

FÓSFORO EM SOLOS DE CERRADO SUBMETIDOS À CALAGEM

PHOSPHORUS IN CERRADO SOILS UNDER LIMING CONDITIONS

**Monica Sartori de CAMARGO¹; Daniel Scalia BARBOSA²; Rogério Henrique RESENDE²;
Gaspar Henrique KORNDÖRFER, Hamilton Seron PEREIRA**

1. Engenheira Agrônoma, Doutora, Pesquisadora, Agência Paulista de Tecnologia dos Agronegócios – APTA, Piracicaba, SP, Brasil. mcamarg@yahoo.com.br; 2. Aluno do curso de Agronomia, Instituto de Ciências Agrárias – ICIAG, Universidade Federal de Uberlândia – UFU; 3. Professor, Doutor, ICIAG – UFU; 4. Professor, Doutor, Centro de Ciências Agrárias e Biológicas, Universidade Federal de Goiás, Campus de Jataí, Jataí, GO, Brasil

RESUMO: A calagem é importante para aumentar a produtividade e pH nos solos tropicais e essa prática podem alterar a disponibilidade de fósforo em função do teor de argila, óxidos de ferro e alumínio. As alterações nos valores de pH dos solos com a correção da acidez poderiam influenciar a adsorção de fósforo, mas há poucos estudos com os métodos desenvolvidos para esses solos. Assim, o objetivo foi avaliar a teor de fósforo adsorvido por meio do método do P-remanescente em solos de cerrado com aplicação de calcário. O teor extraído em resina aniônica também será avaliado para verificar a eficiência do primeiro método. Foi conduzido sob condições de incubação, durante 90 dias, um experimento com delineamento em blocos casualizados, esquema fatorial (12 x 4) composto de amostras de solos (8 do horizonte A e 4 do horizonte B) e doses de calcário (0; 2; 4; 6 t ha⁻¹) e com 4 repetições. As doses de calcário aumentaram o pH e reduziram a acidez potencial e P extraído com resina aniônica na maioria dos solos, exceto no LVA muito argiloso (horizonte A) e LVAd textura média (horizonte B). O calcário proporcionou menor valor de P remanescente (PR), ou seja, maior adsorção de P na maioria dos solos. O incremento da adsorção de P ocorreu onde a acidez potencial foi próxima a zero e pH maior que 7,0, ocorrendo estreita relação entre Ca e PR. É possível que o PR seja reduzido em função do Ca que restou do calcário, onde a acidez foi corrigida devido à formação de P-Ca, mas outros estudos devem ser feitos sobre essa interação.

PALAVRAS-CHAVE: Adsorção. Resina aniônica. Reação do solo.

INTRODUÇÃO

A maioria dos solos da região do cerrado brasileiro apresenta grande potencial agrícola, seja devido ao relevo plano a suave ondulado e boa drenagem. Entretanto, a alta acidez, o elevado teor de alumínio trocável e a deficiência de fósforo, cálcio e magnésio constituem-se nos principais empecilhos ao sucesso das produções agrícolas nesses solos (LOPES, 1984; SOUZA; LOBATO, 2004).

Dentre os nutrientes, o P é um dos nutrientes com absorção baixa pelas culturas em relação a outros macronutrientes, mas cuja adubação representa um investimento inicial alto pelas grandes quantidades utilizadas devido ao seu baixo teor natural e à sua alta adsorção pelos solos (LOBATO, 2004).

A quantidade de fósforo no solo passível de ser absorvida pelas plantas é avaliada por meio de extratores. A resina aniônica extrai formas lábeis de P em processo similar aos das raízes das plantas, expressando o equilíbrio entre P-lábil e P-solução. Como possui menor influência sobre formas não disponíveis de P-Ca, ela apresenta vantagens nas condições de Ca alto (RAIJ et al, 1984).

O processo de adsorção, por sua vez, consiste na passagem do P lábil para não lábil, considerado indisponível às plantas. Segundo Gonçalves (1988), mais de 90% do P, aplicado como fonte solúvel, é adsorvido ou precipitado na primeira hora de contato com o solo. O teor de argila, matéria orgânica, óxidos de ferro, alumínio e o pH estão envolvidas nesse processo, reduzindo o teor de fósforo em solução devido à capacidade tampão que conferem aos solos. A adsorção de fósforo nos solos pode ser avaliada pelo método do P remanescente (ALVAREZ, 2000), que apresenta estreita correlação com a capacidade tampão e a capacidade máxima de adsorção de fósforo, sendo os valores obtidos por esse método geralmente baixos em solos com grande teor de argila, altamente intemperizados e baixos teores de matéria orgânica.

Dentre os fatores que afetam a adsorção de fósforo, o pH é aquele que pode ser alterado com o manejo químico, podendo constituir uma prática vantajosa pela redução das doses de fertilizantes fosfatados. A calagem, por exemplo, pode reduzir a adsorção de fósforo na maioria dos solos, tornando, cada vez mais negativa a carga do plano de adsorção e elevando a repulsão por fosfato. Assim, ocorre redução da adsorção e aumento da disponibilidade

de P nativo do solo e proveniente dos fertilizantes fosfatados solúveis com o uso de calcário (HAYNES, 1984). Em pH mais alto não há condições para formação de fosfatos de Fe e Al insolúveis (NOVAIS ; SMITH, 1999).

Embora a importância do pH seja reconhecida na adsorção de fósforo nos solos, poucos trabalhos avaliaram esse processo em condições de correção da acidez por meio do método do P-remanescente, desenvolvido especialmente para solos tropicais. Assim, o objetivo foi avaliar a teor de fósforo adsorvido por meio do método do P-remanescente em solos de cerrado com características contrastantes de argila, matéria orgânica e óxidos submetidos à calagem, sendo também avaliado o teor disponível desse nutriente pela resina aniônica para comprovação da eficiência desse método nessas condições.

MATERIAL E MÉTODOS

Os estudos de incubação foram conduzidos, segundo metodologia descrita por MEDINA - GONZÁLES et al. (1988) em casa-de-vegetação Universidade Federal de Uberlândia. Os tratamentos foram dispostos em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial, consistindo de doses de calcário equivalentes a 0, 2, 4 e 6 t ha⁻¹ e 8 amostras de solos e 4 repetições. Para quatro desses solos, foi também utilizado o horizonte B para avaliar verificar o efeito da matéria orgânica na adsorção de P.

Os solos foram escolhidos pela sua representatividade na região do Triângulo Mineiro, características contrastantes e materiais de origens diversas das formações geológicas Marília e Uberaba (Grupo Bauru), colúvio em posição inferior de vertente em área de rochas do pré-Cambriano (essencialmente xistos e gnaisses do Grupo Araxá), basalto da Formação Serra Geral (Grupo São Bento) e Coberturas Detrito-Lateríticas Terciárias.

Foram feitas sua caracterização física, conforme método proposto pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária-Embrapa (1999) e química dos solos (Tabela 1), segundo a metodologia de análises de rotina de acordo com Comissão de Fertilidade do Estado de Minas Gerais-CFSEMG (1999). Os teores totais de SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ e MnO₂ (Tabela 2) foram obtidos pelo ataque sulfúrico (VETTORI, 1969).

Para instalação do experimento, foram coletadas amostras dos solos em áreas sob vegetação nativa de cerrado da região do Triângulo Mineiro para evitar interferências de adubações.

Feita a secagem, as amostras foram passadas em peneira ABNT-50 (0,297 mm).

Realizou-se a aplicação das doses pré-determinadas do calcário (438 g kg⁻¹ de CaO, 6,6 g kg⁻¹ MgO, poder de neutralização calculado= 80,1 e determinado= 77,4) e homogeneização em todos os tratamentos, que foram acondicionados em potes (250 g), que permaneceram fechados, sendo abertos duas vezes por semana para trocas gasosas e manter a umidade do solo a 80 % da capacidade de campo, utilizando-se água destilada.

Após 90 dias de incubação, o solo de cada pote foi coletado e seco ao ar para a realização das análises de Ca e Mg (extração com KCl 1 mol L⁻¹), pH(CaCl₂), acidez potencial (H+Al), P-resina e P-remanescente (Embrapa, 1999).

A análise estatística das variáveis pH_{CaCl₂}, Ca, acidez potencial e P resina e P remanescente incluiu a análise de variância (teste F) e de regressão polinomial através do programa SAS (Statistical Analysis System, 1996).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH, acidez potencial (H+Al), Ca trocável (Tabela 3), P em resina aniônica e P remanescente (Figuras 1 e 2) foram influenciados pelas doses de calcário, variando de acordo com o tipo de solo e horizonte amostrado.

Houve aumento no pH com as doses de calcário aplicadas em todos os solos, conforme esperado. Os valores de pH foram superiores a 7,0, exceto para os solos muito argilosos LVAd, LVdf, LVdB e LVAdB (Tabela 4) devido à sua maior capacidade tampão relacionada ao mais alto teor de argila, matéria orgânica e óxidos, conforme já mostrada por Lopes (1984). Essa resistência à mudança do pH para as amostras do horizonte B (LVdB e LVAdB) foi devida ao maior teor de argila (Tabela 1), comparado ao horizonte superficial.

O alto teor de matéria orgânica do LVAd muito argiloso e o mais elevado teor de óxidos de ferro e alumínio em relação aos outros (Tabela 2), por sua vez, explicam esse comportamento para esses solos.

Tabela 1. Classificação do solo, grupo e formação geológica, frações granulométricas e características químicas dos solos do cerrado .

Classificação	Sigla	Grupo Geológico	Formação	A ²	SL ²	AG ²	AF ²	pH CaCl ₂	MO	T	V	m	P ³
				g kg ⁻¹					dag kg ⁻¹	cmol _c dm ⁻³	%		mg dm ⁻³
Latosolo Vermelho distrófico típico	LVd (A)	Coberturas ¹	-----	820	70	60	50	4,7	4,2	6,8	2,4	84	11
	LVd (B)			880	10	60	50	4,4	2,9	4,3	2,9	62	42
Latosolo Vermelho Amarelo distrófico típico	LVAd (A)	Coberturas ¹	-----	780	20	130	70	4,6	6,4	13,6	7,5	57	3
	LVAd (B)			850	20	70	60	3,9	5,8	6,2	1,1	85	3
Nitossolo Vermelho Eutroférico chernossólico	NVef	São Bento	Serra Geral	770	160	20	50	5,7	2,9	25,9	77,8	0	21
Latosolo Vermelho distroférico típico	LVdf	São Bento	-----	650	200	100	50	5,5	3,9	9,5	21,1	11,1	8
Argissolo Vermelho-Amarelo eutrófico típico	PVAe	Araxá	-----	360	80	320	240	5,6	5,8	10,7	57,4	0,8	10
Latosolo Vermelho distrófico típico	LVd (A)	Bauru	Marília	170	10	290	530	4,5	1,8	4,4	2,1	92	10
	LVd (B)			170	00	290	540	4,2	1,7	3,1	1,0	96	42
Latosolo Vermelho Amarelo distrófico típico	LVAd (A)	Bauru	Marília	180	10	300	490	5,2	1,9	4,3	2,2	84,5	3
	LVAd (B)			200	10	300	490	5,8	1,6	2,0	1,0	95,4	12
Neossolo Quartzarênico órtico típico	RQo	Bauru	Marília	120	00	650	230	4,0	1,0	2,8	4,4	83	3

¹ Coberturas Lateríticas Terciárias; ² = Argila; SL = silte; AF = areia fina; AG = areia grossa; ³ Fósforo extraído com resina aniônica

Tabela 2. Teores de silício (SiO_2), alumínio (Al_2O_3), ferro (Fe_2O_3) na fração argila determinados pelo ataque sulfúrico dos solos

Solo	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
	-----%-----		
LVd ¹ (A)	18,1	31,4	9,5
LVAd ¹ (A)	20,2	34,8	7,5
LVdf	10,4	25,9	20,9
LVd ² (A)	7,2	6,9	5,4
LVAd ² (A)	20,2	34,8	7,5
Rqo	11,2	4,5	2,3

¹ Latossolos de textura muito argilosa; ² Latossolos de textura média. Vide Tabela 1.

As doses de calcário, também, aumentaram o teor de P extraído em resina aniônica na maioria dos solos. Esse aumento ocorreu em função da elevação do pH (Tabela 3) conforme demonstrado em vários trabalhos (SMYTH; SANCHEZ, 1980; MARÇONI ; MENDONÇA, 2003), uma vez que ocorre a precipitação do Al e Fe da solução e redução da adsorção de íons fosfatos. Entretanto, isso não ocorreu para o LVd (B) muito argiloso (Figura 1), que não foi significativo, e para o LVAd (B) de textura média (Figura 2). Esses solos apresentaram menor de liberação de P com o acréscimo de calcário, o que pode ser explicado pela sua maior capacidade tampão, conferida pela mais alta saturação por alumínio (m%) em relação aos outros solos estudados (Tabela 1).

É possível que o valor de P-remanescente seja reduzido em função do Ca que restou do calcário nos solos, onde a acidez tenha sido corrigida pela formação de P-Ca que não é determinado. Isso pode ser mostrado pela redução dos valores P-remanescente com o aumento do teor de Ca no solo ao final da incubação (Tabela 4). Como o P-resina não é influenciado por condições de Ca alto (RAIJ, 1984), pode-se sugerir que nas determinações de P remanescente seja, também, avaliado o teor de Ca no solo por esse método para não ocorrer superestimação do seu valor.

O aumento da quantidade de calcário aplicada pode aumentar a disponibilidade de fósforo com a redução da adsorção de fósforo (LOPES, 1994). Entretanto, à medida em que houve incremento do corretivo, foram obtidos menores valores de P remanescente na maioria dos solos (Figuras 1 e 2), indicando maior adsorção desse nutriente nessas condições.

Os valores de P-remanescente decresceram linearmente com as aplicações de calcário no LVd(A) muito argiloso, NVef e LVAd(B) enquanto no LVd (B) e LVAd(B) muito argilosos e no LVd(A), LVAd(B), LVAd(A), LVd(B) de textura média houve redução apenas com a maior dose aplicada (6 t ha^{-1}). Nos outros solos (LVdf, PVA, LVd(B), LVAd(B) textura média), isso não foi significativo. Ferreira et al (2007) também observaram redução dos valores de P remanescente com uso de calcário em vários tipos de solos.

É importante ressaltar que o incremento da adsorção de P ocorreu nos solos, onde o calcário proporcionou valores de acidez potencial próximos a zero e pH maior que 7,0 (Tabela 3) como, por exemplo, no LVd (A) muito argiloso, ao contrário do ocorrido com LVAd(A) muito argiloso (Figura 1).

Figura 1. P extraído com resina aniônica (a-f) e P remanescente (g-l) em solos muito argilosos incubados com calcário.

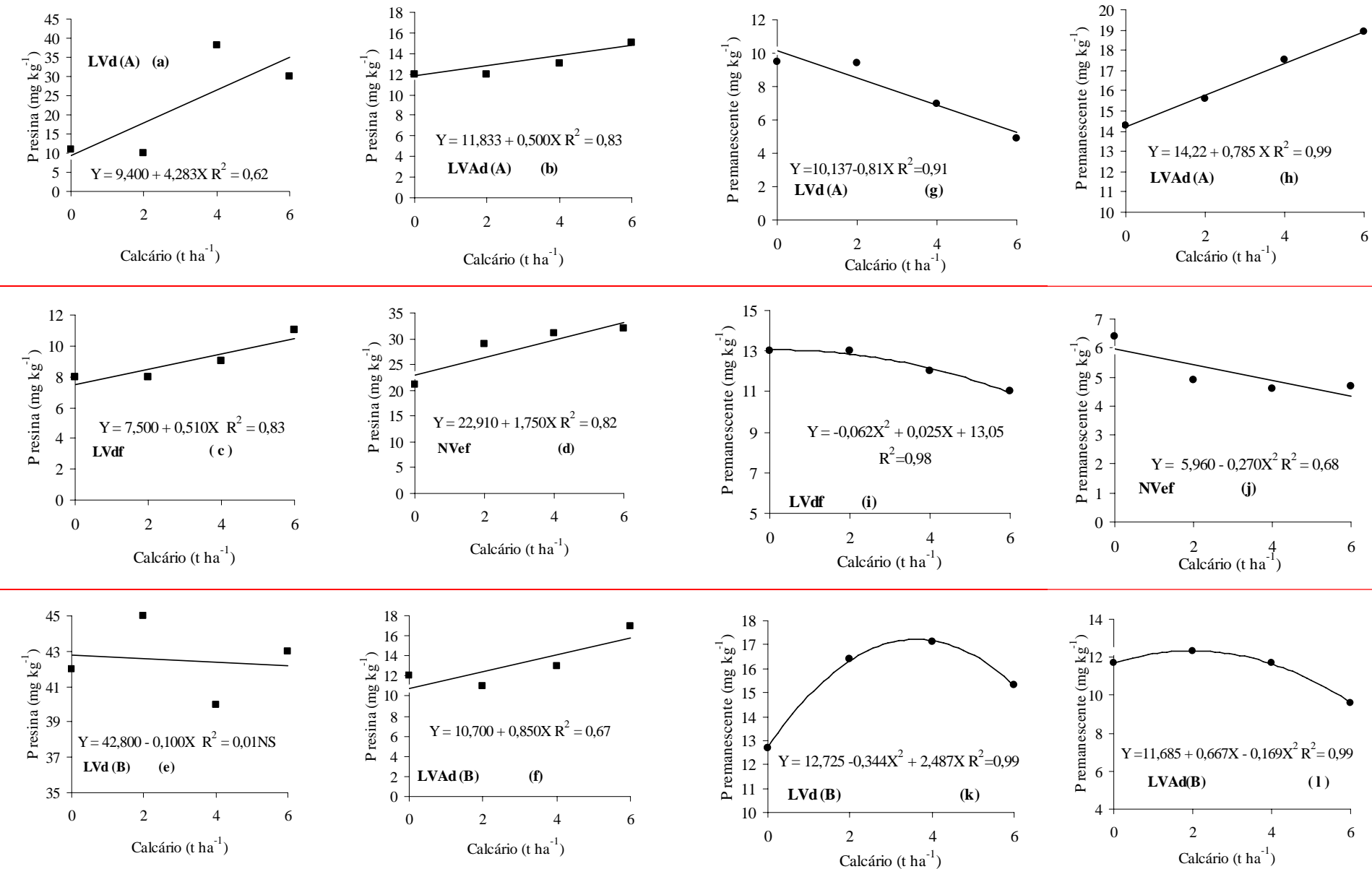


Figura 2. P extraído com resina aniônica (a-f) e P remanescente (g- l) em solos de textura média e arenoso incubados com calcário.

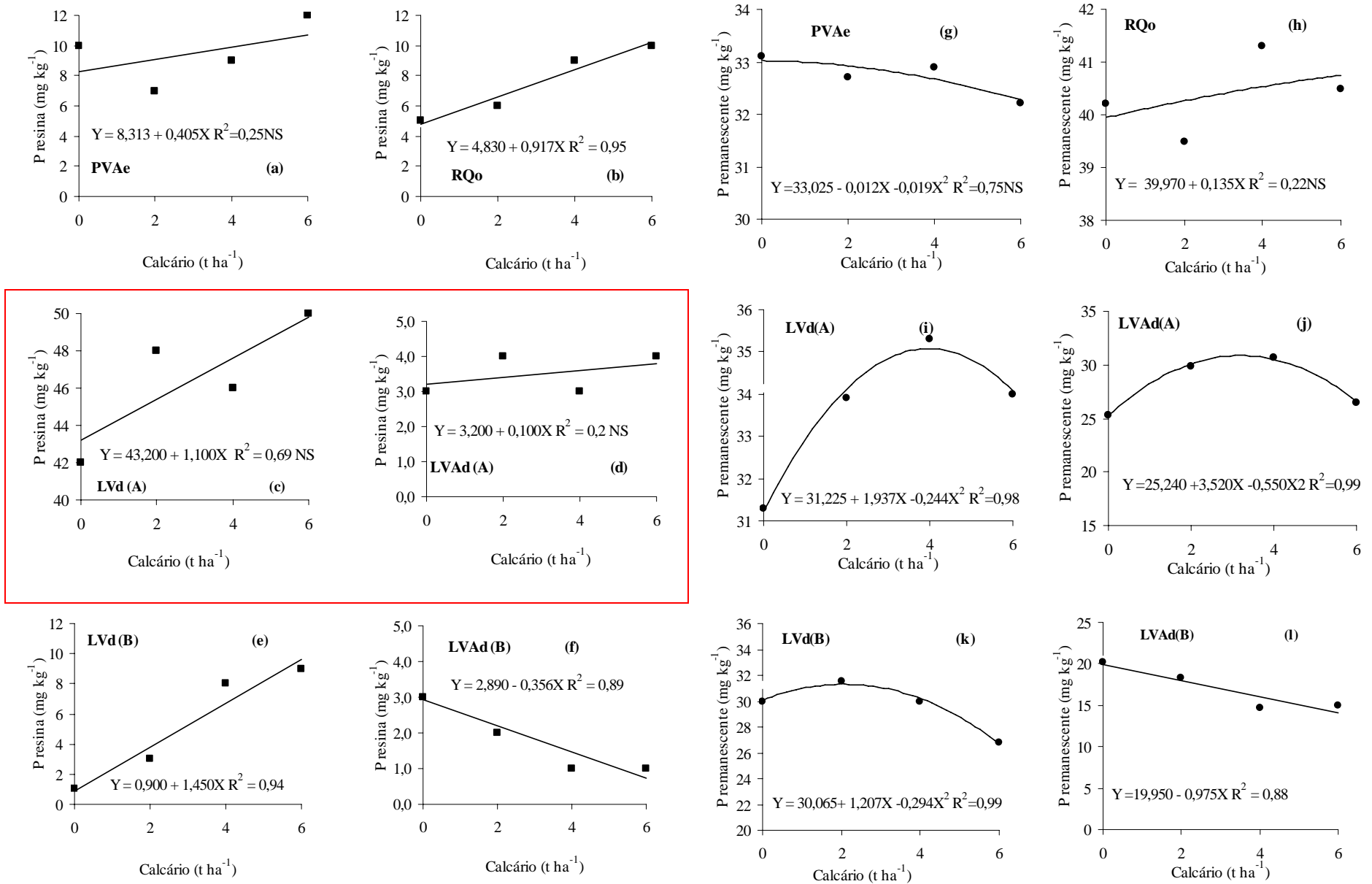


Tabela 3. Teores de Ca trocável, H+Al e pH (Y) nos solos em função de doses de calcário (X).

Solos	Ca Regressão ⁽¹⁾	R ²	H+Al Regressão ⁽¹⁾	R ²	pH Regressão ⁽¹⁾	R ²
LVd(A)	Y=0,283 + 0,692 X	0,98*	Y=1,273 - 0,238 X	0,72*	Y=4,527+ 0,473 X	0,96*
LVAd(A)	Y=0,566 + 0,625 X	0,98*	Y=3,150 - 0,617 X	0,76*	Y=3,673+ 0,148 X	0,98*
LVdf	Y=2,035 + 0,755X	0,98*	Y=4,097 - 0,460 X	0,90*	Y=4,763+ 0,194 X	0,98*
Nvef	Y=9,063 + 0,923 X	0,93*	Y=1,560 - 0,228 X	0,70*	Y=5,726+ 0,186 X	0,85*
PVAe	Y=5,267 + 0,742 X	0,92*	Y=2,750 - 0,375 X	0,92*	Y=4,986+ 0,351 X	0,91*
LVd ⁽²⁾	Y=0,172 + 0,436 X	0,78*	Y=2,652 - 0,370 X	0,88*	Y=3,535+ 0,574 X	0,98*
LVAd ⁽²⁾	Y=0,115 + 0,606 X	0,99*	Y=3,423 - 0,438 X	0,96*	Y=3,838+ 0,525 X	0,99*
RQo	Y=0,017 + 0,675 X	0,99*	Y=1,823 - 0,263 X	0,89*	Y=4,046+ 0,061 X	0,93*

⁽¹⁾Equações de regressão significativas a 5 % de probabilidade (*); ⁽²⁾Textura média.

Tabela 4. Efeito do pH em cloreto de cálcio (X) e Ca (X) sobre os valores de Premanescente (Y).

Solos ⁽¹⁾	Regressão ⁽¹⁾	R ²
LVd(A)	Y= 10,409 – 1,153 X	0,88*
LVd(B)	Y= 12,07 + 8,5455 X - 3,3636 X ²	0,97*
LVAd(A)	Y= 13,744 + 1,1919 X	0,98*
LVAd(B)	Y= 12,459 - 0,5744 X	0,68*
LVdf	Y= 14,412 - 0,4382 X	0,94*
Nvef	Y= 8,7003 - 0,3048 X	0,71*
PVAe	Y= 34,054 - 0,1778 X	0,78
LVd(A) ⁽²⁾	Y= 30,753 + 5,7123X - 1,7663 X ²	0,99*
LVd(B) ⁽²⁾	Y= 31,546 - 1,4333 X	0,55*
LVAd(A) ⁽²⁾	Y= 23,955 + 6,7646X+ 1,600X ²	0,99*
LVAD(B)	Y= 19,938 - 1,475 X	0,69*
RQo	Y= 19,938 - 1,4752X	0,87*

⁽¹⁾Equações de regressão significativa (*) e não significativas (ns) a 5 % de probabilidade; ⁽²⁾Textura média.

CONCLUSÃO

É importante que em experimentos de adsorção avaliados pelo método do P-remanescente, as doses de calcário aplicadas em solos muito argilosos e com alto teor de óxidos não seja suficiente para superar o valor de pH 7,0, pois nessas condições ocorrem reações entre o Ca e P que podem gerar conclusões equivocadas.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq pela concessão de bolsa de Recém Doutor, PIBIC e de Produtividade em Pesquisa, respectivamente, da primeira autora, segundo e quinto autor.

ABSTRACT: Liming is important to improve yield and the pH in tropical soils and this practice can modify the phosphorus availability in function of contents of clay, iron and aluminum oxide in soil. The changes of pH-values of soils with acidity correction could influence phosphorus sorption, but there is few studies using methods developed to these soils. The objective of this study was evaluate contents of P sorbed by P-remaining method in cerrado soils with lime application. The P extracted by anionic resin will be either evaluated to verify the efficiency of first method. An experiment was conducted during 90 days of incubation conditions in a complete randomized blocks, factorial scheme (12 x 4) compost by 12 soils samples (8 samples of A horizon and 4 of B horizon) and 4 rates of lime (0; 2; 4 ; 6 t ha⁻¹) and 4 replicates. The lime rates increased soil pH and reduced potential acidity (H+Al) in major of soils, as expected and P extracted at anionic resin in soils, except LVA very clayed (B horizon) and LVAd (B) medium clay. Lime gave low values of P-remaining in majority of soils. The increase of P-sorption was occurred where potencial acidity was zero and pH > 7.0. There was strong relationship between pH, Ca and P-remaining. It is possible P-remaining was reduced in function of Ca from lime where acidity was corrected due to P-Ca formation. Other studies must be conducted about this interaction.

KEYWORDS: Sorption. Resine anionic. Soil reaction.

REFERÊNCIAS

- ALVAREZ V. V. H.; NOVAIS, R. F. de; DIAS, L. E.; OLIVEIRA, J. A. de. Determinação e uso do fósforo remanescente. **Boletim informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 25, n. 1, p. 27-32, 2000.
- COMISSÃO DE FERTILIDADE DO SOLO DO ESTADO DE MINAS GERAIS (CFSEMG) **Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais 5ª aproximação**, Viçosa: CFSEMG, 1999. 359p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.
- FERREIRA, D. A.; PEREIRA, H. S.; CARNEIRO, M. A. C.; ASSIS, M. H. S.; AGUIAR, C. T. Influência do pH na adsorção. In: Congresso Brasileiro de Ciência do Solo, 2007, 31., 2007, Gramado. **CD Rom....** Gramado: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2007.
- GONÇALVES, J. L. M. **Cinética de transformação de fósforo lábil em não lábil em amostras de solos de cerrado**. 1988. 62p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- HAYNES, R. J. Lime and phosphate in the soil-plant system. **Advances in Agronomy**, New York, v. 37, n. 3, p. 249-315, 1984.
- KORNDÖRFER, G. H.; COELHO, N. M.; SNYDER, G. H.; MIZUTANI, C. T. Avaliação de métodos de extração de silício para solos cultivados com arroz de sequeiro. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 23, n. 2, p. 101-106, 1999.
- LOPES, A. S. **Solos sob “cerrado”**: características, propriedades e manejo. Piracicaba: Associação Brasileira da Potassa e do Fosfato, 1984. 162 p.
- MARÇONI, A.; MENDONÇA, E. S. Capacidade tampão de pH do solo e disponibilidade de fósforo pela adição de composto orgânico. **Magistra**, Cruz das Almas, v. 15, n. 2, p. 145-151, 2003.
- MEDINA-GONZALES, O. A.; FOX, R. L.; BOSSHART, R. P. Solubility and availability to sugarcane (*Saccharum* spp.) of two silicate materials. **Fertilizer Research**, The Hague, v. 16, n. 1, p. 3-13, 1988.
- NOVAIS, R. F.; SMITH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. UFV: Viçosa, 1999. 399p.
- RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba: Potafós, 1991. 343p.
- RAIJ, B. van.; FEITOSA, C. T.; SILVA, N. M. Comparação de quatro extratores de solos. **Bragantia**, Campinas, v. 43, n. 1, p. 17-29, 1984.
- SAS Institute INC. **The SAS-system for windows** : release 6.11(software). Cary: SAS Institute. 1996.
- SMITH, T. J.; SANCHEZ, P. Effects of lime, silicate and phosphorus applications to an oxisol on phosphorus sorption and ion retention. **Soil Science Society American Journal**, Madison, v. 44, p. 500-505, 1980.
- SOUZA, D. M. G. de; LOBATO, E. **Cerrado: correção do solo e adubação**. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 416 p.
- VETTORI, L. **Métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, 1969. 24 p. (Boletim Técnico, 7).