



## Riscos de Poluição Difusa por Fósforo no Solo e Águas: Ponderando Sobre Teorias e Cenários de Fato

**Carlos Alberto Bissani<sup>(1)</sup>; Milton Antonio Seganfredo<sup>(2)</sup>; Enilson Luiz Saccol de Sá<sup>(3)</sup>**

<sup>(1)</sup>Professor Titular, <sup>(3)</sup>Professor Associado, Departamento de Solos, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Av. Bento Gonçalves 7712, Caixa Postal 15100, Porto Alegre, RS, CEP 91540-000, email: carlos.bissani@ufrgs.br; enilson.sa@ufrgs.br; <sup>(2)</sup>Pesquisador, Embrapa Suínos e Aves, Vila Tamanduá BR 153 Km 110, CEP 89700-000 Concórdia SC, email: milton.seganfredo@embrapa.br.

**RESUMO:** A intensificação do uso dos fertilizantes fosfatados, incluindo dejetos animais, mudou o cenário de solos com escassez e alta capacidade de adsorção de P, para situações frequentes de poluição difusa por este elemento. O objetivo do trabalho foi determinar a relação entre formas de P disponíveis no curto prazo entre si e com índices de capacidade de adsorção de P do solo em áreas com e sem uso de dejetos animais. Foram analisadas 22 amostras de solo da camada 0-20cm, determinando-se como formas de P disponíveis no curto prazo o P extraído pelo método Mehlich-1 (P-M1) e o P extraído com água (PAG). Como índices de capacidade de adsorção de P determinou-se a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP) e o P extraído com NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup> (P-NaOH). Verificou-se correlação forte de P-M1 e PAG entre si e com o P-NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup>, mas fracamente com a CMAP em ambas as áreas com e sem dejetos animais. Na perspectiva ambiental, isso recomenda que nas avaliações sobre o potencial de transferência de P do solo para os recursos hídricos, além de se quantificar as formas de P disponíveis prontamente e no curto prazo, sejam essas relacionadas e comparadas com a somatória das formas de P adsorvidas reversivelmente no curto e médio prazo e não com as quantidades máximas de P potencialmente adsorvíveis pelo solo.

**Palavras-chave:** dejetos animais, formas de P, índices ambientais, química do P.

### INTRODUÇÃO

Com a intensificação do uso dos fertilizantes fosfatados de variadas fontes e o desbalanço entre o P removido nas colheitas e o P adicionado ao solo (Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC, 2004), o cenário que era de solos com baixos teores e com alta capacidade de adsorção de P mudou para situações frequentes de excedentes de P no solo (Lopes, 1984; Havlin, 2004). Por consequência, aumentaram os riscos de transferência de P para os recursos hídricos e os casos de poluição difusa (Hooda et al., 2000). Cenários dessa natureza proliferaram nas regiões de criações confinadas, tipicamente de alta carga animal por propriedade rural e reduzida área agrícola apta para uso dos seus dejetos como fertilizantes do solo (IBGE, 2014).

Com a mudança de cenário quanto à disponibilidade de P no solo e a percepção de seus riscos potenciais ao

ambiente, intensificou-se a busca por índices que além do uso prático para a identificação desses riscos e projeção da sua abrangência, fossem exequíveis na infraestrutura laboratorial já existente (Scharpley et al., 2012; Seganfredo, 2013).

Qualquer índice válido para fins ambientais será tanto mais aplicável quanto mais forte for sua correlação com o PAG e também sua coerência com a proporção das formas mais facilmente disponíveis em relação às aquelas aptas para as reações de adsorção-dessorção. Para representar a somatória dessas últimas formas tem sido usadas a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), o P extraído por oxalato de amônio (Pox), o P extraído por hidróxido de sódio (P-NaOH) 0,10 mol L<sup>-1</sup> e até o P extraído pelos métodos Mehlich=3 (P-M3) e Mehlich-1 (P-M1) (Nair et al., 2010; Seganfredo, 2013).

Outrossim, tão importante quanto garantir suficientes teores de P na solução do solo para o ótimo desenvolvimento das plantas de interesse econômico, é o fato de que quando os teores de P em águas superficiais e subsuperficiais forem maiores do que 100 µg L<sup>-1</sup>, ultrapassam aqueles considerados seguros na perspectiva ambiental (Breeuwsma & Silva, 1992; Nair et al, 2010).

O objetivo do trabalho foi a determinação da relação entre o PAG e P-M1 e desses com a CMAP e o P-NaOH em áreas com e sem uso de dejetos animais.

### MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa envolveu análises químicas de 22 amostras de solos de áreas com e sem uso de dejetos animais, sendo uma de campo naturalizado, quatro de mata secundária, uma de mata primária e 16 de áreas com uso predominantemente de dejetos suínos por mais de 10 anos, todas localizadas no município de Concórdia, SC. Na análise dos dados excluiu-se três amostras devido seus resultados anômalos em relação às demais. Os atributos predominantes dos solos são pH baixo a muito baixo; textura argilosa; médios a altos teores de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> trocáveis e de matéria orgânica; médios teores de K<sup>+</sup> trocável; alta capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e saturação por bases de muito baixa a média. O solo foi coletado na camada 0-20 cm, secado ao ar, moído e peneirado em malha 2 mm. O P disponível pelo método Mehlich-1 foi determinado conforme Tedesco et al. (1995) e o P extraído por água seguiu Sissingh (1971),



ambos com modificações conforme Seganfredo (2013) que foi a referência também para a extração com NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup>, usada na determinação do P potencialmente envolvido nas reações de adsorção-dessorção.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O P-M1 apresentou correlação muito forte com o PAG ( $R^2 > 0,90$ ), demonstrando que o P extraído por aquele método inclui uma expressiva porção de P presente no solo em formas prontamente disponíveis tanto para as plantas quanto para o ambiente, as quais são representadas pelo PAG (Figura 1). O mesmo grau de associação não foi verificado, porém, tanto do P-M1 quanto do PAG com a CMAP, pois em ambos os casos a correlação foi muito fraca (Figuras 2 e 3). Cabe destacar, no entanto, a similaridade do padrão de distribuição dos pontos, formando dois grupos distintos em ambos os gráficos das Figuras 2 e 3. No gráfico CMAP\*P-M1 (Figura 2) um grupo formou-se por amostras com CMAP próxima a 1100 mg kg<sup>-1</sup>, porém com ampla variação de P-M1 na faixa de altos valores de P, que foram de 100 a 350 mg kg<sup>-1</sup>, enquanto outro grupo formou-se por amostras com ampla variação na CMAP com valores entre 1000 e 2500 mg kg<sup>-1</sup>, mas pouca variação no P-M1, esse com valores comparativamente baixos de P, situados entre 2,6 e 24 mg kg<sup>-1</sup>. Esse padrão de agrupamento repetiu-se para o PAG, destacando-se que para as respectivas amostras do primeiro grupo o PAG foi de 529 a 1250 µg L<sup>-1</sup>, enquanto que para o segundo grupo, o PAG foi inferior a 100 µg L<sup>-1</sup> para a maioria das amostras (Figura 3). Ao se associar os valores de CMAP com a origem das amostras, evidenciou-se que a maioria daquelas do primeiro grupo provinham de áreas com uso de dejetos animais, enquanto a maioria daquelas do segundo grupo provinham de áreas sem uso desses resíduos.

O comportamento observado corrobora o alerta de Graetz & Nair (2009) sobre a necessidade de que nos cálculos da CMAP sejam somadas as quantidades de P previamente adsorvidas ou seja, antes da adição das soluções contendo P para a determinação das quantidades adsorvidas pelo solo na concentração de equilíbrio de P para a suspensão solo:solução em análise. A consequência prática desse padrão de resultados é o de que quando não é considerado o P previamente adsorvido, a CMAP resulta subestimada e isso poderá ser de alto risco ambiental para solos com altos teores de P disponível no curto prazo. Esse alto risco potencial reforça a necessidade de que a avaliação da capacidade do solo de receber novas adições de P (índice de sítios potencialmente disponíveis para adsorção) esteja vinculada à avaliação da capacidade de suprimento do solo no curto prazo (índice de disponibilidade no curto prazo) e sua relação com as quantidades de P de formas adsorvidas reversivelmente. Alguns dos solos desta pesquisa, mesmo tendo P-M1 próximo a 1500 mg kg<sup>-1</sup>, apresentaram adsorção líquida ou seja, valores de P recuperados inferiores àqueles adicionados, indicando isso que o solo estaria potencialmente apto a novas

adições de P. Ainda que isso não seja teoricamente contraditório enquanto a CMAP for superior a 1500 mg kg<sup>-1</sup>, solos com tais teores de P-M1 representam alto risco ambiental, pela facilidade de movimentação no ambiente dessas formas de P, na sua maioria de disponibilidade no curto prazo. Conforme demonstrado na Figura 1, expressiva quantidade do P-M1 é de pronto acesso à água em contato com o solo, que no gráfico é expresso pelo PAG e, por conseguinte, também de alta facilidade de transferência aos recursos hídricos via drenagem interna no perfil e junto a água e sedimentos de escoamento superficial (Hooda et al., 2000; Havlin, 2004).

Contrastando com a muito fraca correlação com a CMAP, tanto o P-M1 quanto o PAG correlacionaram-se fortemente com o P-NaOH que contempla, na sua maioria, formas de P adsorvidas reversivelmente no curto e médio prazo, este último tendo-se como referência um ciclo de culturas (Figuras 4 e 5). Sob o enfoque ambiental, ainda mais importante que a correlação forte referida é a ocorrência do “change point”, que indica o ponto de transição caracterizado por um brusco aumento do PAG a partir de um valor de P do solo que é próprio para cada solo na sua condição atual e que é medido por método de reconhecida validade para a determinação da soma de P das formas adsorvidas reversivelmente (Nair et al., 2010). Em síntese, a correlação fraca de PAG e P-M1 com a CMAP, ao contrastar com a correlação muito forte de PAG e P-M1 entre si e com o P-NaOH, recomenda atenção e cautela quando da estimativa de limites de segurança quanto a teores de P no solo para fins ambientais, especialmente aqueles relacionados aos riscos de transferência de P do solo para os recursos hídricos. Corroborando expressiva literatura sobre o assunto, os resultados desta pesquisa demonstram ser imprescindível que além de se quantificar as formas de P disponíveis no curto prazo, sejam essas relacionadas e comparadas com a soma das formas de P adsorvidas reversivelmente no curto e médio prazo e não com as quantidades máximas de P potencialmente adsorvíveis pelo solo.

## CONCLUSÕES

O P-M1 e PAG correlacionaram-se fortemente entre si e também com o P-NaOH, mas muito fracamente com a CMAP em ambas as áreas com e sem dejetos animais.

Quando da estimativa de limites de segurança quanto a teores de P no solo para fins ambientais, além de se considerar as formas de P disponíveis prontamente e no curto prazo, torna-se mais prudente que a relação dessas seja feita com as formas de P adsorvido reversivelmente no curto e médio prazo e não com as quantidades máximas de P potencialmente adsorvíveis pelo solo.

## REFERÊNCIAS

Breeuwsma A, Silva S. Phosphorus fertilisation and environmental effects in the Netherlands and the Po region (Italy). Wageningen: DLO The Winand Staring Centre; 1992. (Report 57)



Comissão de Química e Fertilidade do Solo RS/SC. Manual de adubação e de calagem para os estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina. 10ed. Porto Alegre: SBCS-NRS; 2004.

Havlin JL. Technical basis for quantifying phosphorus transport to surface and groundwaters. *J. Anim. Sci.* 2004;82 (Suplement):E277-291.

Hooda OS, Rendell AR, Edwards AC, Whithers PJA, Aitken MN, Truesdale VW. Relating soil phosphorus indices to potential phosphorus release to water. *J. Environ. Qual.* 2000;29:1166-1171.

Graetz DA; Nair VD. Phosphorus Sorption Isotherm Determination. In: Kovar JL, Pierzynski GM. *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.* 2 ed. Blacksburg: Virginia Tech University; 2009. p.33-37.

IBGE. Censo agropecuário 2006. [Acessado em: mar. 2014]. Disponível em: <http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo2.asp?e=v&p=CA&z=t&o=11>.

Lopes AS. Solos sob “cerrado”, Características, propriedades e manejo. Piracicaba: Instituto Internacional da Potassa; 1984.

Nair VD, Harris WG, Chakraborty D. An indicator for risk of phosphorus loss from sandy soils. Gainesville: University of Florida, Institute of Food and Agricultural Sciences; 2010.

Sharpley A, Beegle D, Bolster C, Good L, Joern B, Ketterings Q, Lory J, Mikkelsen R, Osmond D, Vadas P. Phosphorus indices: why we need to take stock of how we are doing. *J. Environ. Qual.* 2012;41:1711-1719.

Seganfredo MA. Fósforo, cobre e zinco em solos submetidos à aplicação de dejetos animais: teores formas e indicadores ambientais [Tese]. Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2013.

Sissingh HA. Analytical technique of the Pw method, used for the assessment of the phosphate status of arable soils in The Netherlands. *Plant Soil.* 1971;34:483-486.

Tedesco MJ, Gianello C, Bissani CA, Bohnen H, Volkweiss SJ. *Análises de solo, plantas e outros materiais.* 2a ed. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 1995. (Boletim técnico, 5).

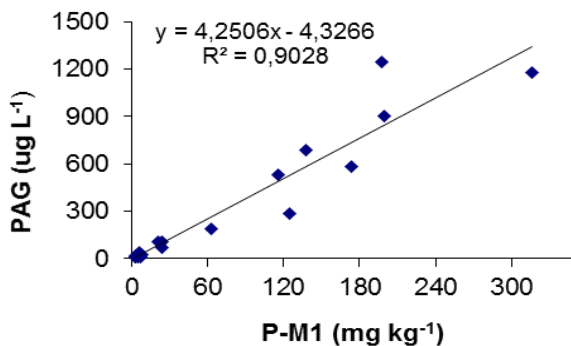


Figura 1. Relação entre o P extraído por água (PAG) e o P extraído pelo método Mehlich-1, em solos com e sem uso de dejetos animais.

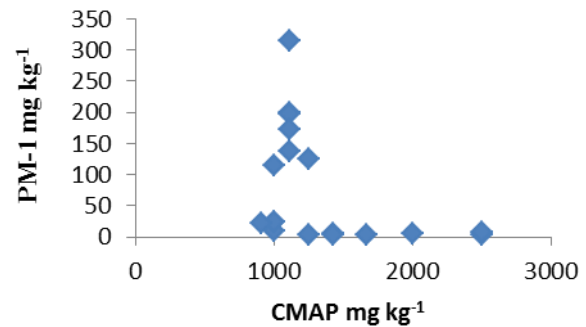


Figura 2. Relação entre o P extraído pelo método Mehlich-1 (P-M1) e a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), em solos com e sem dejetos animais.

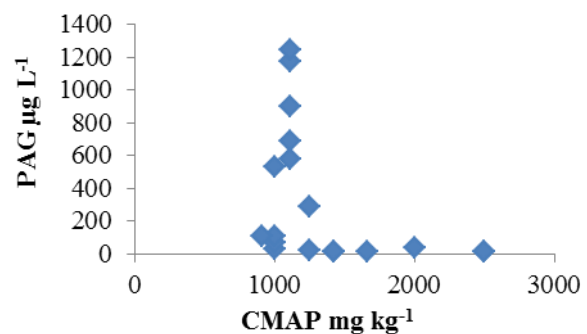


Figura 3. Relação entre o P extraído por água (PAG) e a capacidade máxima de adsorção de P (CMAP), em solos com e sem uso de dejetos animais.

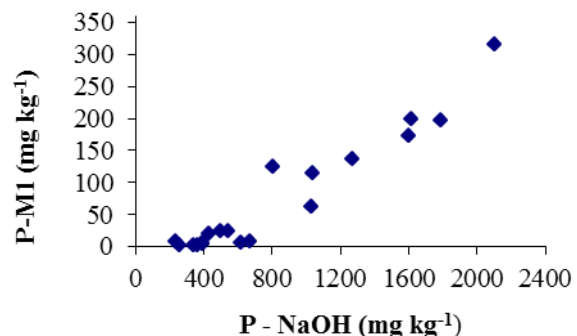


Figura 4. Relação entre o P extraído pelo método Mehlich-1 e o P extraído por NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup>, em solos com e sem uso de dejetos animais.

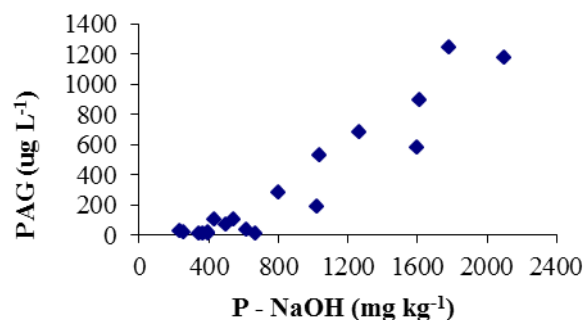


Figura 5. Relação entre o P extraído por água (PAG) e o P extraído por NaOH 0,10 mol L<sup>-1</sup>, em solos com e sem uso de dejetos animais.