



## Grau de saturação de fósforo do solo e sua relação com o fósforo extraído com água como um índice ambiental

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

<sup>(1)</sup>Pesquisador, Embrapa Suínos e Aves, Rodovia BR-153, Km 110, Distrito de Tamanduá, Caixa Postal 321, CEP 89715-899, Concórdia, SC, email: milton.seganfredo@embrapa.br; <sup>(2)</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@gmail.com.

**RESUMO:** Repetidos relatos de poluição difusa causados pelo P em áreas de uso de dejetos animais tem questionado a premissa de que essa é uma prática agrícola de baixo custo e ambientalmente segura. O objetivo do trabalho foi determinar a validade da relação entre o P extraído por água e o grau de saturação de P do solo como uma referência para a avaliação do potencial de riscos ambientais devidos ao acúmulo de P em áreas de uso de dejetos animais. Em amostras de solo da camada 0-20 cm de áreas com e sem uso de dejetos animais, determinou-se o P extraído com água (PAG) e os teores de P, Fe e Al do solo extraídos com oxalato de amônio acidificado. O GSP foi calculado usando a equação  $GSP = [Pox/(Alox + Feox)] * 100$ , onde: GSP = grau de saturação de P, expresso em %; Pox = P total extraído por oxalato de amônio, em mmol kg<sup>-1</sup>; Alox = Al extraído por oxalato de amônio, em mmol kg<sup>-1</sup> e Feox = Fe extraído por oxalato de amônio, em mmol kg<sup>-1</sup>. A pesquisa confirmou a validade da relação GSP\*PAG como uma referência para a avaliação do potencial de riscos ambientais devidos ao acúmulo de P em áreas de uso de dejetos animais, indicando a ocorrência de um "change point" gráfico na relação GSP\*PAG, sendo o ponto de brusca mudança próximo a 100 µg L<sup>-1</sup> para o PAG, conforme obtido para outras condições de climas e solos.

**Palavras-chave:** adubos orgânicos, dejetos animais, poluição difusa, riscos ambientais.

### INTRODUÇÃO

A premissa de que o uso de dejetos animais como fertilizantes do solo é uma prática agrícola de baixo custo e ambientalmente segura vem merecendo reavaliação, face aos custos dessa prática e os casos de poluição difusa que se multiplicam, especialmente aqueles causados pelo P, confrontando a concepção de que esse seria um elemento "imóvel" no perfil do solo (Couto et al., 2015)

Abordagem desse conflito é feita por Beck et al. (2004), segundo os quais, em áreas de produção animal intensiva, em função das excessivas taxas de adição, a capacidade finita de adsorção do solo se torna progressivamente menor e, por conseguinte, também sua capacidade de adsorver P. Esse processo resulta num aumento de formas de P com potencial de transferência para as águas de superfície e subsuperfície (Ceretta et al., 2010). Tal ocorrência tem sido demonstrada em repetidas

pesquisas realizadas em áreas com uso de dejetos animais, confirmando-se que, além do acúmulo no solo, ocorrem aumentos nas formas mais facilmente disponíveis, que são mais vulneráveis às transferências via escoamento superficial e subsuperficial (Scherer et al., 2007; Ceretta et al., 2010).

Para a estimativa de riscos, tais cenários, alguns indicadores denominados de "índices ambientais" têm sido propostos, destacando-se entre eles o GSP (grau de saturação de P), que é calculado pela proporção de P sobre a soma do Fe+Al extraídos por oxalato de amônio (Schoumans, 2009). O P extraído com oxalato de amônio acidificado (Pox) é considerado um indicador do P total potencialmente dessorvível do solo, pois o oxalato extrai o P adsorvido aos óxidos e hidróxidos amorfos de Fe e Al, os dois principais compostos responsáveis pela adsorção do P (Koopmans, 2002). Além do P ligado reversivelmente aos óxidos e hidróxidos de Fe e Al, o oxalato extrai também o P de algumas formas orgânicas, P adsorvido superficialmente a argilominerais e uma fração de formas cristalinas de Fe e Al (Khiari & Parent, 2005).

Entretanto, embora útil como um índice único, o GSP é de maior utilidade quando relacionado ao P extraído por água (PAG), pois desta forma pode-se associar a proporção de saturação de P do solo com as respectivas quantidades de P existentes no solo em formas prontamente disponíveis (Nair et al., 2010). A importância do PAG nessa relação deve-se à sua forte relação com o P prontamente transferível aos recursos hídricos, especialmente via escoamento superficial (Self-Davis et al., 2009). Além disso, o PAG tem demonstrado correlação forte também com os métodos utilizados para avaliação da capacidade dos solos de suprirem o P necessário às plantas (Beck et al., 2004; Pautler & Sims, 2000). A vantagem do PAG em relação aos métodos que usam extratores químicos é que não possui os inconvenientes da diferença de acidez ou alcalinidade em relação à solução do solo e, por essa razão, não inclui frações de P de baixa solubilidade, como, por exemplo, os fosfatos de cálcio (Self-Davis et al., 2009).

O GSP foi usado primeiramente na Holanda, para a estimativa das perdas potenciais de P de solos arenosos (Schoumans, 2009), mas mostrou-se aplicável também a solos ácidos com altos teores de argila e de matéria orgânica (Maguire & Sims, 2002). Alternativamente ao Pox, nos cálculos do GSP pode-se usar o P extraído pelos



métodos Mehlich-1 ou Mehlich-3, que poderão ser usados também como alternativas ao oxalato de amônio para a extração de Fe e Al (Sharpley et al., 2006).

Qualquer que seja o método usado para representar os sítios potencialmente disponíveis para a adsorção de P em formas reversíveis, o princípio envolvido no GSP é o de que quanto maior o número de sítios de adsorção ocupados com P, menor a capacidade do solo de comportar novas adições de P e maior a facilidade de dessorção deste elemento (Sharpley et al., 2006; Schoumans, 2009). Para solos nessas condições, maior será o potencial de transferência de P para os recursos hídricos (Beauchemin & Simard, 1999). Ainda que existam variações quanto às opções de cálculo dos componentes do GSP e também quanto ao valor numérico deste, o fato relevante é a determinação do "change point" (Nair et al., 2010). A vantagem do uso da água (PAG) como o método para obtenção da variável de resposta (Y) é a sua correlação com o P potencialmente transferível via águas de escoamento, concomitantemente ao fato de já existirem valores de limites críticos para variadas condições de clima e solo e a consistência desses valores ao redor de  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  para PAG (Beauchemin & Simard, 1999; Maguire & Sims, 2002; Nair et al., 2010). Destaca-se, no entanto, que os resultados obtidos por diferentes metodologias não são diretamente comparáveis. Igualmente importante é conhecer se nos cálculos do GSP foi aplicado o fator  $\alpha$  (fator alfa) e se o valor deste foi determinado para cada solo especificamente (Sharpley et al., 2006). Tendo-se que os valores do fator  $\alpha$  podem variar desde 21 até 68 % (Pautler & Sims, 2000), o seu uso deverá estar condicionado a sua determinação para cada solo em particular, pois os mecanismos que controlam a adsorção e dessorção de P são solo-específicos (Sharpley et al., 2006).

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido usando-se 22 amostras de solos de áreas com e sem uso de dejetos animais, sendo uma de solo 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 elas localizadas no município de Concórdia, SC. Após a coleta na camada 0-20 cm, com pá-de-corte, o solo foi secado ao ar e processado em moinho de facas equipado com peneira 2 mm, passando a denominar-se terra fina seca ao ar (TFSA). As características predominantes dos solos são pH baixo a muito baixo; textura argilosa; médios a altos teores de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$  trocáveis e de matéria orgânica; médios teores de  $\text{K}^+$  trocável; alta capacidade de troca de cátions a pH 7,0 e saturação por bases de muito baixa a média.

As determinações analíticas para o índice GSP constaram dos teores de fósforo, ferro e alumínio do solo, a partir de extração com oxalato de amônio acidificado, conforme descrito por Tedesco et al. (1995), com modificações descritas em Seganfredo (2013). O GSP foi

calculado usando a equação:  $\text{GSP} = [\text{Pox}/(\text{Alox} + \text{Feox})] * 100$ , onde: GSP = grau de saturação de P, expresso em %; Pox, Alox e Feox = teores de P total e Al e Fe extraídos por oxalato de amônio, em  $\text{mmol kg}^{-1}$ . O PAG foi determinado conforme Sissingh (1971), com modificações conforme Seganfredo (2013). Os teores de P nos extratos foram determinados por espectrofotometria de absorção, sendo o PAG no comprimento de onda 882 nm, usando-se a técnica do ácido ascórbico (Murphy & Riley, 1962) e o Pox no comprimento de onda 660 nm, após reação em meio fortemente ácido, conforme descrito em Tedesco et al. (1995). Fe e Al foram determinados por espectrofotometria de absorção atômica de chama. Na análise dos dados, foram excluídas três áreas cujos resultados mostraram-se anômalos em relação aos demais.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1 caracterizam-se dois grupos distintos quanto à distribuição dos resultados de PAG como função do GSP, sendo isso de alta relevância para áreas de solos argilosos do Sul do Brasil, pois o padrão de gráfico obtido nesta pesquisa repete aquele verificado em variados tipos de solos nos EUA, Canadá e Europa (Beauchemin & Simard, 1999; Maguire & Sims, 2002; Nair et al., 2010). Ao se associar o agrupamento com a origem das amostras, confirma-se a esperada correspondência de baixos valores para as áreas sem dejetos e os mais altos para as áreas com dejetos.

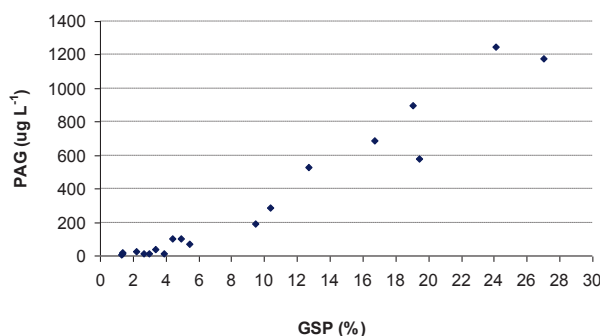


Figura 1. Relação entre o grau de saturação de P (GSP) e o P extraído por água (PAG) de solo de áreas com e sem uso de dejetos animais

Outro fator a ser destacado na Figura 1 é que esse padrão de gráfico configura o "change point" ou seja, há um ponto de transição, situado próximo a 8 (oito) no eixo X (GSP) a partir do qual aumentam bruscamente os valores no eixo Y (PAG). Na perspectiva ambiental, isso é de grande importância prática, pois indica o ponto a partir do qual os riscos de perdas de P para as águas de drenagem no perfil e escoamento superficial (representadas por PAG), aumentam bruscamente em função do aumento nas taxas de ocupação dos sítios potencialmente disponíveis para adsorção de P em formas reversíveis (representadas por GSP). Relações GSP\*PAG de mesmo padrão são relatados em Maguire & Sims (2002), confirmando sua validade como uma referência para a avaliação do potencial de riscos ambientais devidos



ao acúmulo de P em áreas de uso de dejetos animais. Os resultados deste trabalho confirmam o "change point" gráfico na relação GSP\*PAG e também o limite crítico próximo a  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  para o PAG, conforme relatado para outras condições de climas e solos (Beauchemin & Simard, 1999; Maguire & Sims, 2002; Nair et al., 2010).

O padrão de dados da relação GSP\*PAG obtidos nesta pesquisa caracteriza-a como um índice consistente para identificar áreas de diferentes graus de risco quanto ao potencial de transferência de P para os recursos hídricos, especialmente via escoamento superficial (Beauchemin & Simard, 1999), mostrando-se aplicável também a solos argilosos de áreas de uso de dejetos animais como fertilizantes do solo.

### CONCLUSÕES

Confirmou-se a validade da relação GSP\*PAG como uma referência para a avaliação do potencial de riscos ambientais devidos ao acúmulo de P, indicando a ocorrência de um "change point" gráfico com ponto de brusca mudança próximo a  $100 \mu\text{g L}^{-1}$  para o PAG, conforme obtido para outras condições de climas e solos.

### REFERÊNCIAS

Beauchemin S, Simard RR. Soil phosphorus saturation degree: review of some indices and their suitability for P management in Québec, Canada. *Can. J. Soil. Sci.* 1999;79:615-625.

Beck MA, Zelazny LW, Daniels WL, Mullins GL. Using the Mehlich-1 extract to estimate soil phosphorus saturation for environmental risk assessment. *Soil. Sci. Am. J.* 2004;68:1762-1771.

Ceretta CA, Lorensini F, Brunetto G, Giroto E, Gatiboni LC, Lourenzi CR, Tiecher TL, Conti Lde, Trentin G, Miotto A. Frações de fósforo no solo após sucessivas aplicações de dejetos de suínos em plantio direto. *Pesq. Agropec. Bras.*, 2010;45:593-602.

Couto RdaR, Santos MD, Comin JJ, Martini LCP, Gatiboni LC, Martins SR, Brunetto G. Environmental vulnerability and phosphorus fractions of areas with pig slurry applied to the soil. *J. Environ. Qual.* 2015;44:162-173.

Commission. The Pennsylvania State Conservation Commission. The Pennsylvania Act 38 Nutrient Management Program Technical Manual Version 8.0 October 2014. University Park: Commission/PDA/ PSU/NRCS; 2014.

Khiari L, Parent LE. Phosphorus transformations in acid light-textured soils treated with dry swine manure. *Can. J. Soil. Sci.* 2005;85:75-87.

Koopmans GF, McDowell RW, Chardon WJ, Oenema O, Dolfing J. Soil phosphorus quantity-intensity relationships to predict increased soil phosphorus loss to overland and subsurface flow. *Chemosphere.* 2002;48:679-687.

Maguire RO, Sims JT. Measuring agronomic and environmental soil phosphorus saturation and predicting phosphorus leaching with Mehlich 3. *Soil. Sci. Am. J.* 2002;66:2033-2039.

Maguire RO, Foy RH, Bailey JS, Sims JT. Estimation of the phosphorus sorption capacity of acidic soils in Ireland. *Eur. J. Soil Sci.* 2001;52:479-487.

Murphy J, Riley JP. A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chim. Acta.* 1962;27:31-36.

Nair VD, Harris WG. A capacity factor as an alternative to soil test phosphorus in phosphorus risk assessment. *New Zeal. J. Agr. Res.* 2004;47:491-497.

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.

Pautler MC, Sims JT. Relationships between soil test phosphorus, soluble phosphorus, and phosphorus saturation in Delaware soils. *Soil. Sci. Am. J.* 2000;64:765-773.

Scherer EE, Baldissera IT, Nesi CN. Propriedades químicas de um Latossolo Vermelho sob plantio direto e adubação com esterco de suínos. *R. Bras Ci Solo.* 2007;31:123-131.

Schoumans OF. Determination of the degree of phosphate saturation in noncalcareous soils. In: Kovar JL, Pierzynski GM. (eds). *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.* 2ed. Blacksburg: Virginia Tech University; 2009. p.29-32. (Southern Cooperative Series Bulletin No. 408).

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.

Self-Davis ML, Moore PA, Joern PA. Determination of water- and/or dilute salt-extractable phosphorus. In: Kovar JL, Pierzynski GM. (eds). *Methods of phosphorus analysis for soils, sediments, residuals, and waters.* 2ed. Blacksburg: Virginia Tech University; 2009. p.24-26 (Southern Cooperative Series Bulletin, 408).

Sharpley AN, Kleinman PJA, Weld JL. Environmental soil phosphorus indices. In: Carter MR, Gregorich EG. (eds). *Soil sampling and methods of analysis*, 2ed. Boca Raton: Canadian Society of Soil Science-CRC Press; 2006. p.141-159.

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).