o fosfato bicálcico houve diferenças significativas das palhas de alfafa e coast cross, comparadas à braquiária. No caso do superfosfato simples, é uma fonte de P solúvel em água, prontamente disponível aos vegetais e de rápida absorção (SILVA *et al.*, 2011). Desse modo, o superfosfato simples mostrou-se móvel no solo, com médias estatisticamente semelhantes, no entanto, maiores em relação ao P inicial, com acúmulo maior de P na camada 0-2 cm, resultante da aplicação da fonte de fosfato. Entretanto, o latossolo vermelho apresenta altos teores de argila, que, associada a outros fatores como óxidos de ferro e de alumínio, favorece a adsorção e/ou a precipitação do P aplicado (CORRÊA; NASCIMENTO; ROCHA, 2011).

A aplicação de superfosfato simples na braquiária apresentou menor média de movimentação de P em relação aos demais tratamentos. Infere-se que isso tenha ocorrido em decorrência da decomposição lenta da braquiária e do curto espaço de tempo (60 dias). Devido a tal fator, houve menor produção de ácidos orgânicos capazes de saturar sítios de adsorção de P.

Na Tabela 3, são apresentados os teores de P no solo com as palhas em função da utilização das fontes superfosfato simples, fosfato bicálcico e fosfato de Arad na camada de 3 cm.

**Tabela 3** Teor de fósforo conforme as fontes e palhas no solo em vasos de PVC na camada de 3 cm

Palhas	Fontes de fósforo		
	Fosfato bicálcico	Superfosfato simples	Fosfato de Arad
	Camada de 3 cm (mg dm <sup>-3</sup> )		
Alfafa	184,2 aA	236,1 aA	35,1 bA
Aveia	105,3 bAB	235,7 aA	36,6 bA
Braquiaria	106,6 bAB	184,8 aA	34,9 bA
Coast Cross	105,3 bAB	194,0 aA	37,0 bA
Guandu	67,6 bB	198,1 aA	41,5 bA
Mucuna	125,8 bAB	219,5 aA	35,1 bA
DMS		90,9	
CV(%)		30,4	

Média seguida da mesma letra, minúscula na linha e maiúscula na coluna, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

A mobilidade do fósforo diminuiu com a mudança de profundidade do solo, o que pode ser resultante da adsorção do elemento nas partículas de argila na camada superior. Tal condição recebeu contribuições da retenção de água do solo, embora uma parte do fósforo tenha-se movimentado, as superfícies das argilas são cobertas com átomos de oxigênio e grupamentos de hidroxilas. Esses grupamentos por sua vez são negativamente carregados; com isso, é formado um campo elétrico ao redor das partículas minerais que diminui sua intensidade à medida que se afasta da superfície dos colóides. Desse modo, as moléculas de água são orientadas no campo elétrico e recebem uma força no sentido da superfície das partículas minerais (LIBARDI, 2010). Tal situação contribui para disponibilidade e adsorção de fósforo no solo.

As palhas dentro do superfosfato simples apresentaram maiores quantidades de fósforo em comparação às demais fontes, exceto a palha de alfafa, que demonstrou similaridade com fosfato bicálcico. Além disso, com a palha de alfafa a mobilidade do fósforo no solo com as fontes superfosfato simples e fosfato biocálcico superaram a disponibilidade apresentada com a utilização de fosfato de Arad.

Isso pode ser associado à solubilidade do fosfato de Arad, que é menor em relação às fontes solúveis. Na aplicação de fontes de fósforo (farinha de ossos, fosfato de Arad e superfosfato triplo) para adubação da cana-de-açúcar forrageira no cerrado, foi verificado que o fosfato de Arad proporcionou menor acúmulo de massa seca, mas não diferiu estatisticamente da testemunha, em função da disponibilidade gradual de P à cultura, com indicativos de melhores resultados nos cultivos subsequentes (CACIONE *et al.*, 2011).

A movimentação apresentada pelo superfosfato simples entre as palhas correspondeu aos teores observados para as palhas dentro da fonte. Com isso, os teores de P disponível na camada analisada foram ainda maiores que a quantidade inicial apresentada pelo solo. A movimentação do P no solo, originada pelo superfosfato simples, ocorre em função da solubilidade em água (MALAVOLTA, 1981).

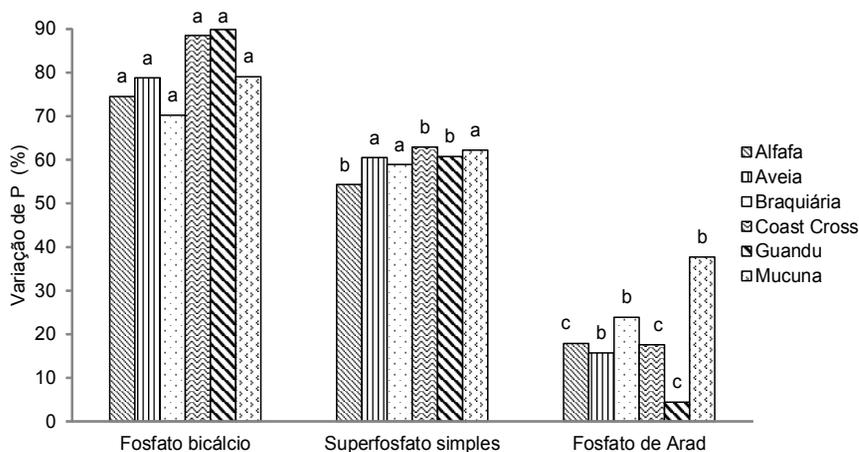
No caso do fosfato bicálcico, a palha de alfafa auxiliou na disponibilização de P no solo em maiores quantidades do que o apresentado pela palha de guandu. As palhas podem apresentar composição distinta de celulose, hemicelulose e lignina, de modo que a decomposição é influenciada pelo teor de fibras. Assim, a liberação de ácidos orgânicos pode oscilar e alterar a disponibilidade de P no solo (PAVINATO; ROSELEM, 2008).

O fosfato de Arad, em cada palha, na camada de 3 cm, demonstrou modificações dos teores de P no solo abaixo do valor inicial, exceto para a palha de guandu, que permaneceu com conteúdo superior, embora os teores de P com adição do fosfato reativo natural sejam semelhantes em cada palha. Provavelmente, isso é resultante do pH mais elevado, do nível de umidade no solo, da solubilidade da fonte de fosfato e do tempo de condução do experimento.

Na solubilização das fontes superfosfato triplo, fosfato de Patos de Minas e fosfato de Arad, que corresponderam a  $50 \text{ mg kg}^{-1}$  de  $\text{P}_2\text{O}_5$  em dois solos alagados (planossolo e cambisol), foi relatado que os teores de P na solução foram mais solúveis para o superfosfato triplo, seguido pelo fosfato de Arad e pelo fosfato de Patos de Minas, embora não tenham apresentado diferenças estatísticas nos períodos de 1, 28, 35 e 88 dias de alagamento (GONÇALVES *et al.*, 2008).

Por outro lado, embora o fosfato de Arad não tenha proporcionado efeito imediato como as demais fontes de adubo, o aproveitamento do P do fosfato de Arad pelos vegetais será conforme as disponibilidades graduais no solo (RESENDE *et al.*, 2006).

As palhas com as fontes de fosfato bicálcico e superfosfato simples apresentaram as maiores porcentagem de variação entre as camadas de 2 cm e 3 cm no solo, comparadas ao fosfato de Arad (Figura 1).



**Figura 1** Porcentagem de variação de P conforme as fontes e palhas no solo em vasos de PVC nas camadas de 2 cm e 3 cm

O fosfato bicálcico, com as palhas de alfafa, coast cross e guandu, demonstrou maiores variações de P entre as camadas de solos em relação às mesmas palhas com superfosfato simples. Provavelmente as lixiviações do fosfato bicálcico sejam resultantes da ação da água sobre a fonte com granulometria fina, condições que possibilitaram a movimentação do fosfato bicálcico entre as partículas de solo para regiões distantes do local de aplicação (LIBARDI, 2010).

Por outro lado, o superfosfato simples apresentou variações semelhantes entre o fosfato bicálcico com as palhas de aveia, braquiária e guandu. Entretanto, as menores variações na movimentação de fósforo observadas entre as fontes com as palhas de alfafa, coast cross e guandu provavelmente estejam relacionadas ao maior tempo para solubilidade dos grânulos de fosfato, à facilidade para drenagem da água aplicada, ao arranjo das palhas nos vasos, à quantidade de palha e à adsorção do elemento nos colóides do solo (HARGER *et al.*, 2007).

Apesar de o superfosfato simples lixiviar de modo distinto dentre as fontes, dentro de cada palha houve comportamento semelhante, situação que corresponde ao tempo equivalente para umedecimento e desintegração completa dos grânulos aplicados em comparação às variações apresentadas entre fonte como o fosfato bicálcico (CONTE; ANGHINONI; RHEINHEIMER, 2003).

Para o fosfato Arad, considerado uma fonte de média solubilidade, houve entre as fontes superioridade para o fosfato bicálcico e

superfosfato simples, mas entre as palhas a movimentação maior foi para a palha de mucuna em relação ao guandu. A menor variação de P apresentada pela palha de guandu pode ser relacionada a restrições impostas pelas folhas à passagem da fonte de fósforo para entrar em contato com o solo e ao tempo para solubilidade em água comparada aos demais fertilizantes (OLIBONE; ROSOLEM, 2010).

## CONCLUSÕES

As palhas influenciam a mobilização de fósforo nas camadas de 2 e 3 cm do solo. Palhas de alfafa + fosfato bicálcico e coast cross + fosfato bicálcico apresentam teores P maiores na camada de 2 cm. Todas as palhas com superfosfato simples apresentam maior solubilidade de fósforo na camada de 3 cm, exceto para alfafa + superfosfato simples e alfafa + fosfato bicálcico.

O superfosfato simples e o fosfato bicálcico apresentam maiores teores de P nas camadas de 2 e 3 cm de solo. O superfosfato simples nas camadas de 2 e 3 cm demonstra solubilidade similar para todas as palhas.

A movimentação de fosfato bicálcico na camada de 2 cm de solo é menor com a braquiária. Na camada de 3 cm de solo, menor lixiviação de fosfato bicálcico ocorre com a palha de guandu.

O fosfato de Arad apresenta menores teores de P nas camadas analisadas de solo.

Palhas com fosfato bicálcico e superfosfato simples demonstraram maiores porcentagem de variação na movimentação de P. Maiores variações na lixiviação de P ocorrem com fosfato bicálcico e as palhas de alfafa, coast cross e guandu.

## REFERÊNCIAS

BERTOL, O. J.; FEY, E.; FAVARETTO, N.; LAVORANTI, O. J.; RIZZI, N. E. Mobilidade de P, Cu e Zn em colunas de solo sob sistema de semeadura direta submetido às adubações mineral e orgânica. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1841-1850, 2010

CACIONE, G.; LANGE, A.; BENETT, C. G. S.; FERNANDES, F. M. Fontes de fósforo para adubação de cana-de-açúcar forrageira no cerrado. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, Goiânia, v. 41, n. 1, p. 66-73, 2011.

CONTE, E.; ANGHINONI, I.; RHEINHEIMER, D. S. Frações de fósforo acumuladas em latossolo argiloso pela aplicação de fosfato no sistema plantio direto. *Revista Brasileira Ciência do Solo*, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 893-900, 2003.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 39, n. 12, p. 1231-1237, 2004.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C. W. A.; ROCHA, A. T. Adsorção de fósforo em dez solos do Estado de Pernambuco e suas relações com parâmetros físicos e químicos. *Acta Scientiarum. Agronomy*, Maringá, v. 33, n. 1, p. 153-159, 2011.

CUNHA, T. J. F.; BASSOI, L. H.; SIMÕES, M. L.; MARTIN NETO, L.; PETRERE, V. G.; RIBEIRO, P. R. A. Ácidos húmicos em solo fertirrigado no vale do São Francisco. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 33, n. 6, p. 1583-1592, 2009.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa solos, 2006.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). Manual de análises químicas do solo, plantas e fertilizantes. 2. ed. rev. ampl. Brasília: Embrapa informação tecnológica, 2009.

FONTOURA, S. M. V.; VIEIRA, R. C. B.; BAYER, C.; ERNANI, P. R.; MORAES, R. P. Eficiência técnica de fertilizantes fosfatados em latossolo sob plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 34, n. 6, p. 1914-1914, 2010.

FRANCHINI, J. C. MIYAZAWA, M.; PAVAN, M. A.; MALAVOLTA, E. Dinâmica de íons em solo ácido lixiviado com extratos de resíduos de adubos verdes e soluções puras de ácidos orgânicos. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 12, p. 2267-2276, 1999.

GATIBONI, L. C.; KAMINSKI, J.; RHEINHEIMER, D. S.; FLORES, J. P. C. Biodisponibilidade de formas de fósforo acumuladas em solo sob sistema plantio direto. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 31, n. 4, p. 691-699, 2007.

GAVA, J. L.; GONÇALVES, J. L. M.; SHIBATA, F. Y.; CORRADINI, L. Eficiência relativa de fertilizantes fosfatados no crescimento inicial de eucalipto cultivado em solos do cerrado. *Revista Brasileira de Ciência Solo*, Viçosa, v. 21, n. 3, p. 497-504, 1997.

GONÇALVES, G. K.; SOUSA, R. O.; VAHL, L. C.; BORTOLON, L. Solubilização dos fosfatos naturais patos de minas e arad em dois solos alagados. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 32, n. 5, p. 2157-2164, 2008.

HARGER, N. et al. Avaliação de fontes e doses de fósforo no crescimento inicial do milho. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 28, n. 1, p. 39-44, 2007.

LIBARDI, P. L. Água no solo. In: LIER, Q. J. V. (Org.). *Física do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2010. p. 103-152.

MACHADO, V. J.; SOUZA, C. H. E. Disponibilidade de fósforo em solos com diferentes texturas após aplicação de doses crescentes de fosfato monoamônico de liberação lenta. *Bioscience Journal*, Uberlândia, v. 28, supplement 1, p. 1-7, 2012.

MALAVOLTA, E. *Manual de química agrícola: adubos e adubação*. 3. ed. São Paulo: Agronômica Ceres, 1981.

NUNES, R. S.; SOUSA, D. M. G.; GOEDERT, W. J.; VIVALDI, L. J. Distribuição de fósforo no solo em razão do sistema de cultivo e manejo da adubação fosfatada. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 877-888, 2011.

OLIBONE, D.; ROSOLEM, C. A. Phosphate fertilization and phosphorus forms in an Oxisol under no-till. *Scientia Agricola*, Piracicaba, v. 67, n. 4, p. 465-471, 2010.

PAVINATO, P. S.; ROSOLEM, C. A. Disponibilidade de nutrientes no solo – decomposição e liberação de compostos orgânicos de resíduos vegetais. *Revista Brasileira de Ciência do solo*, v. 32, n. 3, p. 911-920, 2008.

REIS, T. H. P.; GUIMARÃES, P. T. G.; FURTINI NETO, A. E.; GUERRA, A. F.; CURI, N. Soil phosphorus dynamics and availability and irrigated coffee yield. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 2, p. 503-512, 2011.

RESENDE, A. V.; FURTINI NETO, A. E.; ALVES, V. M. C.; MUNIZ, J. A.; CURI, N. LAGO, F. J. Resposta do milho a fontes e modos de aplicação de fósforo durante três cultivos sucessivos em solo da região do cerrado. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 30, n. 3, p. 458-466, 2006.

SANTOS, H. C.; OLIVEIRA, F. H. T.; SALCEDO, I. H.; SOUZA, A. P.; SILVA, V. D. M. Kinetics of phosphorus sorption in soils in the state of Paraíba. *Revista Brasileira de Ciência do Solo*, Viçosa, v. 35, n. 4, p. 1301-1310, 2011.

SILVA, T. O.; FURTINI NETO, A. E.; CARNEIRO, L. F.; PALUDO, V. Plantas de cobertura submetidas a diferentes fontes de fósforo em solos distintos. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, n. 4, p. 1315-1326, 2011.

TOKURA, A. M.; FURTINI NETO, A. E.; CURI, 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*, Brasília, v. 37, n. 10, p. 1467-1476, 2002.

VIVIANI, C. A.; MARCHETTI, M. E.; VITORINO, A. C. T.; NOVELINO, J. O.; GONÇALVES, M. C. Disponibilidade de fósforo em dois latossolos argilosos e seu acúmulo em plantas de soja, em função do aumento do pH. *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 34, n. 1, p. 61-67, 2010.