

**FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS ÁCIDOS E CORRIGIDOS COM
APLICAÇÃO DE FOSFATOS SOLÚVEL, REATIVO E NATURAL**

IZA LUCHINI

**FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS ÁCIDOS E CORRIGIDOS COM
APLICAÇÃO DE FOSFATOS SOLÚVEL, REATIVO E NATURAL**

IZA LUCHINI

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos obtenção do título de Mestre em..Área de Concentração: Produção Vegetal

Orientador: Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan

631.85
L936f

Luchini, Iza.

Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúveis, reativo e natural / Iza Luchini. – Presidente Prudente : [s.n.], 2008.
33 f.

Dissertação (Mestrado em Agronomia) –
Universidade do Oeste Paulista – UNOESTE:
Presidente Prudente – SP, 2008.
Bibliografia

1. Fixação de Fósforo. 2. Acidez, Fosfato Acidulado. 3. Fosfato Natural. I. Título.

IZA LUCHINI

**FÓSFORO DISPONÍVEL EM SOLOS ÁCIDOS E CORRIGIDOS COM
APLICAÇÃO DE FOSFATOS SOLÚVEL, REATIVO E NATURAL**

Dissertação apresentada a Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação, Universidade do Oeste Paulista, como parte dos requisitos obtenção do título de Mestre em Mestre em Agronomia

Presidente Prudente, 27 de agosto 2008.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Carlos Sérgio Tiritan
Universidade Do Oeste Paulista - UNOESTE

Prof. Dr. José Salvador Simoneti Foloni
Universidade Do Oeste Paulista - UNOESTE

Prof. Dr. Sandro Roberto Brancalião
Instituto Agrônômico (IAC)

DEDICATÓRIA

a Deus, por tornar possível esta vitória;

a meus país, Pedro e Laura, “in memoriam”, pela formação humana e espiritual;

AGRADECIMENTOS

as minhas irmãs, Izabel, Izaura e Irene, pelo amor, e por estarem muito presentes em todos os momentos; que de alguma forma, colaboram comigo e com meus ideais, acreditando em mim e ajudando-me a transformar meus sonhos em realidade;

as minhas sobrinhas, que sempre me alegram com seu carinho e atenção;

a toda minha família, pessoas essenciais nessa trajetória;

ao Prof. Dr. Carlos S. Tiritan, mais que orientador, um exemplo de profissional dedicado à pesquisa, que, com enorme paciência e extrema competência, norteou o presente trabalho, e, principalmente, pela valiosa amizade as quais serão lembradas e reconhecidas na minha vida profissional e pessoal. Muito obrigada!

ao Prof. Dr. José Salvador Simoneti Foloni, pela amizade, pelas importantes sugestões e principalmente na finalização desse trabalho;

ao Prof. Dr. Fabio Fernandes Araujo, pelas valiosas e imprescindíveis observações no Exame de Qualificação;

ao Coordenador do Curso de Pós-Graduação, pela oportunidade oferecida e contribuição à minha formação científica;

aos demais mestres, que transmitiram com competência e dedicação seus conhecimentos, contribuindo, do início ao término deste processo, em busca do conhecimento;

à Prof^a. Vera Sonia, pela amizade, pelas aulas de inglês e pelo incentivo...sempre disposta a me ajudar de alguma forma, com muita boa vontade. Muito obrigada!;

aos colegas da Pós-Graduação, pela amizade e convívio durante o curso, em especial a Cláudia e Renato, pelo companheirismo;

à Keid, pela sua disponibilidade em atender minhas solicitações na secretaria;

às funcionárias Joce, Viviane, Mariza, Márcia, pela constante cooperação no encaminhamento desse trabalho, e, especialmente, à Lindaura, sempre muito solícita, na realização das análises químicas do Laboratório de Solos.

à Mara, bibliotecária, pela atenção trabalhos prestados;

a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

“E graças a Deus, que sempre nos faz triunfar em Cristo, e por meio de nós manifesta em todo o lugar a fragrância do seu conhecimento” II Co.2:14

RESUMO

Fósforo disponível em solos ácidos e corrigidos com aplicação de fosfatos solúvel, reativo e natural

Este trabalho avaliou o comportamento das fontes de fósforo: Arad, Fosforita Alvorada e Superfosfato Triplo em dois solos. - um arenoso e outro argiloso. -, na condição de acidez natural e, após a correção, atingir saturação por bases a 70%. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, com esquema fatorial (2x2x3x4), sendo: dois solos; três fontes de fertilizantes fosfatados e quatro doses (0, 100, 200 e 400 Kg há⁻¹), com quatro repetições. Os resultados foram submetidos à análise de variância, sendo adotada a análise de regressão, ajustando-se as equações, e tendo-se como critério para escolha do modelo estatístico os testes F significativo a 1 a 5%, e (magnitude dos coeficientes de determinação). Os fertilizantes fosfatados elevaram os teores de cálcio e fósforo nos solos arenoso e argiloso na presença e ausência de calagem. O Arad, aplicado em doses elevadas nos solos ácidos, alterou o pH dos solos arenoso e argiloso. Os menores teores de fósforo disponível no solo foram observados nos tratamentos que receberam a aplicação de Fosforita Alvorada, e os maiores teores para o Superfosfato Triplo e o Arad apresentaram teores intermediários de fósforo disponível.

Palavras chave: Fixação de Fósforo, Acidez, Fosfato Acidulado, Fosfato Natural

ABSTRACT

Phosphorus available in acid and rectified soils with application of soluble, reactive and natural phosphate

This work evaluated the behavior of phosphorus sources: Arad phosphate, Alvorada phosphorite and Triple Superphosphate in two soils – a sandy and a clay 70% basis saturation in the natural acidity condition. The experimental outlining was totally randomized in a factorial scheme (2x2x3x4), being: two soils; three phosphate fertilizer sources; and four doses (0, 100, 200 and 400 Kg ha⁻¹), with four repetitions. The results were submitted to the analysis variation, being taken the retrogression one, adjusting the equations and using as a criterion to the statistical pattern choice the significative F tests from 1 to 5%, and magnitude of determination coefficients. The phosphate fertilizers raised the calcium and the phosphorus proportions in the sand and in the sand-clay soils, both in presence and in absence of liming. The arad, applied in high doses in the acid soils, changed the pH of the sandy and the clay soils were noticed in the treatments that received an Alvorada Phosphorite application, and the highest proportions of the Triple Superphosphate and the Arad showed intermmEDIATE proportions of available phosphorus.

Key-Words: Phosphorus fixing, Acidity, Acidified Phosphate, Natural Phosphate.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
2.1 A Capacidade de Fixação Fósforo dos Solos	12
2.2 Fontes de Fósforo	12
2.3 Alumínio na Solução do Solo	14
3 MATERIAL E MÉTODOS	16
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
5 CONCLUSÕES	29
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	25

1 INTRODUÇÃO

Os solos brasileiros são normalmente deficientes em fósforo (P) e, por isso, os fertilizantes fosfatados são bastante utilizados no país. Dados da ANDA (2004) mostraram que o consumo médio anual de matéria-prima para fertilizantes fosfatados é de aproximadamente 2,7 milhões de toneladas com tendência de aumento nos próximos anos.

Na agricultura brasileira as fontes de fósforo mais utilizadas são os fosfatos solúveis em água: superfosfato simples, superfosfato triplo, monoamônio fosfato e diamônio fosfato. São reconhecidamente as melhores fontes de fósforo, mas também as mais caras, exigindo em sua fabricação considerável investimento de enxofre, que é uma matéria prima importada.

O fósforo trata-se de um elemento extremamente reativo quimicamente e que ocorre em aproximadamente 170 diferentes minerais da natureza. Esses minerais variam enormemente em sua solubilidade e, uma vez na solução do solo, o elemento tende a transformar-se em formas de insolubilidade crescente com o passar do tempo. Conseqüentemente o fósforo é o mais imóvel inacessível e não disponível de todos os nutrientes (HOLFORD, 1997).

Quando o fertilizante fosfatado é adicionado ao solo, a taxa de dissolução será amplamente controlada pela solubilidade dos compostos, constituintes do mesmo.

Na literatura observa-se uma grande inespecificidade na utilização dos termos relacionados aos fenômenos de transformação de formas solúveis a lábeis ou não lábeis de P, neste contexto o termo “fixação” tem sido utilizado abrangendo aos fenômenos que levam a uma menor disponibilidade de P. Segundo Novais e Smyth (1999), os principais fatores que afetam as quantidades fixadas do fósforo são: mineralogia da fração de argila, conteúdo de colóides amorfos, conteúdo de alumínio trocável e potencial de oxi-redução.

O presente trabalho objetiva avaliar a contribuição das fontes de P e como seu efeito nas formas de P no solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A Capacidade de Fixação Fósforo dos Solos

Há uma grande indefinição para o termo “capacidade de fixação de fósforo”, Malavolta (1976), apresenta a seguinte definição: o processo pelo qual os elementos solúveis são transformados em produtos menos solúveis por reações com componentes inorgânicos ou orgânicos, resultando na diminuição da mobilidade e da disponibilidade.

É importante lembrar que nem todos os solos apresentam elevada capacidade de fixação de fósforo. Isto se deve principalmente às variações entre os solos no que diz respeito ao teor e tipo de argila e conteúdo de óxidos de ferro e alumínio livre. Assim, solos com textura arenosa podem não apresentar elevada capacidade de fixação fósforo, da mesma forma que solos com elevado teor de argila, associado a um baixo teor de óxidos de ferro e alumínio. Nos solos da região tropical, é importante determinar a capacidade de fixação de fósforo, pois é um dos fatores que governa a disponibilidade do elemento na solução do solo, a dissolução de fertilizantes e, conseqüentemente, a absorção pelas culturas (SANCHES; UEHARA, 1980)

2.2 Fontes de Fósforo

As fontes naturais de fósforo podem ser encontradas em três tipos de depósitos: guano, fosfatos de alumínio e fosfato de cálcio, sendo esta última a mais importante (SILVA; LOPES, 1991). Aproximadamente 85% da produção mundial de fósforo vêm de depósitos sedimentares e 15% de depósitos magmáticos (LOPES, 2003). No Brasil cerca de 80% das jazidas de fosfatos naturais são de origem ígnea, com presença acentuada de rocha carbonatítica e minerais micáceos, com baixo teor de P_2O_5 .

As reservas nacionais de rocha fosfática atingem 2,27 bilhões de toneladas de minérios, contendo 222 milhões de toneladas de P_2O_5 , concentradas principalmente nos estados de Minas Gerais, Santa Catarina, São Paulo e Goiás, sendo a maioria relacionada a ambiente geológicos vulcânicos (BRASIL, 2004).

As fontes de fósforo podem ser divididos basicamente em solúveis, pouco solúveis e insolúveis. As primeiras quando adicionadas ao solo, aumentam rapidamente a concentração do fósforo na solução do solo. Os fosfatos solúveis têm sua eficiência diminuída ao longo do tempo devido ao processo de “adsorção” ou “fixação” de P. Já os fosfatos naturais, que são insolúveis em água, se dissolvem lentamente na solução do solo e tendem a aumentar a disponibilidade do P para as plantas com o tempo.

Os fosfatos naturais em geral, apresentam menor eficiência que os fosfatos solúveis em curto prazo, porém, em longo prazo seu efeito residual é geralmente maior (KOR NDÖRFER, 1978).

As fontes solúveis em água mais produzidas no Brasil são os superfosfatos (simples e triplo) e os fosfatos de amônio (MAP e DAP). Trata-se de produtos solúveis que, quando incorporados ao solo, possuem grande capacidade de liberação de P. para as plantas e, portanto, com alta eficiência agrônômica como fertilizantes fosfatados (GOEDERT, 1986).

Os fosfatos naturais são mais reativos em solos ácidos, com alta CTC e deficientes em Ca e P (GOEDERT; LOBATO, 1980). Os fosfatos naturais são concentrados apáticos obtidos a partir de minerais fosfáticos ocorrentes em jazidas localizadas, os quais podem ou não passar por processos físicos de concentração, com a lavagem e/ou flotação, para separá-los dos outros minerais com os quais estão misturados (KAMINSKI; PERUZZO, 1997).

Os fosfatos naturais têm baixa solubilidade em água, e assim, quanto menor o tamanho da partícula e maior o contato com o solo, maior será a liberação de fósforo (RAIJ, 1991). Trabalhos demonstraram que o fosfato natural de Gafsa, moído até que 85% de suas partículas fossem menores do que 0,074 mm, apresentaram resultados próximos ao superfosfato triplo granulado (GOERPFERT; TEDESCO, 1986, BRAGA et al., 1991).

Segundo Korndörfer et al (1997), os fosfatos naturais farelados de Arad, Marrocos e Gafsa apresentaram resultados similares ao superfosfatos triplo granulado.

O uso de fosfato reativo assume, no Brasil, especial importância tendo em vista que na maioria de nossos solos contém baixos teores de P disponível, e os adubos industrializados apresentam alto custo energético. Contudo a eficiência destes materiais é muito variável sendo complexo o equacionamento de seu uso (KHASAWNEH; DOLL, 1978); em sua maioria, pouca eficiência (RAIJ et al., 1981)

2.3 Alumínios na Solução do Solo

O Al compreende 7,1% da crosta terrestre em peso e é o terceiro elemento mais abundante depois do oxigênio e do silício. Ele faz parte de minerais primários como feldspatos e micas, de minerais secundários alumínio-silicatados, como a caulinita, haloisita e imogolita, e de óxidos de Al (ex.gibbsita) (WRIGHT, 1989).

O Al livre é coordenado por seis moléculas de água em uma configuração octaédrica ($Al(H_2O)_6^{3+}$) e é denominado como Al^{3+} (WRIGHT 1989). Com o aumento do pH da solução, as moléculas de água da esfera de hidratação perdem H^+ , numa reação química chamada de hidrólise do íon Al, o que altera a valência do íon em solução (BERTSCH; PARKER, 1995).

O Al pode estar na forma livre complexado com hidróxidos ($AlOH^{2+}$; $Al(OH)_2^+$; $Al(OH)_3^0$ e $Al(OH)_4^-$), com sulfato ($AlSO_4^+$), com fluoreto (AlF^{2+}), com fosfato ($AlH_2PO_4^{2+}$) (BLOON; ERICH, 1995). A quantidade de Al complexado com as hidroxilas depende do pH da solução do solo.

A alta concentração de Al, o baixo pH e os baixos teores de cálcio e magnésio são características comuns na maioria dos solos brasileiros (QUAGGIO, 2000).

A acidez dos solos inibe o crescimento das plantas. A inibição do crescimento resulta da combinação de fatores que incluem a toxidez por alumínio e

a deficiência de nutrientes, particularmente, cálcio, magnésio, fósforo (WRIGHT, 1989). Os problemas de toxidez por Al e baixos teores de cátions básicos, podem ser solucionados mediante a adoção de técnicas de melhoramentos vegetal e/ou manejo do solo (LOPES, 1984). Dentre as práticas de manejo, a principal e mais utilizada é a calagem, que promove aumento do pH e da saturação por bases, torna os nutrientes mais disponíveis, promove a precipitação do Al e fornece cálcio e magnésio (QUAGGIO, 2000). Porém, como os corretivos da acidez são pouco solúveis, e os produtos da reação do calcário com o solo têm mobilidade limitada, a ação da calagem é restrita às camadas superficiais do solo (AMARAL; ANGHINONI, 1997).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Solos da Universidade do Oeste Paulista - UNOESTE, em Presidente. Prudente-SP, durante os meses de outubro a dezembro de 2007. Os solos utilizados foram classificados como Latossolo Vermelho Amarelo e outro Argissolo Vermelho Distroférico (EMBRAPA, 1999). Os solos foram analisados para caracterização de atributos químicos de acordo com metodologia de Raij et al. (2001). Os resultados das análises químicas do solo estão apresentados na tabela 1, e textura segundo Embrapa (1997) os resultados das análises granulométricas estão apresentados na tabela 2.

TABELA 1 - Resultados das análises químicas

Classificação	pH	MO	P _{resina}	H+Al	K	Ca	Mg	SB	CTC
Solo	CaCl ₂	g dm ⁻³	mg dm ⁻³	mmol _c dm ⁻³					
Arenoso	4,1	20	2	39	0,6	4	1	6	44
Argiloso	4,1	10	7	59	1,7	3	1	5,7	65

TABELA 2 - Resultados da análise granulométricos do solo da área experimental, de amostras coletadas nas camadas de 20 a 40 cm

Classificação Solo	Argila	Silte	Areia
	g Kg ⁻¹		
Arenoso	22,0	57,1	820,9
Argiloso	27,9	88,3	632,7

As amostras de solo foram secadas em estufas de aeração forçada a 40°C por 48h, e posteriormente, passadas em peneiras de malha 2 mm. Uma parte do solo recebeu doses de calcário dolomítico. O total de 48 tratamento (2 condições de solos x 2 níveis de acidez x 3 fontes de P x 4 doses) totalizando assim 192 unidades experimentais. Foram pesado 0,3 Kg de todas as amostras de solo, com ou sem calcário e acondicionado em vasos. Amostras do solo foram coletas dos

vasos para caracterização dos efeitos dos tratamentos. O P, K, Ca e Mg foram extraídos com a resina trocadora de íons, sendo que a quantificação do P e K foi realizada por calorimetria e fotometria de chama. A determinação do Ca e Mg foi realizado por espectrometria de absorção atômica.

O experimento foi instalado no delineamento inteiramente casualizados, com quatro repetições, no esquema fatorial (2 x 2 x 3 x 4) sendo: dois solos um arenoso e outro argiloso; acidez natural do solo e correção do solo para atingir a saturação por bases a 70% ; três fontes de fertilizantes fosfatados Arad, Fosforita Alvorada e Superfosfato Triplo e quatro doses (0 , 100, 200 e 400 kg ha⁻¹). As doses de calcário foram estabelecidas em função dos resultados das análises de solo da Tabela 1. A calagem (CaO: 39%, MgO: 13% e PRNT: 91%) foi realizada com o objetivo de elevar a saturação por bases das amostras do solo 70% (RAIJ et al., 1997), utilizando-se um massa de solo de 2 000 000 de kg ha⁻¹. Em função da quantidade de calcário determinada por hectare calculou-se a quantidade de calcário a ser aplicado em cada vaso com capacidade para 0,3 kg de solo. Nos tratamentos que receberam calagem, a umidade do solo foi ajustada na capacidade de campo para cada solo, sendo 55 ml de água para o solo arenoso e 75 ml de água para o solo argiloso. Após a aplicação do calcário e da água os solos foram incubados por 30 dias. Em seguida ao período de incubação do calcário foram adicionadas as doses dos fertilizantes fosfatados e novamente ajustou-se a umidade do solo à capacidade de campo e os solos incubados por mais um período de 30 dias. Depois deste período de incubação os solos foram levados ao Laboratório para caracterização de atributos químicos, de acordo com Raji et al. (2001),

Os resultados foram submetidos à análise de variância e adotado a análise de regressão, ajustando-se as equações, tendo como critério para escolha do modelo os teste F significativos a 1 e 5% e magnitude dos coeficientes de determinação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na figura 1 estão apresentados os resultados dos valores de pH dos solos arenosos e argiloso com calagem e sem calagem, ambos sob a influência das doses e fontes de adubos fosfatados. Verificou-se que no solo arenoso com calagem (figura 1a) não ocorreram respostas estatisticamente significativas para as doses e fontes dos fertilizantes fosfatados, ou seja, no solo arenoso corrigido as fontes e doses de fertilizantes fosfatados não apresentaram influência sobre o pH do solo. No solo argiloso corrigido (figura 1c) o Arad não alterou significativamente o valor de pH, a Fosforita Alvorada aumentou o pH na presença da dose de 200 kg ha^{-1} de P_2O_5 e o Superfosfato Triplo reduziu o valor de pH, sendo observado o menor valor de pH para maior dose de P_2O_5 (400 kg ha^{-1} de P_2O_5). Nos solos não corrigidos Gráficos 1 b e 2 d, o Arad alterou o valor de pH tanto no solo arenoso quanto no solo argiloso. Nos solos ácidos sem calagem o Arad promoveu um aumento do pH dos solos, provavelmente devido a presença do carbonato de cálcio do Arad, que permitiu uma leve correção do solo, principalmente quando aplicou-se a maior dose de P_2O_5 (400 kg ha^{-1} de P_2O_5). Korndorfer et al (1999), observaram que a acidez não foi afetados pela adubação fosfatada, nem mesmo quando se utilizou os fosfatos naturais nas doses mais elevadas ($400 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$). Coutinho et al (1991) também não observaram alterações significativas das variáveis relacionadas com a acidez dos solo após a aplicação de fosfatos naturais. Entretanto, outros autores citam que os fosfatos naturais podem auxiliar na correção da acidez do solo Hammond, (1978).

Rheinheimer et al. (2001) afirmam que a aplicação de calcário também é necessária, mas a elevação do pH retarda o processo de dissolução do fosfato natural e diminui a disponibilidade de fósforo proveniente desse fertilizante às plantas, principalmente acima de pH 5,2. Considerando a indicação de Almeida et al. (1999) de que em pH 5,2 já se minimizam os efeitos tóxicos do alumínio, esse pH parece ser o mais indicado para ser trabalhado quando da aplicação de fosfato natural. A Fosforita Alvorada e o Superfosfato Triplo aplicados no solo sem calcário não alteraram os valores de pH, tanto para o solo arenoso quanto para o solo argiloso (figuras 1b e 1d). Entretanto, em solos ácidos intemperizados,

imediatamente após a aplicação de fontes de P de elevada solubilidade em água uma parte do fósforo aplicado pode tornar-se imediatamente indisponível pelos processos de adsorção nas superfícies de óxidos de Fe/Al e minerais de argila e/ou precipitação como minerais secundários de P ligado a Fe e a Al Havlin et al., (2005)

Além disso, o uso de fertilizantes fosfatados acidulados solúveis em água, como superfosfato triplo ou simples, pelos agricultores de baixa renda é limitado nos países em desenvolvimento principalmente pelo seu elevado custo (CHIEN; MENON; BILLINGHAN, 1996).

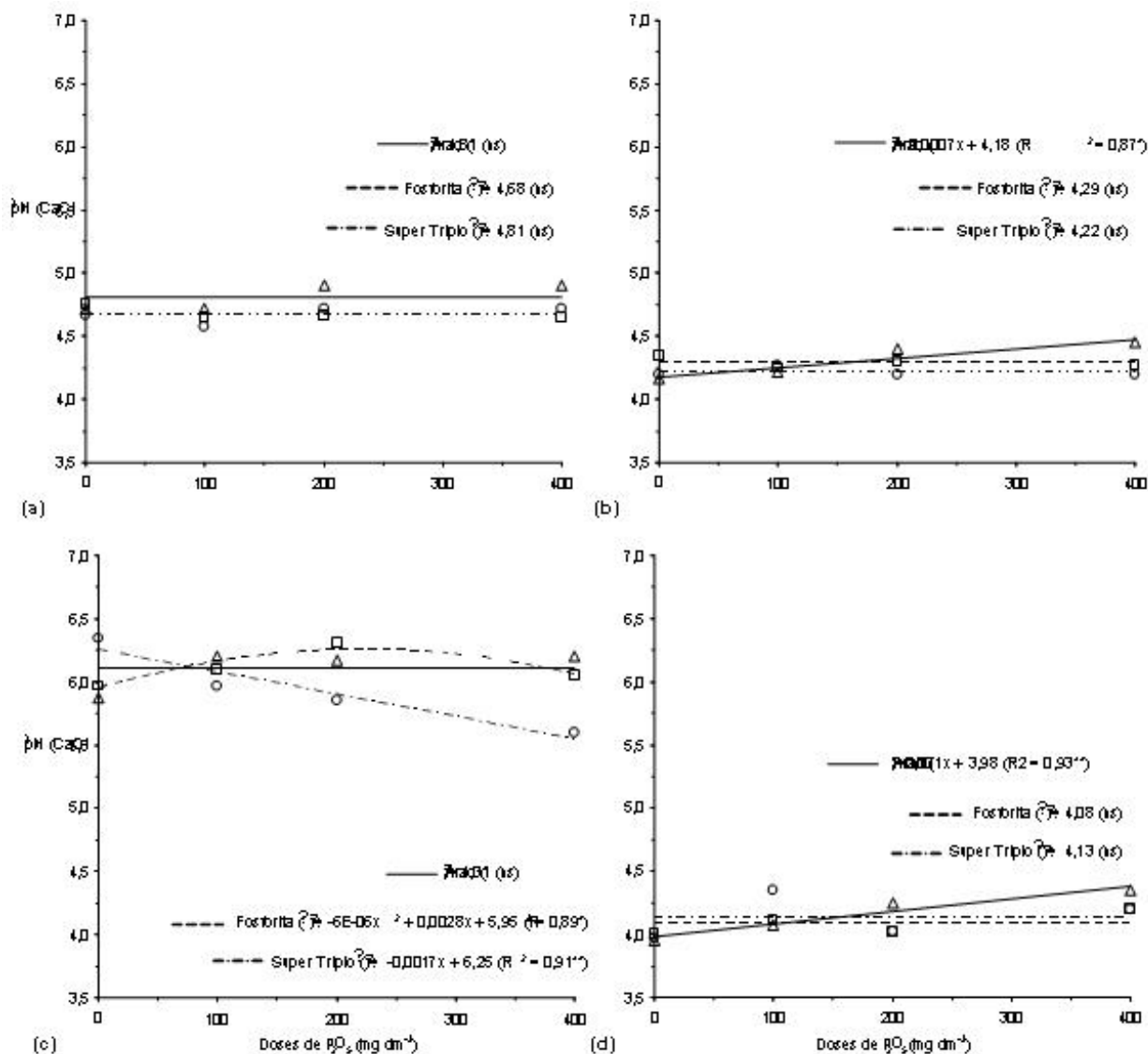


FIGURA 1 - Valores de pH (CaCl₂) para solos arenoso com calcário (a), arenoso sem calcário (b), argiloso com calcário (c) e argiloso sem calcário (d), com doses de 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas fontes Arad (Δ), Fosforita Alvorada (□) e Superfosfato Triplo (○). * e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo

Na figura 2 estão apresentados os resultados da saturação por bases (V%) nos solos arenoso e argiloso com calagem e sem calagem, ambos sob a influência das doses e fontes de adubos fosfatados. Verificou-se que no solo argiloso com calagem (figura 2c) não ocorreram respostas estatisticamente significativas para as doses e fontes dos fertilizantes fosfatados, ou seja, no solo argiloso corrigido as fontes e doses de fertilizantes fosfatados não apresentaram

influência sobre o V % do solo. No solo arenoso corrigido (figura 2a) a Fosforita Alvorada não alterou significativamente o valor de V %, o Superfosfato Triplo aumentou V% do solo na presença da dose de 200 kg ha⁻¹ de P₂O₅ e o Arad aumentou o V% , sendo observado o maior valor de V% na maior dose de P₂O₅ (400 kg ha⁻¹ de P₂O₅). No solo arenoso sem calagem (figura 2b) o Arad e a Fosforita Alvorada promoveram aumentos significativos na saturação por bases, mas o Superfosfato Triplo não alterou significativamente a saturação por bases no solo. Para o solo argiloso sem calagem (figura 2d) as três fontes de fertilizantes fosfatados promoveram aumentos estatisticamente significativos na saturação por bases no solo.

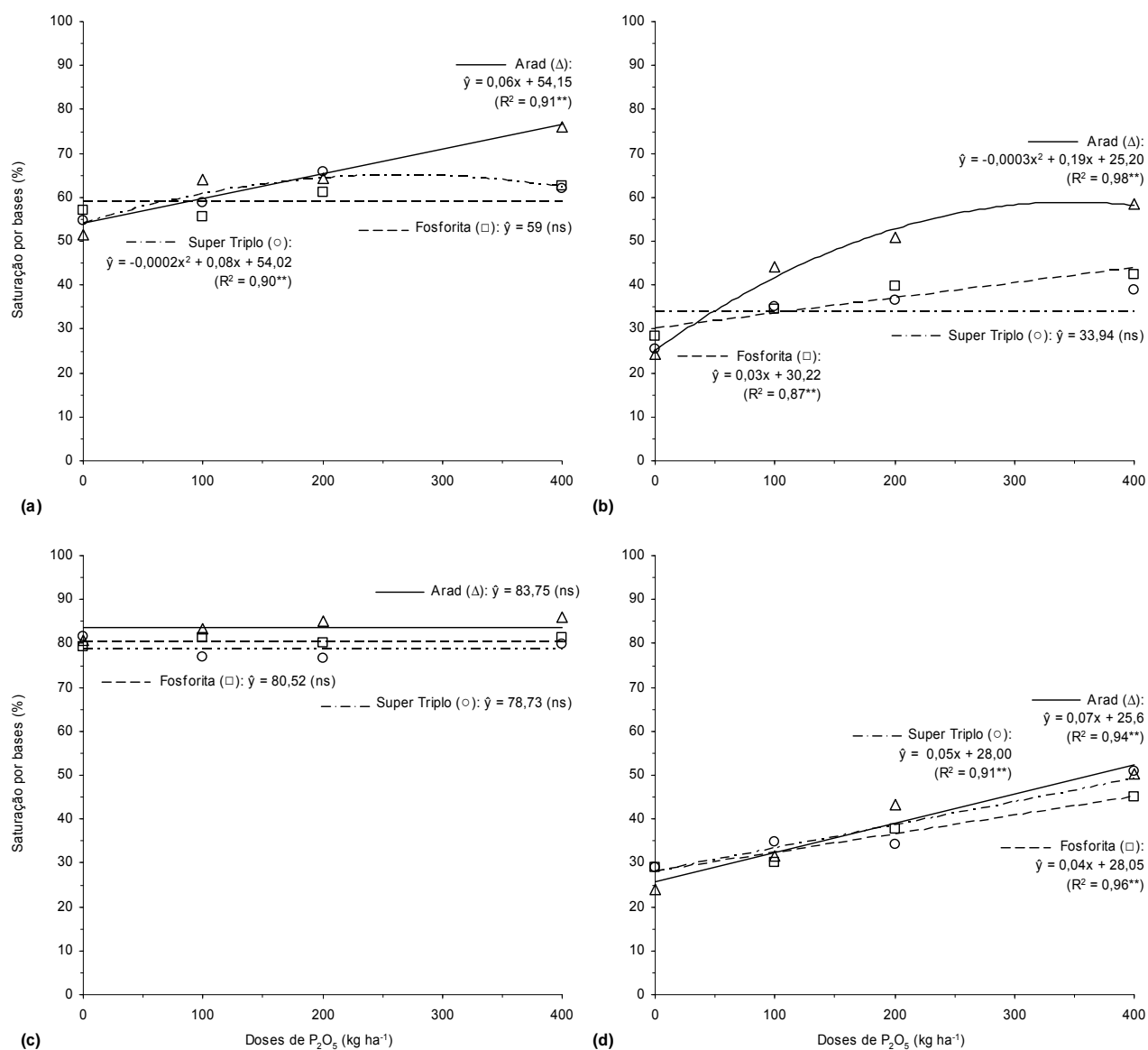
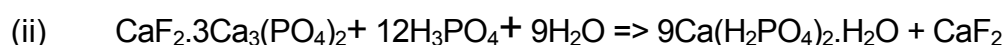
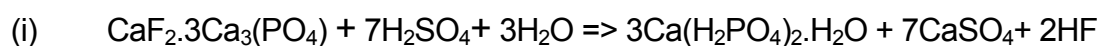


FIGURA 2 - Saturação por bases no solo arenoso com calcário (a), arenoso sem calcário (b), argiloso com calcário (c) e argiloso sem calcário (d), com doses de 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P_2O_5 nas fontes Arad (Δ), Fosforita Alvorada (\square) e Superfosfato Triplo (\circ). * e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo

Na figura 3 estão apresentados os resultados dos teores de Ca trocável nos solos arenoso e argiloso com calagem e sem calagem, ambos sob a influência das doses e fontes de adubos fosfatados. Verificou-se que as fontes de fertilizantes fosfatados elevaram os teores de Ca trocável no solo arenoso com calagem e sem calagem e no solo argiloso com calagem e sem calagem, com a exceção da Fosforita Alvorada no solo argiloso com calagem (figura 3c) não apresentando

respostas estatisticamente significativas para os teores de Ca trocável. O aumento dos teores de Ca trocável no solo em função das fontes e doses de fertilizantes fosfatados é justificado pela presença do Ca na composição dos fertilizantes fosfatados, mesmo nos fosfatos de baixa solubilidade como a Fosforita Alvorada. Segundo León et al. (1986), as rochas fosfáticas podem ser classificadas como rochas de reatividade elevada, média, baixa e muito baixa. Por exemplo, o fosfato de Arad é considerado, de acordo com esta classificação, como fosfato de rocha de elevada reatividade, com elevado potencial agrônômico. O fosfato de Arad é uma das principais fontes de fosfato natural para o Brasil. No triênio 1999-2001, mais de 80% da matéria prima (rocha fosfática) vieram de Israel, Marrocos, Tunísia, Togo e Argélia. Entre as principais fontes de P produzidas pela indústria de fertilizantes no Brasil, encontramos as seguintes: (i) fosfatos naturais; (ii) fosfatos acidulados, (iii) termofosfatos. Os principais fosfatos totalmente acidulados são o superfosfato simples e o superfosfato triplo, obtidos pela reação da rocha fosfática com os ácidos sulfúricos e fosfóricos, respectivamente, de acordo com as seguintes reações:



A avaliação de uma fonte de P com extratores têm como objetivo determinar o potencial agrônômico dos fertilizantes. A solubilidade das fontes em extratores químicos exprime seu significado quando correlacionada com a eficiência agrônômica. Porém, essas metodologias não consideram a eficiência agrônômica de forma direta, nem as formas do P no fertilizante Alcarde e Prochnow, (2003).

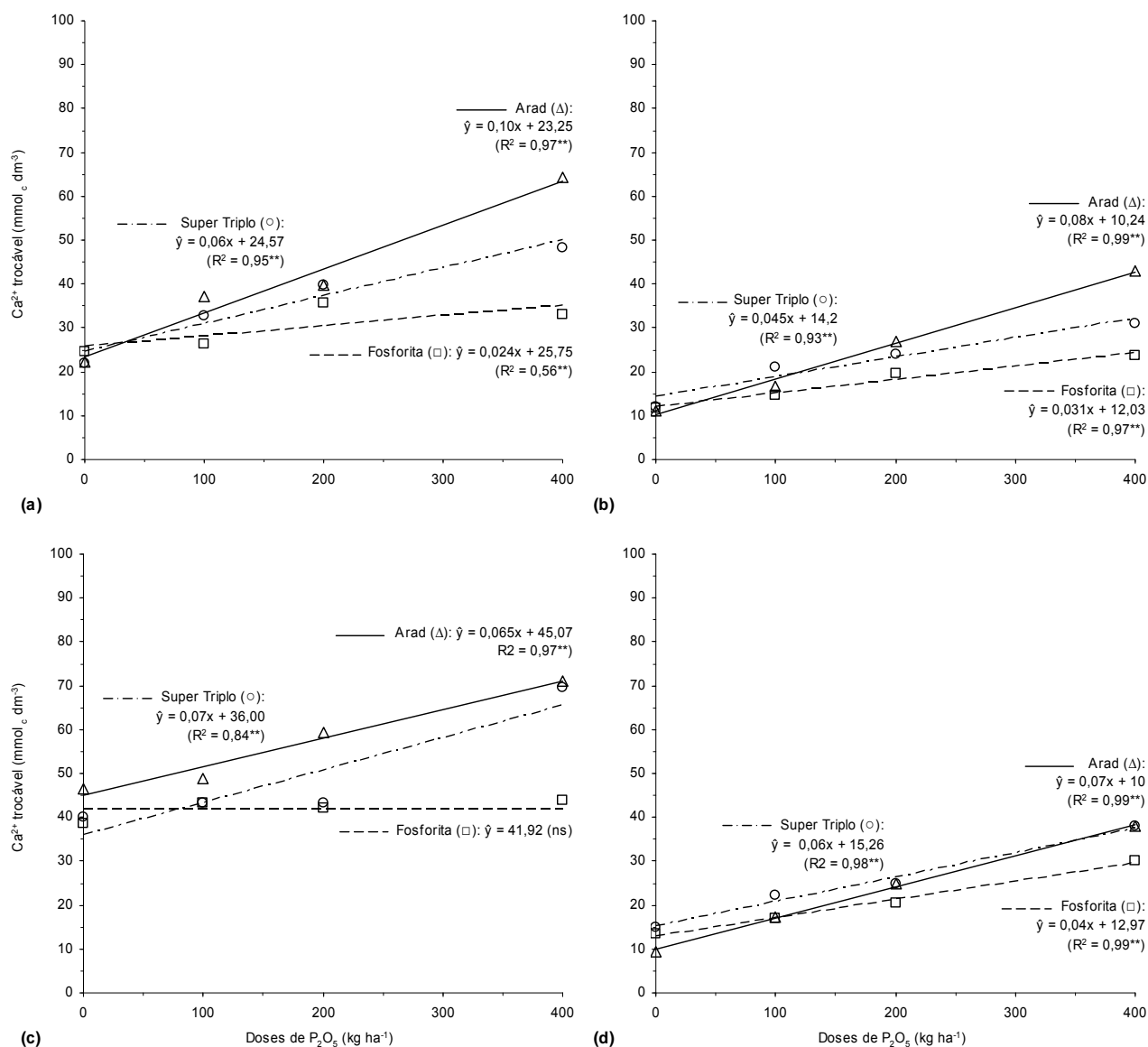
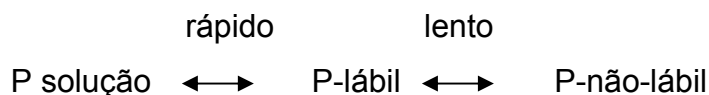


FIGURA 3 - Teores de Ca trocável no solo arenoso com calcário (a), arenoso sem calcário (b), argiloso com calcário (c) e argiloso sem calcário (d), com doses de 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas fontes Arad (Δ), Fosforita Alvorada (\square) e Superfosfato Triplo (\circ). * e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo

Na figura 4 estão apresentados os resultados dos teores de P disponível nos solos arenoso e argiloso com calagem e sem calagem, ambos sob a influência das doses e fontes de adubos fosfatados. Verificou-se que as fontes de fertilizantes fosfatados elevaram os teores de P disponível no solo arenoso com calagem e sem calagem e no solo argiloso com calagem e sem calagem (figura 4 abc e d). A Fosforita Alvorada foi o fertilizante fosfatado que apresentaram os

menores teores de P disponível tanto nos solo arenoso quanto no solo argiloso, ambos na presença e ausência de calagem. Portanto Fosforita Alvorada foi o fertilizante fosfatado que apresentou o pior desempenho para elevar os teores de P disponível no solo, independente do tipo de solo (arenoso e argiloso) e condição de acidez (solo ácido e corrigido) figura 4 abc e d. O fósforo no solo está desigualmente distribuído em cinco compartimentos: precipitando com Al, Fe e Ca, adsorvido aos óxidos de Fe e Al da fração argila, em solução, na forma orgânica ou fazendo parte de compostos marcadamente insolúveis. Esses compartimentos exibem variadas capacidades de fixação e, portanto, de liberação do nutriente disponível as raízes das plantas na solução do solo. Em função do pH, o P ocorre nas formas aniônicas H_2PO_4^- , HPO_4^{2-} ou PO_4^{3-} Novais e Kamprath, (1979); Bahia Filho, (1982); Raij, (1991). Nos solos tropicais, em função do pH normalmente encontrado, o P ocorre quase que exclusivamente com o ânion ortofosfato (H_2PO_4^-), derivado do ácido ortofosfórico (H_3PO_4).

As formas de P podem, conceitualmente, ser separada em: P- solução, P- lábil e P- não lábil, conforme o esquema proposto por Larsen, (1967).



Este modelo pressupõe a existência de um equilíbrio rápido estabelecido entre o P-solução e o P-lábil, enquanto que a passagem do p-lábil para o P-não lábil ocorre de forma bastante lenta.

Quando adubos fosfatados são aplicados ao solo, depois de sua dissolução, grande parte do P é retida na fase sólida, formando compostos menos solúveis, e parte do P é aproveitada pelas plantas. A magnitude dessa recuperação que depende, principalmente, da espécie cultivada, e é afetada pela textura, tipos de minerais de argila e acidez do solo. Além disso, a dose, a fonte, a granulometria e a forma de aplicação do fertilizante fosfatado também influenciam nesse processo Souza et al., (2004).

O mecanismo de adsorção-dessorção é um fenômeno de superfície e, portanto, o tamanho médio dos constituintes mineralógicos da fração argila do solo

destaca-se como um dos principais fatores que influenciam essas reações Souza et al.,(1991). A maior adsorção de fósforo ocorre em solos ricos em goethita em relação à hematita, e isso pode ser explicado em parte pelo tamanho da goethita em relação à hematita Bahia Filho et al.,(1983); Corrêa, (1984); Souza et al., (1991).

A reação de adsorção de P a superfície dos minerais de argila (óxidos de Fe e Al) é um processo de troca de ligantes do complexo de superfície em que hidroxilas e/ou moléculas de água previamente coordenadas aos cátions Fe^{+3} ou Al^{+3} são deslocados pelos íons $H_2PO_4^-$, formando um novo complexo de superfície Hingston et al., (1972).

Diversos autores demonstraram que, em solos ácidos, os óxidos de Fe da fração argila são os principais responsáveis pela adsorção de P em detrimento de outros minerais, como a gibbsita e a caulinita Hingston et al., (1972); Bahia Filho, (1982); Souza et al., (1991).

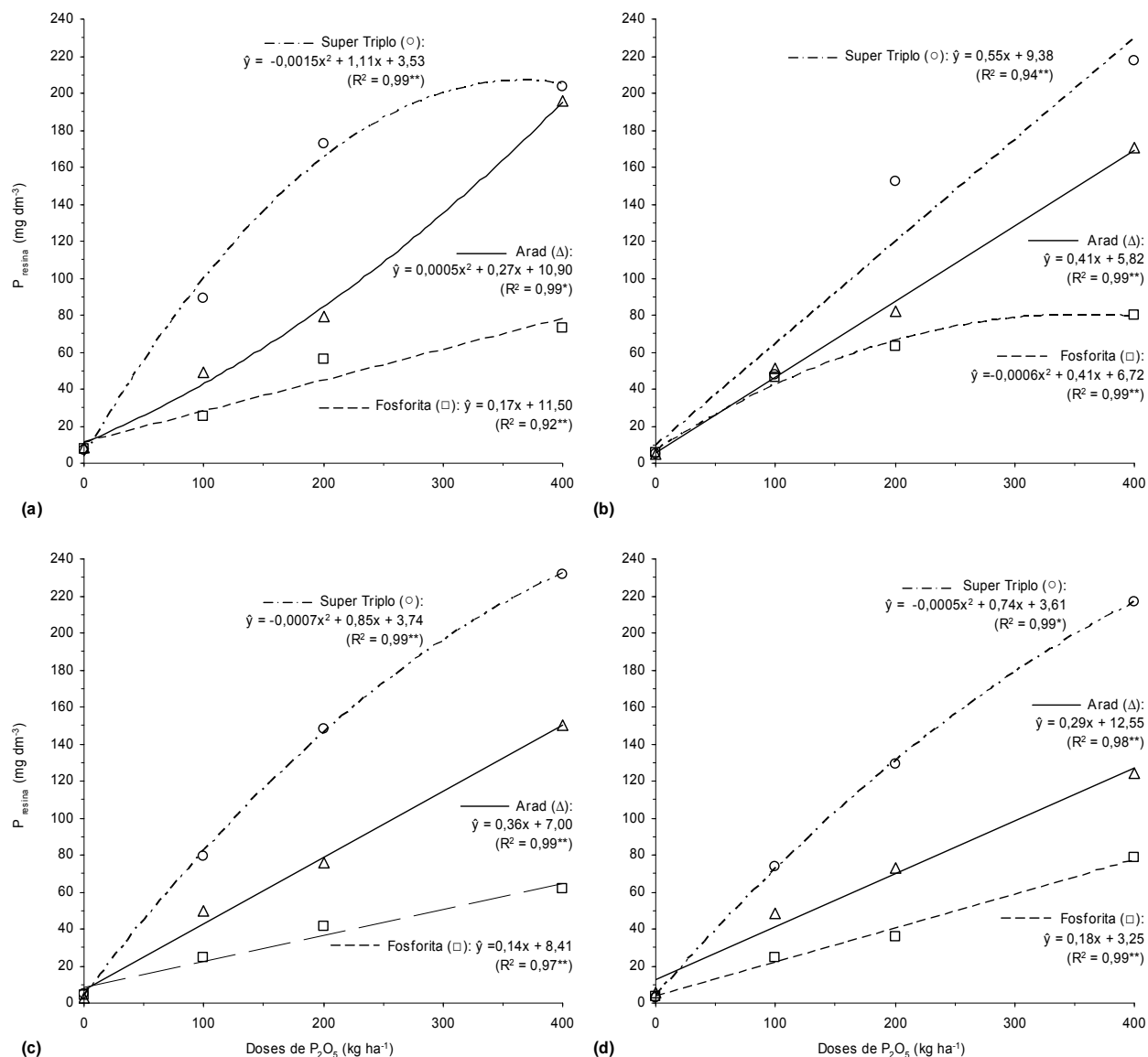


FIGURA 4 - Teores de P disponível no solo arenoso com calcário (a), arenoso sem calcário (b), argiloso com calcário (c) e argiloso sem calcário (d), com doses de 0, 100, 200 e 400 kg ha⁻¹ de P₂O₅ nas fontes Arad (Δ), Fosforita Alvorada (□) e Superfosfato Triplo (○). * e ** significativos a 5% e 1% de probabilidade, respectivamente. ns: não significativo

5 CONCLUSÕES

Os fertilizantes fosfatados elevaram os teores de Ca e P nos solos arenoso e argiloso na presença e ausência de calagem;

O Arad aplicado em doses elevadas nos solos ácidos alterou o pH dos solos arenoso e argiloso;

Os menores teores de P disponível no solo foram observados nos tratamentos que receberam a aplicação de Fosforita Alvorada, os maiores teores para o Superfosfato Triplo e o Arad apresentou teores intermediário de P disponível.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS - ANDA. Anuário Estatístico. São Paulo: anda, v. 2, 2004.

ALCARDE, J. C. Características de qualidade dos corretivos da acidez do solo. In: SIMPOSIO SOBRE ACIDEZ E CALAGEM. REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO. **Anais...**Campinas, SP., 1983. p. 10-31

ALCARDE, J. C.; PROCHNOW, L. I. Metodologias de extração para avaliar a eficiência de fertilizantes (compact disc). In: SIMPOSIO DE FOSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., São Pedro, 2003. **Anais...** São Pedro: POTAFOS; ANDA, 2003.

BAHIA FILHO, A. F. C. **Índices de disponibilidade de fósforo em Latossolos do planalto central com diferentes características texturais e mineralógicas.** 1982. 88 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

BAHIA FILHO, et al. Relações entre adsorção de fósforo e componentes mineralógicos da fração argila de Latossolos do planalto central. **Revista Brasileira Ciência do Solo**, v. 7, p. 221-226, 1983.

BARBOSA FILHO, M. P. Utilização de fosfatos naturais em solos de cerrados. **Informações Agrônomicas**, Piracicaba-SP., n. 28, p. 12, 1984.

BRAGA, N. R. et al. Eficiência agrônômica de nove fosfato em quarto cultivos consecutivos de soja. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 15, p. 315-319, 1991.

BEEGLE, D. Assessing soil phosphorus for crop production by soil testing. In: SIMS, J. T. ;SHARPLEY, A. N. (Ed). **Phosphorus: Agriculture and the environment.** ASA-CSSA-SSSA, 2005. p. 123-144.

BERTSCH, P. M.; PARKER, D. R. Aqueous polynuclear aluminum species. In: SPOSITO, G. (Ed). **The environmental chemistry of aluminum.** Boca Raton: Lewis, 1995. p. 117-118.

BLOOM, P. R.; ERICH, M. S. The quantification of aqueous aluminum. In: SPOSITO, G. (Ed). **The environmental chemistry of aluminum**. Boca Raton: Lewis, 1995. p. 1-38.

BRADY, N. C. **Natureza e Propriedades dos Solos**. Colóides do Solo: Sua Natureza e Significação Prática. Trad. Antônio B. Neiva Figueiredo Fo. 7.ed. Rio de Janeiro: Ed. Freitas Bastos, 1989. p. 200-205.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Departamento Nacional de Produção Mineral. Anuário mineral brasileiro, 2001. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/dnpm legis/amb 2001.html](http://www.dnpm.gov.br/dnpm%20legis/amb%202001.html)>. Acesso em: 15/09/2007.

CHIEN, S. H; MENON, R. G.; BILLINGHAM, K. S. Phosphorus availability from phosphate rock as enhanced by water-soluble phosphorus. **Soil Science Society of America Journal**, Madison, v. 60, p. 1173-1177, 1996.

CORRÊA, G. F. **Modelo de evolução e mineralogia da fração argila de solos do planalto de Viçosa**. 1984. 87 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

COUTINHO, E. L. M. et al. Avaliação da eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados para a cultura do milho. **Científica**, v. 19, p. 93-104, 1991.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Rio de Janeiro: Embrapa, 1999. p. 412.

GOEDERT, W. J. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados não tradicionais**. Planaltina: EMBRAPA, CPAC, 1986, 21 p. (Documento, 24).

GOEDERT, W. J.; LOBATO, E. Eficiência agrônômica de fosfato em solos do cerrado. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília-DF, v. 15, n. 3, p. 311-318, 1980.

HAMMOND, L. L. et al. Agronomic measurements of phosphate rock effectiveness. In: SEMINAR ON PHOSPHATE ROCK FOR DIRECT APPLICATION, 1., Muscle Shoals, 1979. **Proceedings...** Muscle Shoals: International Fertilizer Development Center, p.147-173, 1979.

HAVLIN, J. L. et al. **Soil fertility and fertilizers: na introduction to nutrient management**. 7.ed. New Jersey: Pearson, 2005. p. 515.

HINGSTON, F. J.; POSNER, A. M.; QUIRK, J. P. Anion adsorption by goethite and gibbsite. I. The role of the proton in determining adsorption envelopes. **Journal of Soil Science**, v. 23, n. 2, p. 177-192, 1972.

KAMINSKI, J. **Uso de corretivos da acidez do solo no plantio direto**. Pelotas: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo. Núcleo Regional Sul, 2000. 121 p. (Boletim Técnico, n. 4).

KAMINSKI, J.; PERUZZO, G. **Eficácia de fosfatos naturais reativos em sistemas de cultivo**. Santa Maria: NRS, SBCS, 1977. 31 p. (Boletim Técnico, n. 3).

KHASAWNEH, F. E.; DOLL, E. C. The use of phosphate rock for direct application to soils, **Advances in Agronomy**, New York, v. 30, p. 159-206, 1978.

KORNDÖRFER, G. H. **Capacidade de fosfatos naturais e artificiais de fornecerem fósforo para plantas de trigo**. 1978. 61 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

KORNDÖRFER, G. H.; LARA-CABEZAS, W. A.; HOROWITZ, N. Eficiência agrônômica de fosfatos naturais reativos na cultura do milho. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 56 n. 2, p. 535-542, 1999.

LARSEN, S. Soil phosphorus. **Advances in Agronomy**, San Diego, v. 19, p. 151-210, 1967.

LEON, L. A.; FENSTER, W. E.; HAMMOND, L. L. Agronomic potential of eleven phosphates rock from Brasil, Colombia, Perú and Venezuela. **Soil Science Society of America Journal**, v. 50, n. 3, p. 798-802, 1986.

LOPES, A. S. Reservas de fosfatos e produção de fertilizantes fosfatados no Brasil e no mundo (compact disc). In: SIMPOSIO DE FÓSFORO NA AGRICULTURA BRASILEIRA, 1., São Pedro, 2003. **Anais...** São Pedro: POTAFOS: ANDA, 2003.

MALAVOLTA, E. **Aubos e adubação fosfatada**. São Paulo: Fertilizantes Mitsui, 1985. p. 61.

MALAVOLTA, E. **Manual de química agrícola**. São Paulo: Ceres, 1976. 528 p.

NIELSEN, M. E.; BARBER, S. A. Differences among genotypes of corn in the kinetics of P uptake. **Agronomy Journal**, v. 70, p. 695-698, 1978.

NOVAIS, R. F.; KAMPRATH, E. J. Parâmetros das isotermas de adsorção de fósforo com critério de recomendação de adubação fosfatada. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 3, p. 37-41, 1975

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1999. 399 p.

PROCHINOW, L. I. et al. Characterization and agronomic evaluation of single superphosphates varying in iron phosphate impurities. **Agronomy Journal**, Madison. v. 95, p. 293- 302, 2003.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do Solo e Adubação**. Piracicaba: Ceres, 1991. p. 180-203.

RAIJ, B. van.; ANDRADE, J. C. de; CANTARELLA, H. et al. **Análise química para avaliação da fertilidade de solos tropicais**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2001. p. 173-199.

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. et al. (Ed.). **Recomendações de adubação e calagem para o Estado de São Paulo**. 2.ed. Campinas: Instituto Agrônomo / Fundação IAC, 1997. p. 285. (Boletim técnico 100).

RAIJ, B. van.; QUAGGIO, J. A. **Métodos de Análise de Solo para fins de Fertilidade**. Campinas. Instituto Agrônomo de Campinas, 1983. p. 31. (Boletim Técnico).

ROSOLEN, C. A.; MARCELLO, C. S. Crescimento radicular e nutrição mineral da soja em função da calagem e adubação fosfatada. **Scientia Agrícola**, v. 55, n. 3, p. 448-455, 1998.

SANCHEZ, P. A.; UHEARA, G. Management considerations for acid soils with high phosphorus fixation capacity. In: KHASAWNEH, F. E.; SAMPLE, E. C.;

KAMPRATH, E. J. **The role of phosphorus in agriculture**. Madison: ASA; CSSA; SSSA; 1980. cap. 17, p. 471-514.

SHENK, M. K.; BARBER, S. A. Root characteristics of corn genotypes as related to P uptake. **Agronomy Journal**, v. 71, p. 921-924. 1977.

SOUSA, D. M. G.; MARTHA JUNIOR, G. B.; VILELA, L. Manejo da adubação fosfatada em pastagens. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, Piracicaba, **Anais...** FEALQ, 2004. p. 101-138.

SOUZA, J. A.; CURI, N.; GUEDES, G. A. A. Relação entre mineralogia e adsorção-dessorção de fósforo em alguns Latossolos sob cerrado do planalto central. **Ciência e Prática**, v. 15, p. 103-111, 1991.

VELOSO, C. A. C. et al. Efeitos de diferentes materiais no pH do solo. **Scientia Agrícola**, v. 49, n. 1, p. 123-128, 1992.