



Difusão de fósforo em solos com mineralogia e sob sistemas de preparos diferentes⁽¹⁾.

Jessé Rodrigo Fink⁽²⁾; Jovana Bavaresco⁽³⁾; Alberto Vasconcellos Inda⁽⁴⁾; Vidal Barrón⁽⁵⁾

⁽¹⁾ Trabalho executado com recursos da CAPES e CNPq.

⁽²⁾ Pós-doutorando; PPG Ciência do Solo da Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRGS; Porto Alegre, RS; fink1j@gmail.com; ⁽³⁾ Doutoranda, PPG Ciência do Solo, UFRGS; ⁽⁴⁾ Professor Associado, Departamento de Solos – UFRGS; ⁽⁵⁾ Professor Catedrático, Universidade de Córdoba, Espanha.

RESUMO: A mineralogia do solo pode afetar a difusão de fósforo (P) devido às diferentes capacidades de adsorção de cada mineral. O objetivo do trabalho foi avaliar a difusão de fósforo em solos com diferentes mineralogias e sob diferentes sistemas de manejo. Um Latossolo Vermelho (LVdf), um Latossolo Bruno (LBa) e um Argissolo Vermelho (PVd) sob preparo convencional (CT) ou sistema de plantio direto (NT) foram usados para avaliar a difusão de P adicionado na parte central de uma placa de Petri contendo solo. A difusão de fósforo no solo foi regida pelos óxidos de Fe, principalmente pela goethita, e foi independente do sistema de manejo do solo. A menor recuperação do P adicionado no solo goethítico, sugere que plantas sobre solos com alto conteúdo deste óxido de Fe podem ter problemas na absorção de P adicionados via fertilizantes.

Termos de indexação: hematita, goethita, óxidos de ferro.

INTRODUÇÃO

O fósforo (P) é um nutriente essencial para a vida vegetal, mas sua disponibilidade é, geralmente, muito baixa, porque o P está envolvido em múltiplas reações do solo. Em comparação aos outros nutrientes, o P é o elemento menos móvel e disponível do solo (Hinsinger, 2001) e restringe a produtividade de culturas desenvolvidas em solos muito intemperizados (DeLong et al., 2013). Consequentemente, sistemas de manejo do solo e práticas de fertilização devem ser adotados para aumentar a eficiência da fertilização fosfatada e a disponibilidade de P (Barrow e Debnath, 2014).

O movimento do fosfato para próximo da raiz ocorre principalmente por difusão na solução do solo, de onde é absorvido pelas plantas (Barber, 1995). O fluxo difusivo e a disponibilidade de P são afetados pela umidade, densidade, conteúdo de argila, mineralogia e concentração de P do solo (Hinsinger et al., 2011). A alta capacidade de adsorção de P pelos óxidos de Fe e Al em solos muito intemperizados contribui para manter uma baixa concentração de P (Johnson e Loeppert, 2006; DeLong et al., 2013) e reduzir o fluxo difusivo de

fosfato na solução do solo. A alta reatividade do fosfato com partículas minerais resulta na sua adsorção, impedindo, dificultando ou retardando a aproximação deste ânion às raízes das plantas (Raghotama e Karthikeyan, 2005).

A hipótese deste trabalho é que a difusão de P depende da mineralogia do solo e do sistema de manejo. O objetivo do trabalho foi avaliar a difusão de P em solos subtropicais sob preparo convencional e sistema de plantio direto.

MATERIAL E MÉTODOS

Amostras foram coletadas em 2013 de três solos subtropicais brasileiros: 1) um Argissolo Vermelho distrófico (PVd; Embrapa, 2013), localizado na Estação experimental Agrônômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2) um Latossolo Vermelho distroférico (LVdf; Embrapa, 2013), localizado em uma lavoura comercial na região de Santa Rosa (Rio Grande do Sul); e 3) um Latossolo Bruno aluminico (LBa; Embrapa, 2013), localizado na Estação Experimental da Fundação Agrária de Pesquisa Agropecuária (Paraná). O desenho experimental dos três experimentos eram blocos ao acaso com três repetições e dois tratamentos [plantio convencional (CT) e plantio direto (NT)].

O experimento sobre PVd foi instalado em 1985 em um campo onde CT tinha sido praticado desde 1970. Ervilhaca (*Vicia sativa*) + aveia preta (*Avena strigosa*) no inverno e milho (*Zea mays*) + caupi (*Vigna unguiculata*) no verão eram cultivados sob NT. Sob CT, aveia preta (no inverno) e milho (no verão) eram cultivados. Na área do LVdf, o NT foi implantado em 1997 após 27 anos sob CT manejado com um escarificador e uma grade niveladora. A rotação de culturas incluiu trigo (*Triticum aestivum*), soja (*Glycine max*), nabo forrageiro (*Raphanus sativus*), aveia preta, ervilhaca e milho. O solo do experimento do LBa tinha sido arado sob CT desde 1950. O NT foi instalado na metade da área em 1978 e uma semeadora adubadora era usada para semear trigo, cevada, aveia, nabo forrageiro, ervilhaca e milho em um sistema de rotação.

Trinta e seis amostras compostas de solo foram



coletadas, correspondendo a 3 áreas, 3 blocos experimentais, 2 tratamentos e 2 profundidades.

Difusão de fósforo

As amostras de solo (fração <2,00 mm) foram gentilmente colocadas em placas Petri de 5 cm de diâmetro e 1 cm de altura. A densidade do solo foi de 1,20 g cm⁻³ para o PVd, 1,11 g cm⁻³ para o LVdf e 0,94 g cm⁻³ para o LBa. Setenta e duas placas Petri foram usadas para cada solo [3 placas Petri (2 replicatas + 1 controle) x 3 blocos experimentais x 2 sistemas de manejo x 4 períodos de avaliação]. Lâminas (8 x 20 mm) de resina trocadora de ânions (ERA; AMI-7001) foram colocadas nos quatro quadrantes da parede lateral da placa Petri. Então, uma dose de 68,44 mmol P kg⁻¹ (NH₄H₂PO₄) foi adicionada na parte central da placa Petri a 0,5 cm de profundidade. Esta dose corresponde à quantidade de P que é adicionado em 2 cm de linha de plantio quando 135 kg P₂O₅ ha⁻¹ são aplicados. A umidade do solo foi mantida em aproximadamente 80 % da capacidade de campo. Após 7, 14, 21, e 28 dias da aplicação de P, as lâminas de AER foram cuidadosamente removidas, lavadas com fluxo de água ultrapurificada para remover o solo, agitadas por 2 h em agitador end-over-end com 10 mL de HCl 0,5 mol L⁻¹, e finalmente, a concentração de P em solução foi determinada por Murphy e Riley (1962). A quantidade de P adsorvida pelas lâminas de AER, descontado o valor de P adsorvido naquelas que estavam nas placas de Petri sem aplicação de P, foi considerado a quantidade de P difundido e que poderia ser absorvido pelas raízes; a área das lâminas de AER simulou a área de raízes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Características do solo

O conteúdo de argila variou de 197 g kg⁻¹ para o PVd a 638 g kg⁻¹ para o LBa (Tabela 1), o que é consistente com a natureza dos materiais de origens (granito para PVd; basalto para LVdf e LBa). O conteúdo de C orgânico na camada superficial sob NT foi maior do que sob CT (Tabela 1) devido à ausência de revolvimento do solo no NT que permite a acumulação de resíduos de plantas e o consequente aumento do conteúdo de carbono orgânico na camada superficial do solo (Souza et al., 2014). Em adição, o conteúdo de C orgânico foi estatisticamente maior na camada superficial (0-5 cm) do que na camada mais profunda (5-10 cm) para os dois Latossolos (LVdf e LBa) sob NT. De acordo com Six et al. (2002), o C orgânico recebe proteção física mais efetiva em solos ricos em argila, os quais são mais hábeis em acumular matéria orgânica. O

nível de P disponível quando as amostras foram coletadas foi interpretado como alto (CQFS RS/SC, 2004).

Os Latossolos sobre basalto foram mais ricos em Fe_d do que o Argissolo sobre granito (Tabela 1), o que é consistente com o maior teor de Fe da rocha basalto. O Fe dos óxidos de Fe de baixa cristalinidade (Fe_{ox}) variaram entre 1,0 e 3,8 g kg⁻¹ e os maiores valores foram os da camada subsuperficial do LVdf e LBa. No PVd, os solos diferiram amplamente na composição mineralógica (dado não mostrado). O maior teor de Hm foi observado no LVdf (63 g kg⁻¹; Tabela 1) e de Gt no LBa (88 g kg⁻¹), este último sendo positivamente correlacionado com C orgânico (r = 0.66; p < 0.001). Um substancial conteúdo de Mh foi observado no LVdf (36 g kg⁻¹; Tabela 1).

Difusão de fósforo

Na Figura 1 é mostrada a difusão de P em função do tempo para os três solos. O valor médio de difusão diminuiu na sequência PVd (71,4±2,8 μmol m⁻²), LVdf (5,5±1,1 μmol m⁻²) e LBa (0,1±0,1 μmol m⁻²). A difusão de P foi dependente da concentração total dos óxidos de Fe (Fe_d) e, principalmente, da goethita (r = -0,90; p < 0,001), a qual tem maior área superficial e capacidade de adsorção de P em relação à hematita (Torrent et al., 1994). A difusão de P no LVdf e no PVd sob NT e CT variou significativamente ao longo do tempo, em contraste com o LBa (Figura 2), mas o equilíbrio foi alcançado aos 14 dias após a adição do fosfato para o RP e aos 21 dias para o LVdf. O maior conteúdo de goethita e hematita no LVdf aumentou a área superficial específica, a adsorção de P, e reduziu a mobilidade de P no solo devido ao aumento do fator impedância nesse solo em comparação ao PVd.

Diferenças não significativas nos valores de difusão de P foram encontrados entre NT e CT, embora o NT tenha mostrado maior conteúdo de C orgânico (Tabela 1), o que poderia retardar a adsorção de P (Afif et al., 1995) e aumentar a sua difusão.

Aos 28 dias, o total de P recuperado, em relação à quantidade adicionada, por extrações com AER {Figura 2; [(P na zona central) + (P na zona externa)]} foi de 99 % para o LVdf, 80 % para o LBa e 100 % para o PVd da quantidade adicionada. O alto conteúdo de Gt no LBa diminuiu a difusão de P em comparação ao LVdf, que exibiu principalmente Hm. A goethita exibe menor dessorção de P que a hematita, pois uma considerável quantidade de fosfato pode penetrar na estrutura do mineral (Wang et al., 2013). Uma inesperada maior recuperação de P foi observada no LVdf sob CT em comparação ao



NT.

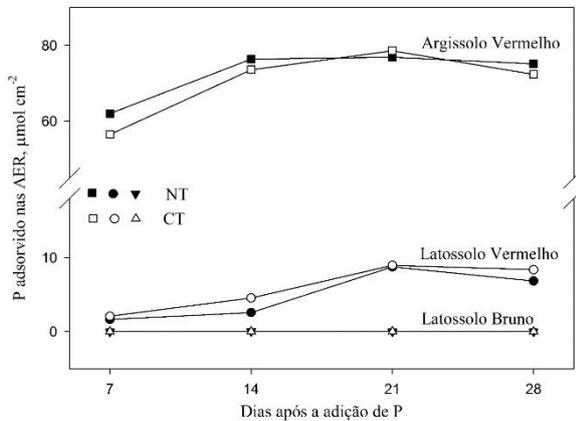


Figura 1. Fósforo difundido no solo das placas Petri após a adição de P em amostras de um Argissolo Vermelho, um Latossolo Vermelho e um Latossolo Bruno sob sistema de plantio direto (NT) ou preparo convencional (CT).

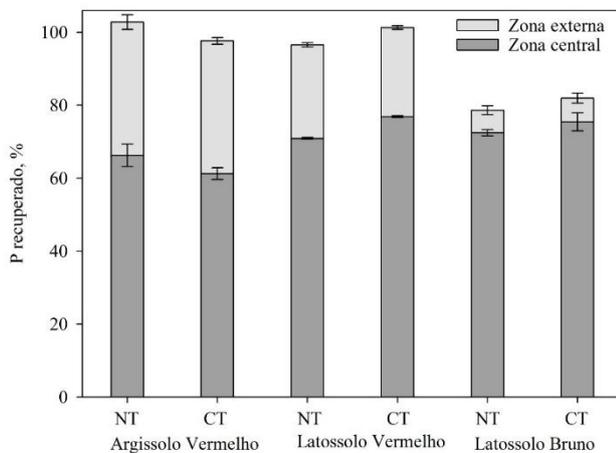


Figura 2. Concentração de P no solo (\pm erro padrão) da zona central e da zona externa das placas de Petri, 28 dias após a adição de P em um Argissolo Vermelho, um Latossolo Vermelho e um Latossolo Bruno sob sistema de plantio direto (NT) ou plantio convencional (CT).

A zona central (CZ) do solo teve maior concentração de P do que a zona externa (EZ) 28 dias após a adição do fosfato (Figura 2), como esperado. A taxa $[(P \text{ na zona central}) / (P \text{ na zona externa})]$ foi de ≈ 2 para o PVd, ≈ 3 para o LVdf e ≈ 12 para o LBa. Este fato indica que a maioria do P adicionado no LBa foi adsorvido pelo solo da zona central, diminuindo a difusão para a zona externa (Figura 1 e 2). Estes resultados sugerem que o fertilizante fosfatado alocado distante das sementes de uma cultura, poderia limitar o desenvolvimento

inicial devido à baixa difusão de P no solo com alto teor de óxidos de Fe, especialmente com predomínio de goethita.

CONCLUSÕES

A difusão de P é correlacionada com a concentração de óxidos de Fe pedogênicos, principalmente com a goethita, e independe do sistema de manejo do solo.

Solos com alto conteúdo de Gt adsorvem fósforo com maior energia de ligação, diminuindo P recuperado.

REFERÊNCIAS

AFIF, E.; BARRÓN, V.; TORRENT, J. Organic matter delays but does not prevent phosphate sorption by Cerrado soils from Brazil. *Soil Science*, 159:207-211, 1995.

BARBER, S.A. *Soil nutrient bioavailability: a mechanistic approach*, 2ed Ed. John Wiley & Sons, New York, 1995.

BARROW, N.J.; DEBNATH, A. Effect of phosphate status on the sorption and desorption properties of some soils of northern India. *Plant and Soil*, 378:383-395, 2014.

CQFS-RS/SC. *Manual de adubação e calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina*. 10th ed. Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004.

DELONGE, M.; VANDECAR, K. L.; D'ODORICO, P. et al. The impact of changing moisture conditions on short-term P availability in weathered soils. *Plant and soil*, 365:201-209, 2013.

EMBRAPA. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3.ed. Brasília, 2013. 353p.

HINSINGER, P. Bioavailability of soil inorganic P in the rhizosphere as affected by root-induced chemical changes: a review. *Plant and Soil*, 237: 173-195, 2001.

HINSINGER, P.; BRAUMAN, A.; DEVAU, N. et al. Acquisition of phosphorus and other poorly mobile nutrients by roots. Where do plant nutrition models fail? *Plant Soil*, 348:29-61, 2011.

JOHNSON, S.; LOEPPERT, R. H. Role of organic acids in phosphate mobilization from iron oxide. *Soil Science Society of America Journal*, 70:222-234, 2006.

MEHRA, O.P.; JACKSON, M.L. Iron Oxide Removal from Soils and Clay by a Dithionite-Citrate System Buffered with Sodium Bicarbonate. *Clays and Clay Mineral*, Boulder, 7:317-327, 1960.

MURPHY, J.; RILEY, J.P. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytica Chimica Acta*, 27:31-36, 1962.



RAGHOTAMA, K.O.; KARTHIKEYAN, A. S. Phosphorus acquisition. *Plant and Soil*, 274:37-49, 2005.

SIX, L.; SMOLDERS, E.; MERCKX, R. The performance of DGT versus conventional soil phosphorus tests in tropical soils—maize and rice responses to P application. *Plant and Soil*, 366:49–66, 2013.

SOUZA, E.D.; et al. Soil quality indicators in a Rhodic Paleudult under long-term tillage systems. *Soil and Tillage Research*, 139:28–36, 2014.

TORRENT, J.; SCHWERTMANN, U.; BARRÓN, V. Phosphate sorption by natural hematites. *European Journal of Soil Science*, 45:45-51, 1994.

WANG, X. et al. Characteristics of phosphate adsorption-desorption onto ferrihydrite: comparison with well-crystalline Fe (hydr)oxides. *Soil Science*, 178:1-11, 2013.

SCHWERTMANN, U. Differenzierung der Eisenoxide des Bodens durch Extraktion mit Ammoniumoxalat-Lösung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde*, Weinheim, 105:194-202, 1964.

TEDESCO, M.J. et al. *Análise de solo, plantas e outros materiais*. 2.ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995. 147p.

Tabela 1. Característica químicas, físicas e mineralógicas de três solos sob plantio convencional (CT) e sistema de plantio direto (NT)

Solo Manejo	Latossolo Vermelho		Latossolo Bruno		Argissolo Vermelho	
	NT	CT	NT	CT	NT	CT
Argila, g kg ⁻¹	571±1	586±3	634±4	631±4	205±5	225±5
C orgânico, g kg ⁻¹	19,7±0,4	14,2±1,0	42,5±1,3	31,8±1,0	16,8±1,7	11,8±0,8
P, mg kg ⁻¹	24,2±4,4	22,9±2,5	14,3±1,5	5,9±2,6	68,4±11,8	41,1±3,1
Fe _d , g kg ⁻¹	88,3±1,9	89,8±1,6	69,6±1,8	72,5±1,4	11,3±0,7	12,5±0,4
Fe _{ox} , g kg ⁻¹	3,6±0,1	3,2±0,1	3,2±0,1	3,4±0,1	1,1±0,1	1,6±0,1
Gt, g kg ⁻¹	26,6±0,8	27,1±0,7	86,1±2,4	89,8±1,8	6,4±0,4	6,8±0,3
Hm, g kg ⁻¹	62,0±1,9	63,3±1,7	12,9±0,4	13,4±0,3	8,8±0,6	9,4±0,5

Conteúdo de argila determinado por método da pipeta; Fe_d ferro dos óxidos de ferro pedogênicos Mehra e Jackson (1960); Fe_{ox} ferro dos óxidos de ferro de baixa cristalinidade Schwertmann (1964); Gt: goethita; Hm: hematita; P avaliado por Tedesco et al. (1995); C orgânico foi avaliado por combustão seca. Valores ± erro padrão.